Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Disertační práce

Technické parametry systémů sledování pohybové aktivity dojnic a jejich využití ke kontrole životních projevů.

Autor práce: Ing. Petr Smolík

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.

České Budějovice 2024

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své disertační práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce.

.....

Ing. Petr Smolík

v Českých Budějovicích dne 24.01.2024

Abstrakt

Cílem práce bylo ověřit elektronické zařízení pro sledování pohybové aktivity dojnic a jejich využití ke kontrole životních projevů. Současný trend v chovatelské praxi nepochybně směřují k automatizaci sledování a vyhodnocování zdravotních stavů chovaných zvířat. Moderní systémy sledování projevů říje umožňují zvýšení reprodukční úrovně v chovech dojnic. Úspěšnost reprodukčního programu závisí také na schopnosti identifikovat plemenice vhodné k inseminaci a ve správnou dobu je následně zapustit. Pro detekci zvířat vhodných k inseminaci by se měli v budoucnu používat převážně metody založené na precizních výpočetních principech, umožňující nepřetržité a dlouhodobé sledování a vyhodnocování projevů zvířat. Ostatní metody založené na jiném než elektronickém principu nemají požadovanou míru efektivity. Z důvodu vysoké produkční a metabolické zátěže se však projevují fyziologické a behaviorální projevy říje nižší intenzitou a kratší dobou trvání. Důležité je sledování i ostatních životních projevů jako jsou doba žraní, přežvykování, ležení a stání. Práce tak představuje ucelené dílo od výběru vhodných senzorů, návrhu elektronického zařízení, programování a validaci algoritmů pro detekci životních projevů zvířat až po implementaci do produkčního systému.

Klíčová slova: detekce říje, reprodukce krav, automatické sledování říje krav, zlepšení reprodukce, měřič aktivity, akcelerometr

Abstract

The goal of the work was to test an electronic device for monitoring the movement activity of dairy cows and their use to check vital signs. The current trend in breeding practice is undoubtedly towards the automation of monitoring and evaluating the health conditions of farmed animals. Modern systems for monitoring the signs of estrus make it possible to increase the reproductive level in dairy farms. The success of the breeding program also depends on the ability to identify animmals suitable for insemination and then implant them at the right time. For the detection of animals suitable for insemination, methods based on precise calculation principles should be used in the future, allowing for continuous and long-term monitoring and evaluation of animal manifestations. Other methods based on a non-electronic principle do not have the required level of efficiency. Due to the high production and metabolic load, however, the physiological and behavioral manifestations of estrus are manifested with lower intensity and shorter duration. It is also important to monitor other vital signs such as the time of eating, ruminating, lying down and standing. The work thus represents a comprehensive work from the selection of suitable sensors, the design of electronic equipment, the programming and validation of algorithms for the detection of animal vital signs to the implementation into the production system.

Keywords: estrus detection, cow reproduction, automatic monitoring of cow estrus, reproduction improvement, activity meter, accelerometer

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu disertační práce prof. Ing. Miloslavu Šochovi, CSc., dr. h.c. a Ing. Marku Vrhelovi za odbornou pomoc a cenné rady, které mi poskytovali v průběhu doktorandského studia.

Dále bych ráda poděkoval své manželce a celé rodině za podporu v průběhu celého studia.

Obsah

Úvod....9

1 Literární přehled....11

1.1 Etologie zvířat....11

1.2 Přirozené chování skotu....12

1.3 Vliv doby ležení na produkci, plodnost a zdraví dojnic....13

1.4 Welfare....14

1.4.1 Qualitative Behaviour Assessment (QBA)....16

1.4.2 Avoidance Distance Test (ADT)....17

1.4.3 Approach Behaviour Test....17

1.5 Onemocnění....18

1.6 Nemoci v tranzitním období....19

1.6.1 Moderní způsoby detekce změn chování skotu....21

1.7 Reprodukce skotu....25

1.7.1 Biologické základy plodnosti skotu....26

1.7.2 Dospělosti skotu....28

1.7.3 Řízení reprodukce v chovech....31

1.7.4 Detekce porodů....34

1.8 Hodnocení plodnosti krav – Reprodukční ukazatele....35

1.8.1 Vybrané ukazatele úrovně reprodukce....35

1.8.2 Vybrané ukazatele pro aktuální hodnocení reprodukce....37

1.8.3 Nově využívané ukazatele pro hodnocení reprodukce....39

1.9 Sledování chování pomocí pedometrů a aktivometrů....41

1.9.1 Popis činnosti akcelerometru....42

1.9.2 Způsoby vyhledávání říje u krav....44

1.9.3 Detekce chování pomocí senzoru na noze, krku, uchu, ocasu....47

1.9.4 Sledování pohybové aktivity pomocí komerčně dostupných systémů....48

1.9.5 Změny pohybové aktivity během březosti....50
1.9.6 Vliv sledování chování na ekonomiku chovu dojnic....52
2 Vědecké hypotézy a cíle práce....54
2.1 Vědecké hypotézy....54
2.2 Cíle práce....54
3 MATERIÁL A METODIKA....56
3.1 Popis vybraných podniků....56
3.1.1 Zemědělský podnik A....56
3.1.2 Zemědělský podnik B....57
3.1.3 Zemědělský podnik C....58
3.2 Snímací zařízení EROS....58
3.2.1 Sestavení prototypu EROS....62
3.2.2 EROS na krku....62
3.2.3 EROS na noze....63
3.3 Přijímací anténa....64
3.4 Přenos dat z antény do počítače....65
3.5 Sběr vstupních dat....67
3.5.1 Měření dat pomocí systému sledování pohybové aktivity....68
3.5.2 Etologické sledování....69
3.6 Vyhodnocení naměřených dat....70
3.6.1 Vyhodnocení naměřených dat na krku....71
3.6.2 Vyhodnocení naměřených dat na noze....76
3.6.3 Kritéria algoritmu pro odhad chování krav....77
3.6.4 Octave – psaní vyhodnocovacího algoritmu....79
3.6.5 Statistické hodnocení....80
3.7 Zemědělský evidenční program Farmsoft....80
3.7.1 Propojení technologických sběru pohybové aktivity s Farmsoftem....81

4 Výsledky a diskuze práce....84
4.1 Snímací zařízení EROS....84
4.2 Algoritmu snímající životní projevy zvířat....85
4.3 Hodnocení výsledků....87
4.3.1 Statistické hodnocení inseminací v závislosti na HOR....87
4.3.2 Statistické hodnocení úspěšnosti detekce říjí dle inseminací....89
4.3.3 Statistické hodnocení detekce žraní a přežvykování....90
4.4 Integrace do Farmsoftu....100
4.4.1 Systém denního hlášení....101
4.4.2 Systém sledování odchylek životních projevů zvířat....102
5 Závěr....107
5.1 Přínos pro chovatelskou praxi a rozvoj oboru....109
6 Seznam použité literatury....111
7 Seznam obrázků....136
8 Seznam tabulek....138
9 Seznam použitých zkratek....139
10 Seznam příloh....140
11 Seznam vlastních publikovaných prací....152

Úvod

S postupným vývojem elektroniky jsou na trh uváděny součástky, které při dosažení určitých podmínek vhodnosti pro nasazení, dávají možnost otevření novým směrům zkoumání v určitých oblastech života. Jednou z těchto součástek, která zaznamenala rychlý vývoj, je akcelerometr. Ten se začal postupně používat v mobilních telefonech jako například čidlo pro ovládání her nebo pro sledování chování lidí. Kritickým parametrem pro nasazení akcelerometrů při sledování zvířat byla vlastní spotřeba senzoru. Ta klesla pod kritickou hodnotu řádu μA a dovolila prodloužit životnost zařízení tak, aby dosahovala doby 10 ti let. Tato hodnota je důležitá z hlediska dosažení efektivity pro běžné nasazení v praxi.

Rostoucí produkce dojného skotu má za následek přibývání problémů se zdravotním stavem zvířat. Některé tyto problémy mohou být za použití moderních detekčních systémů včas odhaleny. Tím se může předejít vzniku komplikací a následnému dlouhodobému procesu léčení. Během procesu léčení může chovatel přicházet o zisk plynoucí z produkce mléka a navíc musí vynaložit nemalé finanční prostředky za léčebné přípravky, ale i úkony, které jsou spojené s aplikací těchto přípravků.

Vedle zdravotních problémů zvířat trápí chovatele i reprodukční problémy. Náročné vyhledávání říjí vedlo k zavedení synchronizačních protokolů za použití hormonální přípravků. Ty mají za následek zvýšení pravděpodobnosti zabřezávání, avšak dnešní trend je směřován k detekci přirozených říjí bez použití hormonů.

Snahou pomocných detekčních systémů je poskytnout chovateli včasnou informaci tak, aby mu pomohla předejít vzniku možných zdravotních komplikací, ale i pomohla s vyhledáváním říjí.

Tato práce přináší ucelený návrh zařízení, které slouží k ověřování činnosti životních projevů skotu a jejich následným vyhodnocováním pomocí chovatelského programu. Práce je rozdělena na několik částí.

První část práce je teoretická. Zabývá se popisem etologie zvířat, produkcí, reprodukcí, Welfare, zdravím, onemocněním, ale jsou zde zmíněny i systémy pro detekci říjí. Další části jsou praktické. Nejprve je popsán vlastní návrh zařízení pro snímání životních projevů založený na akcelerometru. Přenos dat ze zvířete je zabezpečen pomocí bezdrátového přenosu. Pro vlastní provoz zařízení je vyžadována přijí-

mací anténa a komunikační zařízení pro přenos dat do počítače. Oba návrhy těchto zařízení jsou rovněž součástí této práce. Dále pro stanovení algoritmu detekce životních projevů je nutné porozumět vibracím, které přicházejí z akcelerometru. Ten je možno umístit na různé části těla zvířete. Byla nasnímána data a na základě provedených testů byl vytvořen algoritmus, který ohodnocuje určité životní projevy na krku nebo na noze zvířete. Ověření detekčního algoritmu je zaměřeno jak z pohledu krátkodobého, tak i dlouhodobého horizontu.

1 Literární přehled

1.1 Etologie zvířat

1.1 Etologie zvířat

Studium etologie se zabývá instinktivním chováním zvířat v přirozeném prostředí. Mezi dva hlavní směry etologie lze uvést studium instinktivního a vrozeného chování (Eibl-Eibesfeldt a Kramer, 1958). Již v roce 1873 byly na základě experimentů prokázány s výjimkou naučených vzorců chování, také vrozené vzorce chování, která dnes označujeme jako instinkty. Někteří etologové uvádí, že důvod daného chování zvířat lze odhalit v genetickém pozadí zvířete a kombinaci evoluce, což zapříčinilo proces optimalizace pro dané prostředí. Někteří zahraniční autoři uvádí, že u savců lze vrozené vzorce chování nahradit učením (Kim et al., 2015). Pravdou stále zůstává, že vrozené vzorce chování můžeme u zvířat pozorovat v konkrétních situacích, zároveň můžeme pozorovat konflikt mezi podmíněným a instinktivním chováním (Grandin a Deesing, 2022). Studium etologie zvířat můžeme rozdělit na tři základní odvětví: obecnou, aplikovanou a speciální etologii. V případě obecné etologie můžeme hovořit o studiu vlivu či podstatě daného chování na úrovni mechanismu neurohumorálního či smyslového. Oproti tomu aplikovaná etologie se zabývá problematikou chování zvířat chovaných člověkem (Cadwallader, 2014). Do studium speciální etologie můžeme zahrnout formy chování sociální, mateřské, potravní či ochranné (Nawroth et al., 2019).

Jednou z významných strategií chování je tzv. mateřské chování zvířat, které je nezbytné pro zajištění základních potřeb potomka. Mateřské chování je strategií matky poskytující zdroje potomkům pro zabezpečení přežití, ale také následné reprodukce s cílem investovat optimální množství zdrojů do následující generace potomků (Šárová et al., 2020). V moderních produkčních chovech dojného skotu se běžně setkáváme s praxí časného oddělování novorozených telat od matky do 24 hodin (v ČR 96,7 % chovů) (Šárová et al., 2020). Zahraniční studie potvrzují, že skupinový či tandemový odchov telat je pro savá telata výhodnější z hlediska úrovně welfare (Costa et al., 2016). Individuální ustájení telat je dle Nordlunda a Halbacha (2019) opodstatněno v případech nemocných telat, z důvodu zabránění přenosu agens na jiné tele.

1.2 Přirozené chování skotu

Skot řadíme mezi přežvýkavce žijící ve stádech. Na přírodním potravinovém žebříčku jej považujeme za kořist, což je důvod strategie neustálého pozorování a vyhodnocování svého okolí, aby včas odhalil nebezpečí a mohl utéct. Takové chování má za cíl udržet jednotlivce na živu a tím zachovat druh (Haskel et al., 2019). Využití poznatků sledování chování skotu umožnilo rozvoj managementu chovu skotu a tím i zvyšování užitkovosti a celkové úrovně chovu (Bertenshaw a Rowlinson, 2002). Ve větších stádech, kde není častý kontakt s člověkem, se využívají postupy opakujících se cvičení, které napomáhají lépe komunikovat člověka se zvířetem bez použití síly a bolesti či jiných traumat. Jedná se o činnosti, které omezují reaktivitu skotu na management, zároveň je ale vyžadováno trpělivé jednání, což v závěru přináší lepší výsledky, než přikazovací postupy (Jayme et al., 2018).

Skot má vysoký stupeň sociální facilitace, což popisuje změnu motivace chování jednoho jedince na základě pozorování chování jiného jedince (Mills et al., 2010). Vystavení skotu situacím způsobujícím nepohodu, strach, stres, bolest apod., reaguje skot na úrovni jednotlivce, ale také celé skupiny, změnou svého chování, což se projevuje zvýšením pohybové aktivity a až pokusem o útěk (Lanier et al., 2000). Rozdíly v chování a reakce na podobné situace jsou do určité míry definovány vlastnostmi jako pohlaví, věk, reprodukční stav a kondice (Šárová et al., 2020). Chování jednotlivce je také ovlivňováno individualitou či vrozenou strategií chování (Locurto, 2007), které bývá v odborné literatuře nazýváno jako temperament.

Temperament u skotu dosahuje nízké až střední heritability (Lu et al., 2013). Vliv šlechtění skotu způsobil změnu temperamentu u současných plemen, což se projevuje klidnější povahou zvířat, menší aktivitou a menší mírou útočnosti u některých plemen (Šárová et al., 2020). Tento efekt můžeme pozorovat například u holštýnského plemene, které se kterým se při manipulaci snadněji provádí zootechnická práce, jelikož jsou tato zvířata bojácnější, což se projevuje například odmítavou reakcí procházet určitými průchozími koridory (Grandin, 2012).

Vytvoření a respektování vytvořené hierarchie ve stádě je hlavním pilířem sociálního chování u skotu, jelikož sociální dominance umožňuje snížit úroveň agresivity ve stádě. Skot dokáže velmi dobře rozpoznat jednotlivé jedince ve stádě a vytvoří si ke každému specifický vztah. V případě změny struktury stáda vyřazením či přeskupením dochází obvykle ke změně chování celého stáda a stanovení nové struktury hi-

erarchie (Wiener, 2015). Z hlediska užitkovosti může dojít vlivem narušení hierarchie k snížení dojivosti či nárůstu počtu somatických buněk v mléce (Emnoor, 2020).

1.3 Vliv doby ležení na produkci, plodnost a zdraví dojnic

Dosáhnutí a udržení dobré produkce mléka a zároveň dobré úrovně reprodukce lze dosáhnout pouze optimalizací životních podmínek krav. Nesoulad mezi zvířetem a faktory prostředí má za následek nárůst stresových situací, jejichž důsledkem jsou metabolické problémy, nemoci, pokles mléčné užitkovosti a zhoršení reprodukce (Khan et al., 2016). S cílem monitorovat problematické body v chovu, moderní chovatelé využívají různé technologické možnosti, jako například čidla na krku nebo na končetinách, sledující odchylky pohybové aktivity v rámci denních činností zvířat (Toušová et al., 2020).

Příjem krmiva a jeho přežvykování patří mezi základní činnosti dojnic (Schirmann et al., 2011). Moderní systémy s prvky precizního zemědělství využívají se sledování a optimalizaci produkce mléka monitorovací systémy (Shahriar et al., 2016). Sledování projevů spojených s touto činností může člověku poskytnout širokou škálu informací a poznatků, které je následně možné využít ke zlepšení managementu a tím i profitability chovu (Pahl et al., 2014). Pozorování behaviorálních projevů spojených s příjmem krmiva a přežvykováním poskytuje užitečné informace o zdravotním stavu dojnice (Braun et al., 2014), reprodukční aktivitě (Akbar et al., 2020) nebo blížícím se otelení (Voß et al., 2021).

Sledování odchylek příjmu krmiva a doby přežvykování moderní technologií vitalimetrů umožňuje včasné odhalení zdravotních komplikací, které mají v konečném důsledku vliv na ekonomické výsledky chovu (Benaissa et al., 2020). Schirmann et al. (2013) ve své práci uvádí, že dojnice v období 24 hodin před otelením stráví v průměru o 63 minut méně času přežvykováním a o 66 minut méně času krmením. Trend snižování doby příjmu krmiva a přežvykování se po otelení dále snižoval v průměru o 133 a 82 minut. Podobné výsledky potvrzují také Gusterer et al. (2020), kteří ve své práci dokládají pokles doby přežvykování již pět dní před diagnostikovanou klinickou mastitidou. LeBlanc (2010) uvádí, že intenzivní sledování zdravotního stavu a následného včasného léčení krav po otelení je rozhodující pro další laktaci. Nepřetržité sledování fyziologických či patologických projevů dojnic

umožňuje dřívější detekci změn sledovaných parametrů a tím odhalit případnou patologii v časovém předstihu, což při správném postupu terapie výrazně pozitivně ovlivní finanční bilanci dojnice (Seifi et al., 2011). Důležité je správné nastavení léčebných protokolů a jejich přísné dodržování v případě odhalení ohrožené dojnice. Vhodným doplňkem takového způsobu řešení problémů krav v rozdoji, mohou být především ve velkých stádech monitorovací systémy založené na senzorech, které vhodně doplňují standardní postupy (Lukas et al., 2015). Studie posledních let naznačují, že monitorovaná aktivita ruminace koreluje s výskytem subklinických a klinických poruch (Stangaferro et al., 2016).

Stanovení optimální doby ležení je obecně považováno za významný aspekt dobré úrovně welfare chovu. Při hodnocení doby ležení a přežvykování bylo zjištěno, že se významnou měrou na motivaci krav k ulehání podílí faktory prostředí, nedostatečné množství lehacích prostor, management krmení, a nejčastěji výskyt zdravotních problémů, zejména končetin (Tucker et al., 2021). Siivonen et al. (2011) ve své práci dodává, že kulhání dojnic prodlužuje dobu ležení, zatímco mastitida dobu ležení zkracuje. Dále uvádí, že doba ležení krav koresponduje s úrovní pohodlí dojnic, oproti tomu kratší doba ležení naopak indikuje nevyhovující podmínky prostředí chovu. Výjimkou mohou být dojnice ležící delší dobu z důvodu nemoci nebo krávy stojící déle z důvodu fáze estru, blížícího se porodu nebo provádění jiných činností (Solano et al., 2016). V zahraniční odborné literatuře se uvádí průměrná doba ležení dojnic ve volném typu ustájení 8 až 13 hodin za den, přičemž nejčastěji se tato hodnota pohybuje mezi 10 a 12 hodinami za den (Westin et al., 2016). Celková doba ležení koreluje s četností ulehání za den, kdy průměrný počet ulehnutí se dojnice se pohybuje mezi 9–11 za den. Změna frekvence ulehání může v konečném důsledku ovlivnit celkovou dobu ležení dojnice. Kok et al. (2015) ve své publikaci naznačuje, že skot ulehá ochotněji, pokud následně leží více než 30 minut.

1.4 Welfare

Dle Mellora (2015) patří mezi základní předpoklady úspěšného chovu respektování životních nároků chovaných zvířat a v souvislosti s tím i vytváření takového životního prostředí, které dává předpoklady pro dosažení vysoké užitkovosti. Dle Ewinga et al. (1999) je termín welfare stav, ve kterém jedinec existuje v rozmezí přijatelných

fyzických, psychologických a environmentálních specifikacích. Hosey et al. (2013) uvádějí, že welfare zvířat je považován za subjektivní stav blahobytu jednotlivce, který je určen pro jeho dobrou fyzickou i psychickou kondici. Gálik et al. (2015) definují welfare zvířat jako optimální stav naplnění všech materiálních a nemateriálních podmínek, které jsou předpokladem pro zdravý organismus, kdy je zvíře v souladu s jeho životním prostředím. Také tvrdí, že zvíře má nárok na to, aby mu chovatel vytvářel předpoklady pro zabezpečení vyššího stupně uspokojení jeho životních potřeb jako např.: spokojenosti, pohody a komfortu. Webster et al. (2008) proto předpokládají, že všichni, kdo se přímo zabývají chovem zvířat, jsou odpovědní za prosazování jejich životní pohody prostřednictvím správné chovatelské praxe. V posledních desetiletích významně vzrůstá zájem široké veřejnosti o úroveň welfare hospodářských zvířat v intenzivních systémech chovu. Welfare neboli pohodu zvířat je možno charakterizovat jako vytvoření plnohodnotných podmínek pro chovaná zvířata, které jsou v souladu s jejich potřebami při respektování jejich biologických nároků a ochranou před fyzickou bolestí, utrpením a psychickým strachem. Zvíře je též schopné vyjádřit své přirozené chování (OIE, 2013). Zájem o welfare dojnic a ochranu životního prostředí ze strany spotřebitelů a zákonodárců se stále zvyšuje (Logue a Mayne, 2014). U zvířat lze pozorovat navození pohody, projev uvolnění, radosti a spokojenosti. Zvířata jsou psychicky vnímající organismy a je povinností chovatelů jejich požadavky na vhodné prostředí respektovat. Patří k nim: odpovídající kvalita prostředí, vzduchu, vody a krmení, v souladu s jejich biologickými potřebami, bezpečné ustájení a dostatečný prostor pro každé zvíře, takové, aby se předešlo zraněním, atrofii svalstva a jiných orgánů, prostředí bohaté na podněty, aby se předešlo depresím a nudě, pravidelná denní kontrola stavu zvířete, prevence nemocí a citlivé zacházení se zvířaty, aj. (Hrouz a Šubrt, 2000). Hodnocení psychického stavu zvířete je zásadní cíl pro posuzování jeho dobrých životních podmínek (Yeates a Main, 2008). Zvířata mohou učinit rozhodnutí, která jsou v jejich zájmu, jejich pocity by neměly zahrnovat strach, úzkost, bolesti, zranění a nemoci. Na welfare se můžeme dívat i z pohledu vlastní stáje. Dobře postavená stáj pro dojnice musí poskytovat bezproblémový přístup ke krmivu a vodě, čisté, suché a komfortní místo pro odpočinek dojnic a dobře fungující ventilaci po všechna období roku (Tyson, 2010). Obecně považuje za optimální pohodu dojnice takový stav, kdy se nemusí na nic adaptovat a jsou vyřazeny veškeré stresové faktory (Jones et al., 2016). Doležal et al.

(2004) popisuje, že chovatel by měl mít na paměti, že vše, co je welfare, nemusí být vždy komfortní, ale vše, co je komfortní, je také welfare.

Zdravotní stav dojnic patří, vedle dosažené dojivosti, k významným faktorům rentability chovu dojného skotu. V současných chovech je důležité dosáhnout omezení výskytu produkčních poruch. Patří sem vedle mastitid, metabolických poruch a poruch pohybového aparátu i reprodukční problémy. Dodržování obecných zásad welfare pozitivně ovlivňuje i úspěch v reprodukci skotu (Novák et al., 2016). Plodnost dojnic však v současných podmínkách, přes nesporný všeobecný pozitivní vývoj v aplikovaných technologiích chovu, není uspokojivá (Hanuš et al., 2006). K dosažení dobré životní pohody či blahobytu (welfare) v chovech zvířat je třeba vytvořit takové podmínky, které zajistí požadavky stanovené Britskou radou pro ochranu hospodářských zvířat (FAWC, 2009) která těchto pět svobod novelizovala v roce 1993 takto:

1. **Svoboda** od žízně, hladu a podvýživy – neomezený přístup ke krmivu a čerstvé napájecí vodě v množství dostačujícím pro zachování dobrého zdravotního stavu, fyzické i psychické energie.
2. **Svoboda** od fyzikálních a tepelných faktorů nepohody – zajištění odpovídajícího prostředí včetně zabezpečení před nepřízní makroklimatu a pohodlného místa k odpočinku.
3. **Svoboda** od bolesti, zranění a nemoci – pomocí prevence nebo rychlé diagnózy a léčení.
4. **Svoboda** uskutečnit normální chování – poskytnutí dostatečného prostoru, vhodného vybavení a možnosti sociálních kontaktů s jedinci téhož druhu.
5. **Svoboda** od strachu a deprese (úzkosti) – vyloučení takových podmínek, které by způsobovaly psychické strádání a utrpení (Jensen, 2017). Doležal et al. (2004) diskutuje, že dosažení všech „pěti svobod“ je v praktických podmínkách nereálné, jsou dokonce do určité míry vzájemně neslučitelné.

1.4.1 Qualitative Behaviour Assessment (QBA)

Hodnocení QBA bylo původně navržené Wemelsfelderem et al. (2000) a původně sloužilo k posuzování životních podmínek hospodářských zvířat. Hodnocení zahrnuje informace řeči těla sledovaných zvířat, které jsou v konvenčních metod posuzování welfare posuzovány odděleně či posuzovány vůbec nejsou. Základní princip metody je hodnocení "jak se zvíře chová" namísto "co zvíře dělá" (Sant'Anna a da

Costa, 2013) prokázali, že QBA je vhodným nástrojem pro hodnocení individuálních projevů chování skotu. U dojnic byl QBA úspěšně použit jako indikátor chování, interakcí mezi člověkem a zvířetem po dojení a po návratu do prostor krmiště (Ebinghaus et al., 2016; Schmitz et al., 2020). Ceballos et al. (2021) ve své práci uvádí, že QBA umožňuje pozorovateli integrovat širokou škálu aspektů emoční expresivity zvířete. V praxi nejvíce aplikovaná metodika hodnocení QBA je založena na metodice Góise et al. (2016), který hodnotil reakce skotu na manipulaci a okolní vlivy. Posuzoval po určitý čas individuálně vybrané zvíře, u kterého hodnotil, do jaké míry je zvíře: aktivní, uvolněný, vystrašený, rozrušený, klidný, pozorný, pozitivně zabavený, zvědavý, podrážděný, apatický, pohodlný, agresivní, společenský, lhostejný. Interpretace QBA je založeno na bodování řeči těla zvířete a jejich behaviorálních výrazů na vizuálních analogových škálách. Minimální hodnota představovala absenci výrazu výraz, zatímco maximální hodnota jeho nejintenzivnější vyjádření.

1.4.2 Avoidance Distance Test (ADT)

Metoda Avoidance Distance Test (ADT) je běžně používaná metoda pro hodnocení vztahu zvířat k člověku. Ukazuje se, že je aplikovatelná také ve stádech dojného skotu. Hlavním cílem této metody je zjištění vzdálenosti vyhnutí se zvířete v místě krmiště experimentátorovi, který test provádí. Během testu se zaznamenávají hodnoty vzdálenosti, při které experimentátor přibližuje svou nataženou paži ke zvířeti, za přímého pozorování hlavy. Jedná se o individuální metodu testování a interpretování výsledků vzhledem k citlivosti a spolehlivosti na úrovni jednotlivce (Windschnurer et al., 2009). U dojnic volně ustájených, kde byl test proveden, se ukázalo, že ADT lze provádět a jeho výsledky naznačují vztah zvířat k lidem (Winckler et al., 2003). Výsledkem testování dojnic bylo zjištěno, že výsledek ADT přímo koresponduje s chováním dojičů během dojení (Waiblinger et al., 2003). Breuer et al. (2000) ve své práci uvádějí, že chování krav k člověku přímo souvisí se ochotou zvířete poslouchat povely ošetřovatele, snadnou manipulací, ale také s užitkovostí.

1.4.3 Approach Behaviour Test

Tento test lze využít, podobně jako mnoho jiných behaviorálních testů, jako doplněk k ADT, pro komplexnější posouzení stavu senzibility a reaktibility zvířete na nové

podněty (Forkman et al., 2007). Metoda je založena na posuzování individuální reakce zvířete na obávanou situaci nebo na míru ochoty vstoupit do nebezpečí, až do chvíle, než pocit strachu způsobí vyhnutí či útěk před nebezpečím. V současné době se u hospodářských zvířat většinou hodnotí míra strachu prostřednictvím reakce na nové podněty a motivace k reakci, což potvrzuje také ve své práci Forkman et al. (2007), který uvádí, že existuje několik druhů strachu, která zvířata vnímají. Například jeden z nich je strach z člověka jako ošetřovatele, což může mít významný dopad na efektivitu chovu v intenzivně chovaných produkčních farmách. Obecně se strach z člověka hodnotí pomocí behaviorálních testů (Waiblinger et al., 2006). Většina testů hodnotí strach zvířat v různých situacích, např. izolace, přítomnost cizího předmětu, prostředí nebo pohybujícího se člověka. Ve výjimečných případech mohou zvířata vnímat přítomnost nehybného člověka jako neutrální či dokonce pozitivní (Boissy et al., 2005). Mnoho zahraničních publikací dokládá, že mladší jedinci mají výraznější dopad pocitu strachu na svůj organismus a další chování, nebo starší jedinci, kteří mají větší resilientní schopnost senzitivity na negativní vlivy okolí (Kilgour et al., 2006).

1.5 Onemocnění

Výskyt nemocí je jedním z limitujících faktorů mléčné produkce. V posledních letech můžeme pozorovat nárůst některých onemocnění v závislosti na rostoucí užitkovosti. Mezi nejčastější onemocnění řadíme choroby mléčné žlázy, obtížné porody či poruchy plodnosti. Dále se můžeme v chovech setkat s poruchami plodnosti či poruchami pohybového aparátu, především zadních končetin (Šlosárková et al., 2016). Mezi hlavní důvody, proč sledovat a hodnotit výskyt onemocnění ve stádě dojnic je ekonomický faktor, jelikož při onemocnění nedochází pouze k nákladům za léčení, ale sekundárně také ke ztrátám mléka či ztrátám březosti (Langford a Stott, 2012).

Mezi nejdůležitější fáze života dojnice je období po otelení, kdy nastává tzv. NEB neboli záporná energetická bilance, která může trvat i několik týdnů. Vysoká intenzifikace výroby mléka a důraz na špičkovou výkonost v mléčném průmyslu, může vést ke snížení plodnosti a zdravotního stavu jednotlivých dojnic, což jsou zásadní důvody pro nedobrovolné vyřazení zvířete ze stáda či nepřímo vytváření dodatečných nákladů na, které vytváří podmínky nerentability odchovu (Langford a Stott,

2012). Vzhledem k faktu, že většina onemocnění dojnic má svůj původ v tzv. tranzitním období, je důležitý správný způsob řízení této fáze klíčovým momentem pro další výkonnost dojnic a jejich setrvání ve stádě. Možnosti moderních technologií napomáhají evaluovat a optimalizovat procesy řízení stáda na základě databází a jejich efektivním využíváním (De Vries et al., 2011). Na základě zahraničních prací jsou využívány různé způsoby indikátorů zdravotního stavu a dlouhověkosti. Například Roberts et al. (2012) se ve své práci zabýval monitorováním sérových neesterifikovaných mastných kyselin, β-hydroxybutyrátu a koncentrací vápníku v předporodním období krav, s cílem odhalení zdravotních problémů, které by mohli být důvodem vyřazení do 60 dne laktace. Další metodou je genetické mapování a hodnocení parametrů dlouhověkosti, čímž se zabýval Szyda et al. (2011), kteří nalezli vztah mezi polymorfismy leptinového genu a dlouhověkostí dojnic, což bylo důvodem jejich zařazení mezi potencionální markery při selekci krav.

De Vries a Marcondes (2020) ve své práci uvádí, že průměrná délka produktivního života intenzivně chovaných dojnic je přibližně 3 až 4 roky. Taková délka života je významně kratší oproti přirozené délce života skotu. Důvody vyřazování dojnic jsou v drtivé většině spojeny se zhoršeným zdravotním stavem zvířete. Hlavní důvody vyřazování krav jsou neplodnost, mastitida či kulhání. Tato onemocnění ovlivňují rozhodování chovatele při rozhodování o vyřazení, anebo ochotě vynaložit náklady na léčbu a současně vážit rizika budoucí ztráty ve srovnání s potencionálními příjmy z produkce (Langford a Stott, 2012). Zlepšení úrovně zdravotní péče, ustájení a výživy může snížit vyřazování zvířat z důvodu zdravotního stavu. Dalšími důvody vyřazování mohou být také ekonomické faktory či snaha o genetický pokrok selekcí na požadované vlastnosti. Například Hadley et al. (2006) uvádí, že v USA byl podíl roční brakace kolem 34 % krav v průměrném věku přibližně 35,3 měsíce života, což odpovídá méně než třem laktacím.

1.6 Nemoci v tranzitním období

Udržení optimální kondice dojnic (BCS) ve vztahu ke stádiu laktace, nádoji, výživě a zdravotnímu stavu zvířete je možná nejdůležitějším aspektem managementu dojnic, který usnadňuje zahájení laktace po otelení. Systém hodnocení BCS je založen na pětibodové stupnici (1 = vyhublý; 5 = nadměrně ztučnělý), se používá v tomto preven-

tivním přístupu k produkčním chorobám (Grubić et al. 2009). Doporučené hodnoty BCS se v literatuře uvádí

- Při zaprahnutí BCS =2,75
- Při otelení BCS = 3,0
- Při inseminaci BSC = >2,5
- 150–250 DIM BCS = 2,75 (Mulligan et al., 2006).

Bylo prokázáno, že dojnice, které měly přibližně 4 týdny pře otelením vyšší tělesnou kondici (BCS >3,25), měly výrazný pokles příjmu krmiva v období bezprostředně před otelením a po otelení ve srovnání s krávami s nižším BCS. Snížení příjmu krmiva spolu s lipomobilizačním je obecně důsledek ztučnění jater, obtížemi při telení, zadržení lůžka či dislokací slezu (Hayirli et al., 2002).

Míra dopadu záporné energetické bilance je výsledkem nedostatečného příjmu krmiva v kritickém období, potažmo nedostatečného příjmu energie v období vysokého energetického výdeje. Pokusy minimalizovat či eliminovat dopad NEB u březích či dojených krav by měly vždy cílit na zajištění příjmu dostatečného množství krmiva 3 týdny před otelení a první týdny začátku laktace (Grummer et al., 2004).

Zánět mléčné žlázy neboli mastitida se řadí mezi jedno z nákladnějších onemocnění dojného skotu. Riziko takového onemocnění je prakticky nepřetržitě během celé délky trvání laktace (Pinedo et al., 2010). Dojnice se subklinickou mastitidou produkují méně mléka a mají vyšší počet somatických buněk (SB), což také dle Nor et al. (2014) přispívá k celkovému počtu SB v mléce a zvyšuje podíl vyřazených krav z důvodu zánětu mléčné žlázy. Významný podíl na vyřazování krav mají také zadržené lůžko, metritis, dislokace slezu či ketóza. Tyto nemoci jsou často spojeny s neoptimální energetickou bilancí živinových nároků a výdaji na produkci a reprodukci, následně dochází k vyčerpáním zvířete a jeho nežádoucí vyřazení (Probo et al., 2018). Takové období dojnice se nazývá tranzitní neboli přechodné období a je charakterizováno neschopností uspokojit energetickou potřebu pro produkci mléka, regeneraci po otelení, ale také přípravě na další reprodukční fáze života. Tranzitní období je obecně definováno přibližně 3 týdny před otelením a 3 týdny po otelení. Současně se v této fázi setkáváme s vyšším procentem výskytu ketóz, což je onemocnění zvyšující podíl vyřazení především starších dojnic (Roberts et al., 2012). Metritis se rozumí zánět dělohy, který je způsoben bakteriální infekcí vyskytující se nejčastěji během 21 dnů po otelení. Metritis může způsobit krátkodobý pokles pro-

dukce mléka, ale hlavně ovlivňuje délku servis periody a procento březosti ve stádě. Výsledkem je nedostatečná dojivost což souvisí s ekonomickou efektivností daného zvířete a zvýšeným rizikem vyřazení (Kasimanickam et al., 2004). Oproti tomu Probo et al. (2018) neprokázali souvislost mezi metritidou a rizikem vyřazení, což potvrzují také je v souladu s jinými studiemi Dubuc et al. (2011) a Hertl et al. (2011).

Onemocnění hypokalcémie neboli mléčná horečka se projevuje klinicky či subklinicky. Doprovodný efekt tohoto onemocnění je limitně nízká hladina využitelného vápníku. Probo et al. (2018) publikoval, že se jedná o nejvlivnější onemocnění spojené s rizikem vyřazení během prvních 120 DIM. Poporodní paréza či ulehnutí, kdy kráva není schopna vstát, se častěji vyskytují u dojnic s mléčnou horečkou.

Dislokace slezu je charakterizována přemístěním z přirozené polohy ventrálně v dutině břišní do polohy nežádoucí. V odborné literatuře již téměř 40. let se můžeme dočíst, že se jedná o jedno z nejčastějších onemocnění mající přesah do reprodukce a v konečném důsledku se jedná o velmi častý důvod vyřazení zvířete ze stáda (Cha et al., 2013)

Nejistota chůze či abnormální projevy chování obvykle souvisí s dysfunkcemi pohybového aparátu, ale mají vliv například na reprodukční efektivitu či produkcí mléka (Bicalho et al., 2007). Důsledky kulhání dojnic mají dopad na ochotu chůze, ale také ulehání, což ve svém důsledku ovlivní příjem sušiny a dobu přežvykování. Kromě toho plemenice snižují expresi říje a znemožňují jiným plemenicím na ně naskakovat a projevovat tak přirozené projevy říje (Nicholson et al., 2013). Sekundární problémy spojené s onemocněním pohybového aparátu jsou nutnost častého ošetřování paznehtů, což ovlivní management a náklady s tím spojené (Grandin, 2014). Onemocnění v tranzitním období mezi sebou bývají komplexně propojené a jejich odhalení bývá zásadním bodem pro eliminaci jejich fatálních projevů a v konečném důsledku nutnosti vyřadit taková zvířata z chovu (Hostens et al., 2012).

1.6.1 Moderní způsoby detekce změn chování skotu

Současný systém produkce mléka vyžaduje moderní způsoby zavedení postupů prevence chorob. Mezi takové můžeme zařadit například automatické systémy sledování a hodnocení chování, zdraví a dobré životní podmínky v chovech. Dále požadavky zemědělců na úroveň zdraví a optimalizaci nákladů, směřují k automatizaci detekce projevů nežádoucích chorob, což současně umožní včasné odhalení například kulha-

jících jedinců ve stádě (Van De Gucht et al., 2017). Moderní chovatelé dojených stád stále častěji využívají moderní technologie, jelikož se taková investice projeví na ziskovosti a udržitelnosti chovu dojného skotu (Borchers a Bewley, 2015). Obecně se aplikaci moderních prvků do průmyslové zemědělské prvovýroby nazývá precizní způsob chovu dojnic, což se v posledních letech stalo trendem z důvodu efektivnosti a spolehlivosti moderních komerčně dostupných technologií. Mezi hlavní efekty aplikace takových technologií jsou uváděny stabilizační mechanismy procesované moderními technologiemi s cílem optimalizovat ekonomické, sociální a environmentální efektivnost mléčných farem (Eastwood et al., 2012). Možnosti monitorování automatickými systémy umožnují sledovat například parametry denní dojivost, mléčné složky, počet kroku, teplotu zvířete a jeho okolí, konduktivitu mléka či sledování projevů říje a detekce estru s cílem stanovení doby AI (umělá inseminace) a mnoho dalších dat (Bewley, 2010). Toledo-Alvarado et al. (2018) ve své práci uvádí, že během říje se významně snižuje dojivost mléka, což vysvětlují zvýšeným neklidem a sníženým příjmem krmiva. Roelofs et al. (2005) zjistili, že rozptyl nádoje mléka byl více ovlivněn dnem laktace než dnem říje a také, že ke snížení nádoje nedošlo ve všech říjích k významnému snížení nádoje.

Měření pohybové aktivity krav je jeden z nejstarších parametrů sledovaných již od 1954 kdy první technologii na sledování vytvořil Farris (1954). Již v roce 1972 prezentoval Williamson et al. (1972) ve své práci několik příznaků počínající říje. Fáze estru lze u plemenic pozorovat v rozmezí od 12–16 hodin, ale také mezi 2–30 hodinami v závislosti na plemeni. Obecně se doba trvání říje uvádí přibližně 13,5±2,3 hodiny (Yilma, 2020). Délka období říje závisí na několika endogenních a exogenních faktorech, jako je krmení, světlo a teplota prostředí. Standardním ukazatelem fáze říje je ochota na sebe nechat naskakovat jinou plemenici za předpokladu dostatečného prostoru k možnosti případného úniku. Sekundárními ukazateli říje mohou být zvýšený neklid, zvýšená pohybová aktivita a větší interakce s ostatními zvířaty ve skupině (Higaki et al., 2019). Vizuální hledání říje je časově náročná činnost a vyžaduje specifickou schopnost pozorně sledovat projevy skotu. V komerčních chovech se tato činnost podílí z přibližně 30 % na zabřeznutí plemenice. Výsledky studií naznačují, že vizuální hledání říje ve stádě dosahuje až 58 % vyhledaných říjí. Zatímco automatické monitorovací systémy, které nepřetržitě sledují odchylky v chování zvířat dosahují až 80 % Tsai et al. (2020). Aplikací synchro-

nizačních protokolů ke zvýšení počtu krav vhodných k inseminaci se uvádí navýšení detekce říje až na přibližně 85 % (Van Eerdenburg et al., 2002; Yaniz et al., 2004). Firk et al. (2003) uvádí, že by nemělo být prováděno během období dojení nebo krmení. Dále dodává, že je důležité nepřetržité pozorování 24 hodin denně, protože začátek říje je většinou brzy ráno, a tudíž předpověď optimální hodiny inseminace vyžaduje neustálý tok a vyhodnocování dat mnoha parametrů. Použití moderních metod vyhledávání říje umožnuje vyšší procento detekovaných říjí potažmo zvýší březost ve stádě, následkem čehož dojde ke snížení nákladů na reprodukci (Roelofs et al., 2010). Terénní zkušenosti i vědecké poznatky se shodují na užitečnosti využití automatického pozorování říjových projevů a vyhodnocení estru jako jeden z nejužitečnějších parametrů (Borchers a Bewley, 2015).

Dále jsou obecně sledovány parametry mléka jako celkový počet mikroorganismů (CPM), počet somatických buněk (SB), obsah a poměr tuku, bílkovin či laktózy v mléce a mnoho dalších ukazatelů. Nejméně využívané technologie jsou ve sledování pH bachoru, dechové frekvence, emise methanu nebo kondice (BCS) apod. Borchers a Bewley, 2015). V současné době automatická záznamová zařízení umožnují kontinuální sledování a vyhodnocování dat ze senzorů či videokamer. Senzory mají potenciál zaznamenávat změny chování při ulehání, čímž napomáhají odhalovat nedostatky a optimalizovat management chovu (Steeneveld a Hogeveen et al., 2015). Mattachini et al., (2013) ve své práci v UK uvedl, že senzory připojené například k jedné ze zadních končetin skotu fungovali ke sledování aktivity, ulehání a doby ležení. Výsledky byly korigovány dle behaviorálních pozorování (Tolkamp et al., 2010).

Výskyt kulhání krav je obecně považováno za jeden z nejzávažnějších problémů, které ovlivňují dobré životní podmínky zvířat a tím i produktivitu mléčné farmy (De Mol et al., 2013). Bez ohledu na příčiny původu kulhání, včasné odhalení a rychlá léčba minimalizuje ztráty a snižuje utrpení zvířat. Běžné konvenční metody analýzy chůze zahrnují buď pedometry (akcelerometry), anebo chůzi zvířete po speciálních silových deskách, kde systém počítá rozložení hmotnosti a vzor chůze (Maertens et al., 2011). V odborné literatuře se můžeme setkat s automatizovanými metodami detekce kulhání založené na pozorování kamerou. Tato metoda prozatím využívá jediný statisticky měřitelný znak (tj. odhad zakřivení zad / držení těla zvířete pro predikci zdraví chůze), kdy se vychází z předpokladu, že některé chromé krávy mají výraz-

ně vyklenutý hřbet (Poursaberi et al., 2010). Zatímco Van Hertem et al. (2014) vyvinuli automatizované systémy detekce kulhání založené na měření zadního oblouku pomocí 3-dimenzionálního (3D) videa.

Zatím není žádná spolehlivá metoda komerčně užívaná, která by se zaměřovala na včasnou klasifikaci kulhání, která je vhodná pro každodenní použití na komerčních farmách (Viazzi et al., 2014). Wang et al. (2023) ve své práci dokládá, že v rámci precizního zemědělství může trojrozměrné počítačové pozorování zvířat zlepšit a zpřesnit pozorování a hodnocení přírůstku a tím také management odchovu. Pro hodnocení trojrozměrných dat autoři použili senzory Kinect upevněných na nadir, jimž pozorovali tvar a proporce hřbetu každého jedince. S dalším rozvojem technologie strojového vidění a umělé inteligence může být chování zvířat hodnoceno automaticky bez zásahu člověka (Zhuang a Zhang, 2019). V posledních letech byla vyvinuta řada algoritmů detekce, založených na Deep Learnig (DL) učení disponující vysokou přesností, rychlostí a využitelností v terénu. Technologie DL byla použita pro detekci identifikaci jedinců v chovu skotu i prasat, ale také k posouzení dobrých životních podmínek. Konvoluční neuronová síť (CNN) založená na DL prokázala vynikající výsledky v segmentaci obrazu prasat, rozpoznávání chování, detekci držení těla a identifikaci zvířat. Výsledky byly zatím získány v podmínkách k pozorování určených tzn. v jednoduchých provozních podmínkách a kontrolovaném stavu s omezeným rušením (Kim et al., 2017). Algoritmy hlubokého učení nazvané Mask R-CNN a UNet-Attention prokázaly dobré detekční schopnosti při různých okolnostech s relativně nízkými náklady na hardware a vysokou výpočetní rychlostí. V algoritmu UNet-Attention je přidán mechanismus pozornosti pro zlepšení efektivity modelu, který se zaměřuje na specifické parametry vedoucí k realizaci objektu a potlačuje irelevantní informace (He et al., 2021; He et al., 2022). Model UNet-Attention má jednoduchou konfiguraci algoritmu což umožnuje obrazy s nízkým rozlišením snadno rozpoznat, segmentace je rychlá, což může splnit potřeby monitorování zvířat v reálném čase. Model UNet-Attention má jednoduchou konfiguraci algoritmu což umožnuje obrazy s nízkým rozlišením snadno rozpoznat, segmentace je rychlá, což může splnit potřeby monitorování zvířat v reálném čase. Algoritmus založený na Mask Scoring R-CNN řeší segmentaci obrazu ze složitých pozadí algoritmy nevyžadují vysokou hardwarovou kapacitu a mohou tak rychle identifikovat cí-

lové obrazy v reálném čase, což by mohlo mít rozsáhlé aplikace v budoucnu (Tu et al., 2020).

1.7 Reprodukce skotu

Úroveň reprodukce je hlavním faktorem, který ovlivňuje produkci mléka a ekonomiku chovu. Odborné publikace prokázaly, že úroveň reprodukce úzce souvisí s produkcí mléka a roční užitkovostí, potažmo rentabilitou chovu. Míra zabřezávání má zásadní význam pro ziskovost chovu dojnic, zároveň byl prokázán antagonistický vztah mezi plodností a nádojem mléka v souvislosti intenzivní selekce pro mléčnou užitkovost (Sammad et al., 2020). Zajištění úspěšné reprodukce je jednou ze základních podmínek úspěšného chovu Na jedné straně se neustále zvyšují nároky na množství a kvalitu nadojeného mléka, na straně druhé jsou známé záporné korelace těchto znaků k plodnosti. Zvláště při zvyšující se mléčné užitkovosti je problém se zabřeznutím plemenic často spojený s narůstajícím počtem tzv. tichých, nevýrazných říjí a následně také s časnou embryonální mortalitou (Louda et al., 2008). To vede k tomu, že se prodlužuje délka servis periody, zvyšuje se spotřeba inseminačních dávek, narůstá počet inseminačních úkonů atd., což má za následek zhoršující se ekonomiku chovu (Bezdíček, 2010). Efektivní reprodukce je založena na správné detekci říje, úspěšné inseminaci, zabřeznutí plemenice, udržení březosti a snadném porodu životaschopného telete (Pandeya et al., 2020). Koeficient heritability plodnosti je h^2 = 0,1. To znamená, že pro dosažení dobré úrovně reprodukce, se musíme pečlivě věnovat jejímu managementu, zejména u vysoce produkčních krav (Sobek et al., 2022). Podle nejnovějších studií je také nutné do plánování reprodukčních strategií zahrnout i genetický pokrok (Ettema et al., 2011).

Mezi nejdůležitější příčiny poruch reprodukčního systému patří chyby ve výživě, nepříznivé podmínky ustájení, nesprávné vyhledávání říje, nedostatečná hygiena při porodu či infekce škodlivými agens jakéhokoliv druhu. Hormonální systém zvířat odpovídá na tyto stresové faktory patologickými reakcemi, jako je tichá říje nebo folikulární cysty. Z uvedeného je tedy zjevné, že management reprodukce je nejvýznamnějším nástrojem ke zvyšování její úrovně. K tomu je zapotřebí znát fyziologickou podstatu reprodukčních funkcí a sledovat hodnoty reprodukčních ukazatelů (Stanojević et al., 2016). Ovariální folikulární cysty mohou být funkčně klasifi-

kovány jako luteální nebo folikulární na základě koncentrace progesteronu v krevním séru nebo mléce v době měření. Obecně jsou luteální cysty spojeny s relativně vysokými koncentracemi progesteronu v periferiích, zatímco folikulární cysty jsou spojeny s relativně nízkými koncentracemi progesteronu. Ovariální cysty se řadí mezi jedny z hlavních faktorů ovlivňujících plodnost mléčného skotu, z důvodu negativního vlivu na reprodukci, což v důsledku způsobuje ekonomické ztráty. V literatuře bývají definovány jako anovulační struktury o průměru 20 nebo 25 mm, perzistující nejméně 10 dní na vaječníku bez funkčního žlutého tělíska. V posledních letech však vývoj ultrazvukových a hormonálních testů vaječníků, zejména progesteronu (P4), poskytl širší znalosti v této problematice. Na tomto základě byly vytvořeny nejefektivnější kombinace postupů léčení. Léčba je primárně založena na použití hormonů GnRH a $PGF_2\alpha$, který je velmi účinný v případě luteální cysty. Prevence tvorby cyst a snížení nemocí obecně spočívá v eliminaci stresu a optimalizaci výživy a krmení během období stání na sucho a po otelení (Mimoune et al., 2021).

Ekonomický význam úspěšné reprodukce spočívá v produkci telat a v hormonální stimulaci laktace. Optimální úroveň plodnosti by měla zajistit od jedné krávy, jedno zdravé tele za rok. Vyhovující míru plodnosti můžeme valuovat na základě obecně užívaných parametrů jako délka inseminačního intervalu do 75 dnů, březost po první inseminaci 50 %, inseminační index do 2,0, délka servis periody do 100 dnů a délka mezidobí do 385 dnů. Pokud máme vysokou užitkovost, je možné tolerovat prodloužení mezidobí do 400 dnů s adekvátním prodloužením inseminačního intervalu a servis periody (Kim a Jeong, 2019).

1.7.1 Biologické základy plodnosti skotu

Plodnost je základní biologická a užitková vlastnost skotu. Plodností se rozumí schopnost produkovat životaschopné potomstvo (Louda et al., 2008). Reprodukční orgány samice tvoří párové vaječníky a vejcovody, děloha, pochva a vulva. Neúprosnou zákonitostí v chovu skotu je skutečnost, že bez reprodukce není produkce – ani mléčné, ani masné (Louda et al., 2008). Špatná reprodukce má negativní vliv na budoucí produktivitu stáda.

Cyklus se skládá ze dvou oddělených částí: Luteální (14-18) a Folikulární (4-6 den). Luteální fáze představuje část cyklu, při které po ovulaci se na vaječníku vytvořilo žluté tělísko, často označovaný jako Metestrus a Diestrus. Folikulární část cyklu

nastává po zániku žlutého tělíska až do ovulace (Proestrus a Estrus). Během folikulární fáze dochází k závěrečnému zrání a ovulaci folikulu, což umožňuje jeho oplodnění. (Forde et al., 2011). Reprodukce je ovlivněna prostředím, managementem, zdravím a genetickými faktory (Gröhn a Rajala-Schultz, 2000). Reprodukční funkce u samic zajišťují produkci vajíček a poskytují prostředí pro růst a dozrání plodu. K tomu je nutná koordinace komplexu vztahů mezi hormony a tkáňovými změnami v těle samice (Diskin a Kenny, 2016). V průběhu říjového cyklu, dochází v pravidelných intervalech k folikulárním vlnám ve dvou až čtyřech různých kohortách. Každá vlna folikulů dosahuje životnosti až 10 dní, jak dorůstají prochází fází vzniku, selekcí, dominancí a atrézií nebo ovulací. Vznik každé nové folikulární vlny je stimulován 1 až 2denním zvýšením folikul stimulujícího hormonu (FSH) (Crowe, 2008). Následuje selekce dominantního folikulu, která probíhá při poklesu koncentrace FSH. První či další dominantní folikul produkuje množství estrogenů k vyvolání říjových projevů a ovulaci v případě, že žluté tělísko (CL) regredováno po vnější aplikací hormonů $PGF_2\alpha$ (Sakaguchi et al., 2007). Hormon estrogen, který je znám také jako estradiol-17β, je primárním signálem směrem k hypotalamu, který vyvolává projevy říje v případě nepřítomnosti vlivu hormonu progesteronu (Morotti et al., 2021). Po dosažení prahové hladiny progesteronu na počátku luteální fáze, inhibuje výskyt říjových projevů. Také stresory zvyšující hladinu kortizolu v krvi oddalují či blokují předovulační nárůst LH, což ovlivní projevy říje, aniž by došlo ke změně proestruální koncentrace 17β estradiolu v krvi (Niozas et al., 2019). Kumro et al. (2021) uvádí, že intenzita projevu říje nesouvisí s koncentrací estradiolu17β v krvi.

Folikulogeneze neboli proces tvorby zralých folikulů schopných ovulace. Ovariální folikuly obsahují tekutinu a jsou obklopené vrstvou granulózních buněk. Při ultrasonografickém vyšetření se pak využívá vlastnosti odrážet ultrazvukové vlny od struktur naplněných tekutinou (Fricke et al., 2002; Van Den Hurk a Zhao, 2005). Většina ultrazvukových skenerů veterinárního stupně dokáže rozlišit ovariální folikuly o průměru 2 až 3 mm nebo větším a větší antrální folikuly lze snadno sledovat během sériového skenování (Sartori et al., 2001; Colegate a Molyneux, 2007). Při procesu folikulogeneze dochází k diferenciaci primordiálních folikulů se zárodečnou buňkou do dalších stádií až do stádia antrálních folikulů obsahujících vyvinutý oocyt s granulózními buňkami (Silva et al., 2009; Kadokawa, 2020).

Žluté tělísko neboli Corpus Luteum (CL) je přechodná endokrinní žláza tvořící se po ovulaci ze tkání, které před tím vytvořili ovariální folikul. CL může být někdy považován za terminální fázi vývoje folikulů. CL lze pozorovat jako zřetelnou tkáňovou hmotu, které mohou obsahovat dutiny s tekutinou. Na základě sonografického vyšetření více jak 79 % dojnic obsahuje dutiny od 2 do 10 mm v průměru (Singh et al., 1997). Reprodukce je složitý hormonálně řízený fyziologický proces, při kterém dochází k dozrání a uvolnění vajíčka z vaječníku, jeho oplození ve vejcovodu a uhnízdění v děložní sliznici a dále k vývoji časného embrya a plodu až do narození mláděte. Nízká plodnost snižuje průměrnou produkci mléka a počet telat na krávu za rok. (Wagner et al., 2021).

1.7.2 Dospělosti skotu

V managementu skotu se setkáváme s různými úrovněmi dospělostí pohlavní, chovatelskou a tělesnou. Po dosažení pohlavní dospělosti za normálních podmínek probíhají pohlavní cykly v pravidelných intervalech po celé reprodukční období vyjma období březosti a krátké doby po porodu. V tomto období se nedoporučuje zařazovat zvíře do reprodukce (Domecq et al., 1997). Chovatelská dospělost je věk, kdy lze býky a jalovice využít poprvé k plemenitbě bez negativního vlivu na dokončení jejich růstu a vývinu. Nástup chovatelské dospělosti je závislý na plemenné příslušnosti, úrovni výživy i managementu v chovu. První inseminace jalovic by se měla provádět v optimálním věku při splnění 55-65 % předpokládané hmotnosti dospělého jedince, což následně pozitivně ovlivní procento březosti (Martin et al., 2008). Zatímco Louda et al. (2008) uvádí optimální věk jalovice pro první inseminaci ve věku 16-16 měsíců po dosažení 65-75 % živé hmotnosti v dospělosti. Tělesná dospělost nastává v období dokončeného růstu skeletu zvířete a zvyšuje se proces ukládání tuku, tedy mezi 4. a 5. rokem věku. Kráva představuje zvíře polyestrické (Pal a Dar, 2020). Trvání říje kolísá kolem 24–36 hodin. Pohlavní cyklus trvá průměrně 21 dnů, u jalovic bývá kratší 20 ±2 dny, u krav 21 ± 4 dny (Louda et al., 2008). Při normálním průběhu říje dozrává na vaječníku Graafův folikul, obsahující vaječnou buňku. Buňky vaječníku produkují hormony estrogeny, které způsobují typické změny v chování plemenice a změny na vnějších pohlavních orgánech (neklid, bučení, naskakování na ostatní zvířata, zarudnutí a otok vulvy, výtok říjového hlenu) (Pal a Dar, 2020).

Celý estrální cyklus se podle změn na pohlavních orgánech a změn chování v průběhu pohlavního cyklu dělí na 4 fáze (Louda et al., 2008).

- Proestrus – období před říjí (20. až 21. den cyklu)
- Estrus – říje (1. až 2. den cyklu)
- Metestrus – období po říji (2. až 5. den cyklu)
- Diestrus – období mezi říjemi (6. až 19. den cyklu).

Proestrus

Jinak taktéž předříje, je časový úsek začínající regresí žlutého tělíska. Toto období předchází říji. Proestrus je „přechodná" část cyklu. Dochází k ukončení luteální fáze předcházejícího cyklu a začíná fáze folikulární cyklu nového. Na vaječníku probíhá regrese žlutého tělíska a dochází k růstu dominantního folikulu, který dosahuje velikosti 10-15 mm (Zuluaga et al., 2010). Zvyšuje se přívod krve do pohlavních orgánů, dochází ke zduření a silné proliferaci sliznic vývodných cest, uvolňuje se děložní krček a z vulvy začíná vytékat řídký hlen. Objevují se první příznaky změněného chování. V tomto stádiu dochází ke shlukování plemenic, chodí okolo sebe, mají menší zájem o krmivo, a může být pozorována i snížená dojivost. Očichávají sousední plemenice a nechávají se očichávat. Některé stojí v poloze „hlava k hlavě" s jinými plemenicemi, které jsou ve stejném stadiu říje. Vulva je mírně zarudlá a oteklá. Lze pozorovat i čirý či řídký výtok, který volně vytéká a neprovázkuje. Plemenice, které přichází do říje, jsou neklidné, vnímavější, ostražitější a často věnují pozornost ošetřovatelům. Délka této části cyklu je 2 až 4 dny, přičemž vnější příznaky lze pozorovat posledních 5–15 hodin před začátkem říje. Samice je v této době vyhledávána samci, není ale ochotná se pářit a odhání je (Stádník et al., 2017).

Estrus

Zahraniční autoři ve svých studiích ukazují, že projev estru je intenzivnější, když je více plemenic ve stejném stádiu estru současně (Tippenhauer et al., 2021). V této době se vyplavuje z adenohypofýzi luteinizační hormon (LH), který dokončuje zrání Graafova folikulu a ke konci tohoto období dochází k ovulaci (prasknutí Graafova folikulu a uvolnění vajíčka). Na vaječníku je dokončena regrese žlutého tělíska, folikul dorostl do tzv. Graafova folikulu, který má průměr 15 až 25 mm. Graafův folikul je vyplněn folikulární tekutinou v níž dozrává vajíčko. Vývodné pohlavní orgá-

ny jsou edematózní, tonikální a vykazují vysokou sekreční aktivitu (Rutllant et al., 2005). Vulva i pochva jsou oteklé, zarudlé se světlým, jasným, hustším, průzračně sklovitým hlenem, který vytéká ven z vulvy. Plemenice „provázkuje“ (Stádník et al., 2017). Pro tuto část je také typické, že se dostavuje reflex nehybnosti, jehož trvání je přibližně 7-10 hodin. Říjící se plemenice na sebe nechá naskakovat ostatní krávy, což je pro zootechnika významný signál k detekci říje (Peters a Ball, 2004). Kerbrat a Disenhausa (2004) uvádí, že toto chování se vlivem různých faktorů projevuje pouze přibližně u 60 % současných dojnic. Mezi další neméně důležitý zevní projev říje patří zvýšená pohybová aktivita (Holman et al. 2011), které se využívá v současné době především u elektronických detekčních systémů říje (Poborská et al., 2016; Tippenhauer et al., 2021). Při normálním průběhu říje trvá toto období 12–24 hodin a u jaloviček či vysokoužitkových dojnic je vzhledem k vysoké intenzitě jejich metabolismu zpravidla kratší. Toto období je optimální dobou pro provedení inseminace a nejlepších výsledků se dosahuje, když je plemenice inseminována ke konci tohoto období. Poněvadž v této době se vlivem luteinizačního hormonu (LH) dokončuje zrání Graafova folikulu a ke konci tohoto období dochází k ovulaci. K ovulaci podle Furukawy et al. (2022) dochází za 6–10 hodin po skončení říje. Stádník et al. (2017) uvádí čas ovulace 10. a 12. hodin po skončení říje.

Metestrus

Metestrus následuje po ovulaci a trvá od 1. do 4. dne cyklu. Společně s diestrem tvoří luteální fázi cyklu. Během této doby se začíná na vaječníku vyvíjet žluté tělísko a děložní sliznice vstupuje do fáze sekrece. Toto období je charakterizováno snížením hladiny estrogenů a vysokou aktivitou luteinizačního hormonu LH. Na místě prasklého Graafova folikulu je po krátkou dobu prasklinka, která je vyplněna krví, záhy však začíná růst žluté tělísko a posléze dochází k produkci progesteronu. Ovulované vajíčko se dostává do nálevky vejcovodu a pokud se setká se spermiemi, dojde k oplození Rajesh et al., 2022). Pokud nedojde k oplození ovulovaného vajíčka, za dva až tři dny po skončení říje bývá pozorován krvavý výtok, který může sloužit k hodnocení správnosti načasování inseminace (Louda et al., 2008).

Jedním z jistých znaků tohoto období je, že plemenice na sebe již nenechávají skákat. Snáší ještě očichávání jinými plemenicemi a některé se ještě snaží skákat na ostatní krávy. Výtok je velmi hustý, zakalený a viskózní (Stádník et al., 2017). Na začátku

této fáze je možné plemenici ještě inseminovat, ovšem s postupujícím časem se snižuje pravděpodobnost oplození. Nejčastěji 2. – 3. den po skončení říje se objeví postestrální (populační) krvavý výtok, který může přispět k hodnocení správnosti času inseminace. Pokud plemenice nezabřezla, měla by se opakovat říje za 18 až 24 dnů (Ali et al., 2022). Krvácení se vyskytuje u všech plemenic, je však pozorováním zachyceno pouze u 90 % jalovic a 50 % krav. Tato fáze trvá 3 až 4 dny (Stádník et al., 2017).

Diestrus

Je období nástupu luteální aktivity, která začíná obvykle okolo 4. dne po ovulaci a končí regresí žlutého tělíska. Růst žlutého tělíska končí 8. den. Zvyšuje se sekrece progesteronu. Pokud plemenice zabřezla, žluté tělísko přetrvává, perzistuje a zabraňuje nástupu nové říje. V případě, že nedošlo k zabřeznutí, 14. – 15. den cyklu děložní sliznice začíná produkovat prostaglandin, který svými luteolytickými účinky navodí regresi žlutého tělíska. Trvá od 5. do 18 dne cyklu (Louda et al., 2008). Během této periody plemenice nestojí a nenechávají na sebe skákat. Jsou klidné, mohou však očichávat jiné říjící se plemenice a skákat na ně (Stádník et al., 2017). Z pohledu sexuálního chování zvířat je období ochoty k páření – inseminace příznačné pro estrus. Období sexuální neochoty zahrnuje metestrus, diestrus a proestrus (Louda et al., 2008).

1.7.3 Řízení reprodukce v chovech

V chovech dojnic se uplatňuje řada biotechnologických metod, jako je inseminace, přenosy embryi nebo hormonální synchronizace plemenic. Vlastní inseminaci zajišťují v chovech nejčastěji inseminační technici organizací plemenářských služeb nebo vyškolení zaměstnanci zemědělského podniku. Inseminace se provádí buď v přirozené říji plemenice nebo v rámci použitého protokolu hormonálního ošetření plemenic (Wahjuningsih, 2023).

Inseminace

V systému chovu dojených krav je základní metodou plemenitby umělá inseminace. Cílem inseminace je zajistit, aby v době vhodné k oplodnění oocytu, bylo k dispozici na správném místě a v dostatečném počtu dostatek vitálních a kapacitovaných sper-

mií (Diskin, 2018). Inseminaci lze považovat za nejúčinnější šlechtitelskou metodu, pomocí které může chovatel přímo ovlivnit posun stáda Gutierrez et al., 2014). Výhody umělé inseminace jsou zřejmé – úspora nákladů na chov býků, vyšší bezpečnost práce, využívání kvalitnějších býků a rychlejší prověření mladých býků, tedy rychlejší postup šlechtitelské práce. Umělá inseminace zmenšuje výskyt přenosných pohlavních chorob u skotu a zvyšuje použití geneticky lepších býků ke zlepšení výkonnosti stáda (De Morais et al., 2020). Kvalita práce inseminačního technika ovlivňuje výsledky reprodukce zhruba z 10 % a více. Na výsledku zabřezávání se 50 % podílí plemenice a 50 % býk (inseminace). To znamená, že správné provedení inseminace hraje značnou roli úspěšnosti zabřezávání (Říha, 1996). Musíme vycházet z předpokladu, že použité inseminační dávky jsou kvalitní a dochází ke správné manipulaci s nimi. Z toho vyplývá, že odběr z kontejneru nemá trvat déle než 10 vteřin a provádí se těsně nad hladinou dusíku pod hrdlem, v žádném případě mimo chladovou zónu. Manipulace se spermatem, zejména s 0,25 ml pejetami, je kriticky důležitá.

Dále se nedoporučuje příprava dopředu více jak dvou inseminačních dávek, které jsme schopni spotřebovat do 6 až 8 minut, jinak dochází k prudkému poklesu pravděpodobnosti zabřeznutí. Nejlepší březosti bývá dosahováno, pokud jsou plemenice inseminovány do několika hodin po nástupu říje, tedy v druhé polovině říje, což je v praxi mnohdy náročné zajistit (Diskin, 2018).

Dobrovolná čekací doba (VWP)

Dobrovolná čekací doba (anglicky Voluntary Waiting period – VWP) je časový interval od otelení do doby zařazení do reprodukce, tedy první inseminace, během které nejsou krávy záměrně inseminovány, aby krávy měly čas zotavit se z negativní energetické bilance (NEB) a obnovit normální ovariální cyklicitu během tohoto období (Chen et al., 2015). Většina farem s délkou mezidobí do 400 dní používá VWP 40–60 dní, z důvodu vysoké produkce mléka, potažmo ekonomických důvodů (Österman a Bertilsson, 2003). Takto nastavená doba VWP obecně navazuje na termínovanou umělou inseminaci v období vysoké dojivosti, kdy je většina krav v NEB a mobilizuje tělesné rezervy. Míra březosti po první inseminaci se v tomto období pohybuje od 26,7 % do 50,7 % Siddiqui et al. (2013). Načasování první inseminace do doby vrcholu laktace, souvisí s vysokým procentem neúspěšných inseminací, což

se projevuje nízkou mírou zabřezávání po první inseminaci a větším počtem inseminací na zabřeznutí potažmo vyšším průměrným DIM ve stádě (Pryce et al., 2004). Záměrným prodloužením VWP a tím i doby první inseminace, se umožní krávě delší doba pro zotavení a regeneraci po otelení. Lze tedy předpokládat, že prodloužení VWP bude mít vliv na zlepšení ovariální cyklicitu na konci VWP, potažmo zlepšení projevů říje a tím zlepšení reprodukční schopnosti zvířete. Studie Ratwan et al. (2022) uvádí, že prodloužení VWP z 60 dní na 150 dní, vedlo k prodloužení mezidobí ze 365 dní na 445 dní a zlepšení procenta zabřezávání ze 41,5 % na 50 %, což souviselo s nárůstem potřebných inseminací na zabřeznutí z 1,6 na 1,9 dávky. Dále snížení veterinární léčby anestra z 28,6 % na 5,3 %. Studie Niozas et al. (2019) publikovaná o 21 let později potvrzuje, že prodloužení VWP, má za následek zvýšení procenta březosti. Zatímco Larsson a Berglund (2000) uvádí, že prodloužením VWP až na 230 dní může dojít ke zvýšení rizika vzniku ovariálních cyst, či ke snížení projevů říje. Nejednoznačné důsledky záměrného prodlužování VWP, mohou souviset s nežádoucími projevy na tělesnou kondici při první inseminaci po otelení.

Synchronizace říje

Synchronizace říje je manipulace s estrálním cyklem plemenic nebo navození říje, aby velké procento plemenic přišlo v krátké době do říje v předem určené době. Je jedním z pokročilejších procesů, jehož prostřednictvím by mohla být minimalizována chybovost zootechniků a redukovány náklady na reprodukci. Nejčastějším důvodem k použití této metody je nízká úroveň detekce říje, a tak potřeba usměrnění ovulace do přesného termínu, který umožňuje předem načasovanou inseminaci zvířete (Islam, 2011).

Při využívání umělé inseminace napomáhá snížit potřebu zařízení, pracovníky a s tím spojené náklady na vyhledávání říjí. Umožnuje eliminovat chyby při detekci říje a zkrátit dobu potřebnou k inseminaci. Existuje mnoho možností pro synchronizaci říje a ovulace. Obecně lze estrální cyklus u zvířat synchronizovat dvěma způsoby: zkracováním nebo prodlužováním luteální fáze cyklu (Colloton, 2014). Pro zkracování luteální fáze estrálního cyklu nejčastěji aplikujeme prostaglandin $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$) a jeho chemické analogy. Podáním přípravků s luteolytickým účinkem dojde k regresi žlutého tělíska, poklesu hladiny progesteronu a následné akceleraci růstu a zrání dominantního folikulu (Stötzel et al., 2012). Druhým způsobem synchronizace říje je

prodloužení luteální fáze. Nejčastěji aplikujeme progestiny melengestrolacetát (MGA), syntetický progesteron (P4) a norgestomet. Norgestomet je až 400x účinnější než progesteron. Tyto látky potlačují říji a ovulaci (Sá Filho et al., 2010). Ovsynch synchronizuje folikulární vývoj, luteální regresi a ovulaci tak, že umělé oplodnění může být prováděno ve stanoveném čase bez potřeby vizuální detekce říje (Fricke, 2005).

1.7.4 Detekce porodů

V posledních letech se také do zemědělské prvovýroby dostávají stále více progresivní metody monitorování přirozeného chování zvířat. Automatizované systémy se osvědčily jako vhodné nástroje pro sledování a řízení mléčných stád. Stále se však můžeme setkávat s klíčovými aspekty týkající se zdravý či životních podmínek, které vyžadují účinnější automatizované zařízení například k detekci potenciálně ohrožených zvířat. Mezi takové můžeme uvést fáze očekávaného telení a s tím spojené komplikace. V této souvislosti můžeme pozorovat snahu nepřetržitého automatického sledování a vyhodnocování změn v relaxaci pánevních vazů, edém vulvy, velikost struků, vaginální sekrece, pružnost špičky ocasu a frekvence zvedání ocasu (Górriz-Martín et al., 2022).

Ačkoliv technický pokrok je v této problematice značný, stále vidíme limity automatických systémů v porovnání s biochemickými metodami jako například koncentrace progesteronu v krvi (P4) která před porodem dramaticky klesá (Saint-Dizier a Chastant-Maillard, 2015).

Systémy nepřetržitého sledování mohou detekovat změny chování, ke kterým dochází v den telení, přičemž některé z nich jsou výraznější v posledních hodinách před telením. Mezi takové projevy patří například chůze sem a tam, zvedání ocasu, snížení příjmu krmiva a vody. Také bylo prokázalo, že plemenice držely ocas zvednutý 2–6 hodin před samotným otelením. Jedním z důležitých parametrů, který v posledních letech zpřesnil predikci otelení je pohyb ocasu, který už 5 dní před otelením krávy zvedají pro defekaci a močení častěji a déle (Jensen, 2012). V současné době se na trhu vyskytují různé způsoby detekce nadcházejícího telení. Jedná se o inklinometry (měří skol vzhledem ke gravitaci), akcelerometry (detekující aktivitu ocasu), břišní opasky (monitorující kontrakce dělohy), vaginální sondy (detekující pokles vaginální teploty a vypuzování alontochoria) a zařízení v pochvě nebo na

vulválních pyscích (která detekují vypuzování telete) (Saint-Dizier a Chastant-Maillard, 2015).

1.8 Hodnocení plodnosti krav – Reprodukční ukazatele

Sledování a hodnocení parametrů reprodukce nám obecně slouží k hodnocení a optimalizaci reprodukčních procesů ve stádě. Pravidelným sledováním vyhodnocováním těchto ukazatelů, můžeme včas identifikovat potenciální příčinu problémů ve stádě (Ansari-Lari et al., 2010). Hodnoty ukazatelů reprodukce jsou ze značné části ovlivněny managementem chovu, genetickým pozadím zvířat, zdravotním stavem, výživou, prostředím apod. Vysoký podíl na odchylkách hodnot reprodukčních ukazatelů má mimo jiné i míra detekce říjí ve stádě, manipulace s inseminačními dávkami a faktory vnějšího prostředí jako je např. tepelný stres (Wang et al., 2022). Reprodukce se hodnotí na základě ukazatelů, jejichž hodnotu je třeba posuzovat ve vztahu k úrovni mléčné užitkovosti (Jamrozik et al., 2005).

1.8.1 Vybrané ukazatele úrovně reprodukce

Mezi obecně známé základní ukazatele plodnosti hospodářských zvířat řadíme natalitu. U skotu se v ČR rozlišuje natalita hrubá a čistá.

Hrubá natalita

Vyjadřuje počet živě narozených telat na 100 krav i od jalovic. Hodnota ukazatele je přímo závislá na intenzitě převodu jalovic do vyšší kategorie čili na rychlosti obratu stáda. (Jílek et al., 2002) uvádějí, že ukazatel patří mezi neobjektivnější ukazatele úrovně reprodukce a dává nejucelenější pohled na možnosti selekce a obnově stáda.
Hodnocení ukazatele:

- Velmi dobrá 115 telat
- Dobrá 110-114 telat
- Nižší hodnoty než 105 telat na 100 krav signalizují problém v reprodukci případně zvýšený výskyt poruch ve stádě. (Jílek et al., 2002).

Čistá natalita

Vyjadřuje počet živě narozených telat za jeden rok od 100 krav v daném stádě. Do výpočtu se nezapočítávají telata narozená od jalovic. U dobrých stád by měl být výsledek nejméně 75–80 telat. (Louda et al., 2008).

Mezidobí

Délka mezidobí uvádí časový úsek mezi dvěma porody jednoho zvířete (Bouška et al. 2006). Do výsledku se nezapočítávají zvířata, která v průběhu březosti zmetala. (Jílek et al., 2002). Jedná se o aritmetický průměr délky mezi dvěma porody všech krav (Říha et al., 2004). Délka mezidobí se hodnotí následovně:

- Velmi dobré: do 365 dnů
- Dobré: 366–380 dnů
- Méně vyhovující: 381–400 dnů
- Nevyhovující: nad 400 dnů (Ogawa a Satoh, 2021).

Délka mezidobí u vysokoužitkových dojnic se bude lišit především v závislosti na velikosti chovu a jeho užitkovosti. V chovech, kde dojnice dosahují poměrně vysoké perzistence laktace je ekonomicky opodstatněné prodloužit délku mezidobí například na 415 dní, zatímco v případě chovů s nízkou úrovní perzistence laktace se doporučuje zapouštět krávy tak, aby délka mezidobí nepřesáhla 380–400 dnů (Hu et al., 2023).

Věk jalovic při prvním zapuštění

Udává počet dní od narození k první inseminaci jalovice. Tento ukazatel koresponduje se živou hmotností jalovic (Jílek et al., 2002). Lauber et al. (2021) dodává, že je nutné v chovech optimalizovat tento ukazatel, jelikož se významnou měrou podílí na ekonomice chovu.

Věk jalovic při první zabřeznutí a při prvním porodu

Pohlavní dospělost u jalovic nastává ve věku asi 9 měsíců. Hlavní faktory, které ovlivňují kdy nastane pohlavní dospělost plemenice jsou plemenná příslušnost, živá hmotnost, ale také výživa, management odchovu (Bouška et al., 2006). Věk jalovice při prvním zapuštění udává počet dní od narození do úspěšné inseminace. Tento

ukazatel zohledňuje úroveň zabřezávání jalovic, která je ovlivněna intenzitou jejich růstu, pravidelností říjových cyklů, přesností vyhledávání říje a kvalitou inseminace (Chebel a Cunha, 2020).

1.8.2 Vybrané ukazatele pro aktuální hodnocení reprodukce

Procento zabřezávání po první inseminaci

Vypočítá se ze vztahu „(počet březích po první inseminaci /počet prvních inseminací) x 100“. Procento březosti po 1. inseminaci tedy vyjadřuje skutečný procentní podíl krav, které zabřezly po první inseminaci (Jílek et al., 2002). Březost po 1. inseminaci dosahující ve stádě hodnotu nad 50–60 % lze hodnotit jako výbornou až dobrou. Pokles pod 50 % signalizuje vážné problémy. U jalovic se dosahuje březosti po 1. inseminaci o 15–20 % vyšší (Louda et al., 2008; Strapák et al., 2013).

Procento březích po všech inseminacích

Vypočítáme ze vztahu „Počet březích po všech inseminací/počet všech inseminovaných zvířat x 100“ Cílem je dosáhnout alespoň 60 % (Jílek et al., 2002).

Interinseminační interval

Dle Frelicha et al. (2011) by délka inter-inseminačního intervalu měla být shodná s délkou říjových cyklů. Jedná se dobu mezi dvěma inseminacemi. Interval reprezentuje nejen jejich pravidelnost, ale i kvalitu detekování říje plemenic. Počet dnů v hodnocených intervalech mezi inseminacemi se dělí do následujících skupin jako například: zkrácené cykly (pod 18 dnů), normální cykly (18–24 dnů), prodloužené cykly (nad 25 dnů). Říha et al. (2004) uvádí, že vyšší frekvence zkrácených cyklů může svědčit o častějším výskytu folikulárních cyst či zpětnovazebných poruchách. Frekvence nepravidelných cyklů nad 24 dnů a vyšších poukazuje na výskyt embryonální mortality. Pokud se vyskytne vyšší počet dvojnásobných cyklů (nad 10 %), svědčí to o nedostatečném vyhledávání říjících se plemenic (Sauls-Hiesterman et al., 2020).

Inseminační interval

Inseminační interval značí počet dnů od otelení či zmetání plodu, do provedení první inseminace (Říha et al., 2004) Po bezproblémovém otelení krav masného typu se znovu obecně inseminuje po 30 dnech, tedy po dokončení děložní involuce u plemenic (Diskin a Kenny, 2016). U krav mléčných se vyžaduje přibližně 42–50 dnů po porodu, neinseminovat, ideální doba pro první inseminaci je obvykle mezi 60. až 90. dnem laktace (Saadat, 2021). Délka závisí na průběhu involuce pohlavních orgánů po porodu, na obnovení plnohodnotných ovariálních cyklů a projevu říje. Průměrný interval by se měl pohybovat od 65 do 75 dnů (Wang et al., 2022). Akbari et al. (2022) naznačuje, že při délce intervalu kolem 90. dní většinou souvisí problematickým tranzitním obdobím a následným zařazením do reprodukce po otelení.

Servis perioda

Servis perioda (SP), nepřesně rovněž Days Open – (DO), je časový interval vyjádřený ve dnech od otelení do úspěšné inseminace, potažmo zabřeznutí. Tento ukazatel tvoří pouze data od březích zvířat. Ukazatel SP nezohledňuje vyřazená zvířata, která nezabřezla, což může je třeba brát v úvahu při interpretaci úrovně reprodukce v daném chovu (Jílek et al., 2002). Říha et al. (2004) považují tento ukazatel za jeden z nejvýznamnějších ekonomických ukazatelů. V chovech se tento ukazatel hodnotí následovně: výborná délka SP: 81–95 dnů, vyhovující: 96–110 dnů, nevyhovující: 111–120 dnů, špatná: nad 120 dnů. Kvapilík et al. (2011) považují za optimální délku SP do 100 dnů. Holštýnské krávy dosahují délky SP 120 dnů bez využití synchronizace, zatímco po aplikaci hormonální synchronizace okolo 143 dnů. Coufalík (2013) uvádí, že již délka servis periody nad 110 dní je špatná a svědčí o značných problémech v reprodukci. Dále uvádí, že optimální délku SP lze stanovit podle užitkovosti, a to ze vzorce:

- Nádoj na vrcholu laktace (litry) * 2,2.

Výsledkem je doba ve dnech individuální délky servis periody u plemenice. Jako příčiny špatné hodnoty uvádí Jílek et al. (2002) opožděnou první inseminaci, zvýšené poruchy plodnosti případně chyby při organizaci reprodukce.

Inseminační index

Inseminační index vyjadřuje počet všech inseminací, které potřebujeme na zabřeznutí dané plemenice. Re-inseminace krávy v dané říji se do této hodnoty nezapočítává (Louda et al., 2008). Čím je hodnota inseminačního indexu nižší, tím je chov profitabilnější (Říha et al., 2004). Ukazatele dává chovateli informaci o schopnosti plemenic zabřeznout. Inseminační index je považován za vyhovující, pokud nepřesáhne u krav hodnotu 2,0. U jalovic je tento ukazatel vždy nižší (Bouška et al. 2006). Kvapilík et al. (2011) považují za optimální index do 1,5.

Test nepřeběhlých plemenic (NRT-Non Return test)

Ukazatel je vyjádřen procentem plemenic, které se k určitému dnu od inseminace nepřeběhly. Respektive plemenice, u kterých nebyla ve stanoveném období provedena další inseminace od první inseminace. Nejčastěji se používají hodnoty 28 dní a 56 dní. V sestavě o inseminaci a zabřezávání nalezneme vyhodnocení NRT 28, které je stanoveno z inseminací provedených v minulém měsíci a NRT 56, které je stanoveno z inseminací provedených v předminulém měsíci (Bouška et al., 2006).

Jalové dny (Days open)

Ukazatel je definován podobně jako servis perioda, tedy obecně tento ukazatel efektivně zachycuje jednotlivé události vedoucí k zabřeznutí. Rozdíl oproti SP je, že zahrnuje i krávy vyřazené (brakované) Lucy (2019). Ukazatel lze definovat jako interval od otelení do fertilní inseminace nebo vyřazení případně úhynu (VanRaden et al., 2004). Číselně bude tento údaj vyšší než servis perioda, pokud tedy ovšem nedošlo k tomu, že zabřezly všechny otelené krávy (Jílek et al., 2002).

1.8.3 Nově využívané ukazatele pro hodnocení reprodukce

Pregnancy Rate (PR21)

Servis perioda a mezidobí jsou ukazatele, jež zahrnují pouze krávy, které zabřezly. Nepočítají ale s kravami, které byly vyřazeny nebo zůstaly jalové. Pokud dojde v jednom měsíci ke změnám v chovu, odrazí se v těchto hodnotách jen velmi málo, protože dynamika tohoto procesu je velmi pomalá (Pontes et al., 2009). Proto se v

nich neprojeví změna, kterou případně ve stádě chovatel udělá (Wang et al., 2022). Pregnancy rate 21 neboli míra březosti za 21 dní, je procento březích krav vypočítané ze všech krav, které byly vhodné k inseminaci a mohly za dané období (tedy za 21 dní čili říjový cyklus nebo měsíc v případě PR30) zabřeznout bez ohledu na to, zda byly inseminovány nebo ne. Je tak zároveň měřítkem rychlosti, s jakou v daném stádě krávy zabřezávají. Průměrná hodnota PR21 v chovech se pohybuje 15 až 17 %, ti lepší nad 20 %. Jen ve výjimečných případech některé stádo dokáže překročit 30 % (Jelínková, 2016). Giordano et al. (2011) dodává, že stáda dojnic v USA dosahují hodnoty PR21 mezi 33 až 35 %. Ukazatel PR21 se obecně vypočítá vynásobením míry detekce říje (HDR – heat detection rate) a míry otelení (CR – calving rate): $PR21 = HDR * CR$. U dojených stád se obecně hodnotí ukazatele HDR a CR jako dva hlavní faktory, které v konečném důsledku naznačují budoucí četnost telení (Gaude et al., 2021). HDR obvykle dosahuje 30–70 % odhalených říjí, které mají projevy. Právě takové dokáže pozorovatel identifikovat, ale záleží na zkušenosti tuto činnost vykonávat (Nelson et al., 2017). K čemuž je nutné zajistit detekování říje až 5x denně, což je časově náročná opakující se činnost a musí být prováděna denně po celou dobu mezibřezosti. Jedná se o často využívaný nástroj pro hodnocení úrovně reprodukce. V odborné literatuře se uvádí, že přibližně 50. den od otelení by mělo být detekováno až 80 % říjících se plemenic (Esslemont a Kossaibati, 2000; Koketsu a Iida 2020; Zebari et al., 2022).

Days in milk

Průměrný den krav v laktaci či průměrný laktační den (anglicky DIM) vyjadřuje průměrnou dobu dojnic od otelení. Optimální průměrná hodnota DIM se obecně uvádí do 170. dne laktace (Puerto et al., 2021). Délka DIM koresponduje s délkou stání na sucho a je také užitečným ukazatelem úrovně reprodukce a managementu stáda. Pokud průměrná hodnota DIM dosahuje více jak 200 dní s vysokou pravděpodobností se ve stádě vyskytuje reprodukční problém, ale také tento ukazatel naznačuje problém v tranzitním období a zařazováním krav do reprodukce. Následek prodloužené průměrné DIM je nižší celoživotní produkce mléka na krávu, a to z důvodu příliš dlouhých laktací a tím i nerentabilních fází laktace (Havekes et al., 2020).

1.9 Sledování chování pomocí pedometrů a aktivometrů

V oblasti chovu dojnic se v poslední době můžeme setkat s moderními způsoby sledování životníc projevů hospodářských zvířat (Niloofar et al., 2021). Jednou z těchto technologií jsou aktivometry či pedometry, monitorující pohyb dojnic a tím poskytují cenné informace o jejich chování, zdraví apod. (Groher et al., 2020). Technologie aktivometrů a pedometrů je moderní nástroj, který můžeme řadit do prvků precizního zemědělství. Tato technologie je již rozšířená po celém světě, a to nejen ve vysokoprodukčních stádech, ale i v extenzivních systémech hospodaření. Moderní technologie, jako jsou právě prvky pro nepřetržité sledování zvířat umožnují chovatelům ekonomické, sociální a environmentální přínosy (Lovarelli et al., 2020).

Pedometry a aktivometry jsou zařízení, která slouží ke sledování pohybové aktivity. Pedometry se používají k měření počtu kroků, které zvíře udělá, zatímco aktivometry mohou měřit různé aspekty pohybové aktivity, jako je čas strávený v pohybu, vzdálenost za den apod. Tato zařízení mohou být užitečná pro sledování pohybové aktivity zvířat, což může být užitečné pro hodnocení zdravotního stavu zvířete a pro kontrolu fyzické aktivity. U dojnic se pedometry a aktivometry připevňují na zadní končetinu či na krk (Alsaaod et al., 2015). Z dat získaných z aktivometrů lze získat hodnotné informace o chování dobytka, například o časech, kdy se krávy pohybují a kdy odpočívají, jak dlouho stojí, leží nebo se pohybují a jak často se během dne zvedají a pokládají. Tyto informace mohou pomoci zemědělcům při optimalizaci krmení a dojení, stejně jako při sledování zdraví zvířat, jako je například detekce neobvyklé neaktivity u krávy, což by mohlo značit zdravotní potíže (Halachmi et al., 2019). Přesnost současné generace krokoměrů se pohybuje od 49 do 90 % (Roelofs et al., 2010).

Zemědělci využívají informace získané z aktivometrů pro plánování reprodukčního cyklu plemenice a stanovení optimálního času pro její inseminaci, což vede k větší efektivitě v chovu dojnic. Pohybová aktivita krav se během říje mění negativně ve vztahu ke žraní a přežvykování Reith a Hoy (2012). Doba přežvykování je také vhodný parametr pro identifikaci poruch metabolismu (Maekawa et al., 2002). Je důležité si uvědomit, že každá kráva je individuální a může mít odlišné potřeby a zvyky, co se týče pohybu. Proto je důležité, aby zemědělci sledovali chování jednotlivých krav a vzali v úvahu jejich zdravotní stav a potřeby při plánování krmení, dojení a reprodukce. Informace získané pomocí aktivometrů mohou být velmi uži-

tečné. Důležitá je schopnost správně interpretovat tyto informace a využívat pro optimalizaci managementu chovu (Roelofs et al., 2005).

1.9.1 Popis činnosti akcelerometru

Akcelerometrem se rozumí zařízení, měřící zrychlení způsobené pohybem či gravitací. Běžně se můžeme setkat s aplikací této technologie v moderních telefonech či hodinkách, ale také automobilech, letadlech apod. (Reguieg et al., 2019). Můžeme se setkat s několika různými typy akcelerometrů například:

- MEMS akcelerometry
- Piezoelektrické akcelerometry
- Strain Gauge (deformační)
- MOEMS akcelerometry
- Servo-akcelerometry
- Elektrostatické akcelerometry

Nejběžnějším je MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) akcelerometry. Tento typ akcelerometru využívá mikroskopické mechanické struktury, které se pohybují v reakci na zrychlení a mění elektrické signály. Tyto změny mohou být detekovány a převedeny na digitální hodnoty, které lze dále zpracovávat (Xu et al., 2011). Detailnější popis principu MEMS akcelerometrů lze popsat jako tzv. pružiny a závaží čili každé vystavení akcelerometru zrychlení způsobí pohyb závaží vůči pružině, což způsobí, že se pružina stáhne nebo rozšíří. Následně je tento pohyb je převeden na elektrický signál pomocí piezoelektrických, kapacitních nebo rezistencích snímačů (Hassani et al., 2010).

Piezoelektrický akcelerometr je přístroj fungující na principu účinku piezoelektrického materiálu generujícího elektrické napětí během mechanického namáhání. Z tohoto důvodu je tento typ velmi citlivý na dynamické zrychlení při vysoké frekvenční odezvě. Z tohoto důvodu jsou vhodné pro měření nárazů či vibrací. Tento vztah také umožnuje vybrat optimální rozsah frekvence akcelerometru, za účelem minimalizace chyby měření a zlepšení přesnosti (Tian et al., 2016). Dále umožňuje odvodit vzorec týkající se míry tlumení a chyby měření akcelerometru. Aby byl ak-

celerometr chráněn před selháním, musí být efekt rezonančního jevu minimalizován (Ghemari et al., 2018).

Akcelerometr typu *Strain Gauge* (deformační snímač) využívá změnu elektrického odporu deformačního snímače v důsledku mechanického namáhání způsobeného zrychlením. Důsledkem toho má tento akcelerometr nižší citlivost, ale jsou stabilní a spolehlivé pro měření statického zrychlení (Kamentser, 1994). Využití těchto akcelerometrů můžeme pozorovat v odvětvích, kde je potřeba vyrovnávat negativní důsledky mikro-vibrací, ovlivňující přesně měření, přesné obrábění, metrologické pozorování apod. Systém akcelerometru či deformačního snímače je nezastupitelný pro aktivní systém izolace vibrací (Peng et al., 2019).

Systémy jako například MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems), tedy optické akcelerometry fungují na principu optiky a interferometrie k měření změny polohy hmotného bloku způsobené zrychlením Malayappan a Pattnaik (2021). Tento typ akcelerometru je poměrně nový a kombinuje vlastnosti optického měření a mikro-elektromechanických systémů (MEMS), čímž umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti. Tento typ akcelerometru je nepostradatelný k současnému měření polohy, jelikož je součástí inerciálního navigačního systému, ale také hraje zásadní roli v širokém spektru aplikací, jako jsou např. bezpečnost automobilů, monitorování zemětřesení, detekce gravitace, indikace směru, referenční polohy (Lu et al., 2021). Optické akcelerometry mohou být velmi přesné a mají vysokou frekvenční odezvu, ale jsou obvykle dražší a složitější než jiné typy akcelerometrů (Rafiq et al., 2020).
Servo-akcelerometry využívají zpětnovazební smyčku a elektromechanický systém k udržení hmotného bloku v rovnovážné poloze při působení zrychlení. Tím dokáží detekovat elektrický signál potřebný k udržení stability, čehož se využívá v při zpracování signálu v inerciálním řídícím systému (Zhang et al., 2022). Servo-obvody či servo-akcelerometry mohou být velmi přesné a mají dobré vlastnosti pro měření statického a dynamického zrychlení, ale jejich nevýhoda je cena a složitá údržba v porovnání s jinými typy akcelerometrů (Mizuno et al., 2020).

Elektrostatické akcelerometry využívají elektrostatické síly k měření zrychlení. Vysoce přesný elektrostatický akcelerometr se běžně využíval k měření gravitačních gradientů a detekci gravitačních vln ve vesmíru. Obecně využívané akcelerometry poskytují výsledky měření ze tří os (x, y, z), které obecně zahrnují dvě vysoce citlivé osy pro získávání vědeckých údajů a osu s nízkou citlivostí. Metoda vysokonapěťové

levitace umožňuje řešení testování elektrostatického akcelerometru na zemi a může tak současně detekovat všech šest pohybů akcelerometru, což se osvědčilo jako vhodné schéma pro testování letových prototypových akcelerometrů například pro vesmírné mise (Hu et al., 2021). Tento typ akcelerometru je velmi citlivý a přesný, ale jejich výroba a kalibrace jsou náročné (Touboul et al., 2012). V zemědělství se technologie akcelerometru dostávají v posledních několika letech. Tato technologie má své nezastupitelné uplatnění právě například ve sledování chování zvířat, monitorovat zdraví rostlin, ale také napomáhá zlepšovat efektivitu zemědělských strojů Turner et al., 2022).

1.9.2 Způsoby vyhledávání říje u krav

Jílek et al. (2002) uvádí že, nejčastější příčinou nevyhovujících reprodukčních výsledcích na farmách mléčného skotu je nedostatečná detekce říje. Pro úspěšný management reprodukce musí být detekci říje věnována náležitá pozornost.

Správná detekce říjících se plemenic je prvním krokem pro vylepšení reprodukčních ukazatelů. Zjištění říje u plemenice představuje vysoce odbornou činnost, vyžadující bohaté teoretické i praktické zkušenosti, dále trpělivost a důslednost (Louda et al., 2008).

Nejvhodnější je zvířata pozorovat v období klidu ve stáji 2x až 3x denně. U zvířat si všímáme různých změn, které jsou charakteristické pro říji, jako je například nehybné stání zvířete při skocích jiných plemenic dále pak skákání na jiná zvířata, bučení, olizování, očichávání genitálií jiných plemenic a celkový neklid. Z fyziologických změn můžeme pozorovat např. zduření vulvy či vytékání hlenu (Roelofs et al., 2010).

Röttgen et al. (2020) uvádí, že kromě klasického vizuálního zjišťování projevů říje existuje řada objektivních měřících systémů a metod, které mohou pomocí neinvazivní cestou zpřesnit detekci říje (např. měření teploty těla a mléka, radiotelemetrické měření vaginální teploty nebo využití pedometrů). Říha et al., (2004) uvádí, že i když byla vyvinuta celá řada technických pomůcek, které by měly usnadnit detekci říje, skutečností zůstává, že zatím neexistuje rovnocenná náhrada oka zkušeného pozorovatele, který bezprostředně pozná charakter zevních změn při říji u individuálních krav jak v proestru, tak zejména v estru. Duval et al. (2018) tvrdí že, může být výskytem a detekcí říje ovlivněna délka intervalu mezi otelením a první insemi-

nací. Značné problémy s detekcí říjí, hlavně ve velkochovech dojnic na průmyslové bázi, vedly k opuštění vizuální či jiné kontroly říje a k zavedení různých programů na odstranění těchto problémů (Coufalík, 2013).

Pomůcky pro detekci říje by nikdy neměly nahrazovat vizuální pozorování. Podstatou pomůcek je potvrzení výskytu doby páření (Wang et al., 2023). Louda et al., (2008) uvádí jedny z hlavních metod detekce říje:

- vyhledávání řijící se krávy 2-3krát za den vizuálním pozorováním
- tlakovými detektory, které se lepí dojnicím, u kterých očekáváme říji, na záď
- býci prubíři
- zjišťování hladiny progesteronu v mléce nebo v krvi
- vyhodnocení elektrické vodivosti poševních hlenů
- mikroskopické sledování poševních hlenů – arborizace
- zjišťování teploty mléka při dojení
- nepřetržitý videozáznam stáda
- pedometry připevněné na nohu či krk krávy

Vizuální pozorování v době páření je potřeba provádět 2krát až 3krát během dne, nejméně 30 minut ráno, v poledne a časně večer (Duponte, 2007). Optimální je sledovat říji ráno před krmením a dojením a večer opět v době klidu (Říha et al., 2004). Vlivem různých hormonů dochází v říji ke změnám na pohlavních orgánech i v chování zvířete. Mezi nejčastější změny patří nehybné stání zvířete při skocích jiných plemenic dále pak skákání na jiná zvířata, bučení, olizování, očichávání genitálií jiných plemenic, celkový neklid, případně vytékání cervikálního hlenu. Tento typ detekce říje vyžaduje značné dovednosti a zkušenosti ze strany pozorovatele. Může být také obtížný a náročný na práci, pokud se jedná o velká stáda. (Andersson et.al., 2016). Efektivita vizuálního pozorování se dle údajů v literatuře pohybuje v rozmezí 50 až 70 %. Podle Říhy et al. (2000) je účinnost kolísá mezi 56 až 94 % a obecně přesahuje výsledky z kontrolní skupiny, ve které byla říje sledována pozorováním. Přesnost je přibližně 50 % a je nižší než přesnost při vizuálním pozorování. Pro zvýšení přesnosti byla použita kvantifikace vzeskokové aktivity a prevence náhodného spuštění detektorů.

Detektory vzeskoku jsou to tzv. tlakové detektory např. KaMaR systém, Matr-Master nebo stíratelné barvy. Detekční trubička naplněná barvivem se nalepuje plemenici v křížové krajině před očekávanou říjí (Říha et al., 2004).

Ve fázi říje, kdy plemenice nechává ostatní krávy na sebe naskakovat, se využívá tlaku hrudní kosti na záď naskakované krávy. Tento tlak způsobí vytlačení barviva ze zásobníku detektoru, což vede ke zbarvení a indikaci říje u krávy. Změna zbarvení detektoru zůstává zachována až do potvrzení říje zvířete. Účinnost tohoto systému se udává kolem 90–95 % (Říha, 1996).

Zkušený býk (prubíř) je vazektomovaný nebo s chirurgicky odkloněným pyjem (Frelich et al., 2011). Využívají se i krávy či jalovice ošetřené injekcí testosteronu. Androgenizovaná jalovice se používá k vyhledávání říje 2krát denně, vždy 30 minut ve skupině 30 krav. Aby byla možná následná identifikace krav v říji, zpravidla se býkům upevňují značkovače (Louda et al., 2008). Metoda progesteronového testu je založena na sledování kolísání hladiny hormonu progesteronu během estrálního cyklu zvířete. Hladinu hormonu lze zjišťovat z krve a mléka. Slouží jako kontrola při vyhledávání říjí a indikuje tiché říje bez vnějších projevů, ale neurčí fázi říje. Tohoto testu lze rovněž využít k potvrzení březosti opakovaným testem za 19–24 dnů po provedené inseminaci (Hanuš et al., 2006).

Podle Rorie et al. (2002) je metoda měření odporu poševního hlenu založena na měření změn elektrického odporu vaginálního a cervikálního hlenu, který je v říji nejnižší 30-40 Ohmů. Studie této metody ovšem poukazují na nevýhody. Především na to, že naměřené hodnoty jednotlivých říjích, ať v rámci zvířete, či jednotlivých plemenic, jsou rozdílné. Dále také uvádí problém spojený s polohou sondy uvnitř pohlavních orgánů, která může ovlivnit výsledky naměřených hodnot. Přesná identifikace říje, touto metodou, vyžaduje opakované měření minimálně dvakrát denně. Opakovaně prováděné měření může vést k zánětům reprodukčních orgánů, které mohou způsobit nekorektnost naměřených údajů. Z tohoto důvodu je tato metoda používá v omezené míře, a to především s kombinací s jinou metodou detekce říje.

Brehme et al. (2001) poukázali na to, že odpor poševního hlenu je silně ovlivněn několika parametry, které se netýkají estru, a proto tato metoda není vhodná pro detekci estru. Posouzení krystalizace tzv. arborizace cervikálního hlenu. Test arborizace cervikálního hlenu se provádí mikroskopickým pozorováním roztěru hlenu na podložním sklíčku určeném k mikroskopování (Louda et al., 2008).

1.9.3 Detekce chování pomocí senzoru na noze, krku, uchu, ocasu

Efektivita detekce říje na mléčných farmách má přímý vztah ke zlepšeným výsledkům inseminace, celkovému počtu březosti a délce mezidobí, což v konečném důsledku určuje úroveň produkce mléka a následně ekonomickou efektivnost farmy (Galvão et al., 2013; Reith a Hoy, 2018). Mezi moderní neinvazivní způsoby sledování chování zvířat patří různé typy nositelných zařízení (wearables), jako například e-tagy, obojky pro krávy a elektronické ušní známky apod. Tato nositelná zařízení jsou spárována k individuálnímu zvířeti, a tak umožnují sledovat jednotlivá zvířata individuálně či ve skupinách. Takovéto systémy se stávají běžných standardem v rámci moderního zemědělství 4.0. Automatické systémy monitorování hospodářských zvířat umožnily přesné a kvantitativní hodnocení chování a zdravotního stavu skotu. Dokážou zpracovávat údaje pro včasnou identifikaci patologických stavů, a tím snížit ekonomický dopad nemoci v chovu. Operační účinnost těchto senzorů však závisí na mnoha proměnných, což zdůrazňuje nutnost systematického klasifikačního rámce pro jejich optimální využití (Alipio a Villena, 2022). Obecně lze estrální fázi charakterizovat třemi behaviorálními projevy dle časové posloupnosti: iniciační fáze estru, vrchol estrální aktivity a konec estru. Iniciační fáze neboli nástup estru je determinován určitou úrovní změny indexu aktivity. Tato hodnota může být specifická pro každý chov, jelikož úzce souvisí s dominantním jedincem ve stádě. Následuje doba, kdy je plemenice vhodná k inseminaci, což se projeví jako navýšení a překročení daného indexu aktivity. Poté dochází k poklesu hodnoty aktivity pod stanovenou hranici, což značí konečnou fázi estru. Intenzita projevu estru může být definována indexem na vrcholu aktivity, zatímco doba trvání estru je vyjádřená jako interval. Aktivita každé krávy je průběžně zaznamenávána ve 2 hodinových intervalech a hodnocena pomocí specifického algoritmu (Plenio et al., 2021).

Je obecně známo, že říje u dojnic je doprovázena zvýšeným počtem kroků. Pozdější výzkumy ukázaly, že zvýšení počtu kroků je slibným nástrojem pro přesnou detekci říje. Moderní krokoměry (pedometry) těchto poznatků efektivně využívají. Jedná se o senzory umístěné většinou na zadních končetinách skotu, což umožnuje zlepšení účinnosti detekce říje (Roelofs et al., 2010). Elektronický ušní senzor sledující chování umožnuje v reálném čase kvantifikovat teplotu ucha, dobu příjmu krmiva a přežvykování či říjovou aktivitu plemenic. Základem fungování senzoru je 3-

dimenzionální akcelerometr, který nepřetržitě zaznamenává pohyby ucha skotu. Data jsou poté odesílána prostřednictvím bezdrátového připojení, přes směrovače a koordinátory, do počítače. Datalogger umožňuje uložení dat po dobu maximálně 48 hodin po poslední komunikaci. Nezpracovaná data jsou průběžně shromažďována a každou minutu jsou data klasifikována jako 1 ze 4 kategorií chování, jmenovitě "přežvykování", "žraní", "ležení" a "aktivita" s proprietárním modelem, které jsou následně vyjádřeny jako procento chování za hodinu i za den a jsou k dispozici prostřednictvím například webové aplikace (Bikker et al., 2014). Výsledky práce naznačují významnou spolehlivost systému odhalit chování skotu. Podobné výsledky potvrzují na kravách také Schirmann et al. (2009) a na jalovicích Burfeind et al. (2011).

Mezi spolehlivé metody umožňující sledovat a hodnotit přirozené chování skotu patří také krční respondéry, které jsou zřejmě nejvíce rozšířenou metodou. Systém umožnuje sledování jak doby žraní a přežvykování, tak také projevy říjového chování (Arago et al., 2022). Technické řešení umožnuje snadné umístění identifikačního čipu (RFID) do dojírny. Uživatelská přívětivost instalace či výměna přístroje na krku zvířete je taktéž výraznou výhodou systému (Akbar et al., 2020). Mezi další možnosti využití krčních instalací je umístění senzorů měřících hodnoty emisí či wefare (Buijs et al., 2023). Tato sledovací zařízení lze použít buď jednotlivě, nebo v kombinaci. Obecně platí, že uvedené systémy detekují říje u krav především prostřednictvím sekundárních znaků estrálního chování (Fricke et al., 2014a). Mezi běžné provozní problémy spojené se zaváděním těchto technologií je například komplexnost zařízení, problémy při bezdrátovém přenosu dat a vliv proměnných prostředí na spolehlivost zařízení. Senzory umístěné na zvířeti nepřetržitě zaznamenávají data, která následně odesílají přes bezdrátovou stanici nebo přímo je možné data uložit prostřednictvím portálů USB do hardwarového zařízení. Extrahovaná data mohou být poté uložena na cloudových serverech nebo databázových serverech pro další analýzu a klasifikaci zaznamenaných zdravotních parametrů. S pomocí některých prvků umělé inteligence (AI) mohou biosenzory poskytovat jednoduchou interpretaci měřených dat (Vidic et al., 2017).

1.9.4 Sledování pohybové aktivity pomocí komerčně dostupných systémů

Mayo et al. (2019) ve svém experimentu potvrzují efektivnost využívání pedometrů či krčních respondérů. Ve své práci analyzovali data od 109 krav u kterých vizuálně

sledovali a hodnotili behaviorální projevy. Současně autoři stejná zvířata sledovali pomocí různých automatických systémů. Výsledky hodnocení uvádí, že některé automatické systémy mají schopnost detekovat o 15 až 35 % více řijících se krav než vizuální pozorování. Vědecká práce Nielsena et al. (2018) se zabývá porovnáním dvou komerčně dostupných systémů sledování aktivity. První systém je CowScout (GEA Farm Technologies, Bönen, Německo) a druhý systém IceTag (IceRobotics Ltd., Edinburgh, Skotsko). Analýza ukázala, že oba systémy měří dobu stání a ležení s téměř dokonalou korelací se reálným pozorváním, přičemž oba loggery měly problémy s přesným počítáním kroků. CowScout Leg navíc nedetekoval chůzi příliš přesně. IceTag, který nezaznamenává chůzi, ale pouze ušlé kroky, prokázal vysokou korespondenci s počítáním kroků z videozáznamů a vizuálního pozorování. Závěrem autoři konstatují, že oba systémy jsou velmi přesné v zaznamenávání stání a ležení, ale mají problémy s přesným počítáním kroků. CowScout Leg navíc není dostatečně přesný v detekci chůze pro výzkumné účely.

Závěry práce Benaissa et al. (2020) také potvrzují spolehlivost automatických monitorovacích systémů a dodávají, že v interiérech jako jsou stáje pro skot může například monitorování polohy v kombinaci s analýzou obrazu přispět k efektivitě vyhodnocování behaviorálních projevů krav. Nicméně, optické přístupy nejsou vhodné pro použití v prašném prostředí, při pokrývání velkých ploch a při dlouhodobém individuálním monitorování velkého počtu zvířat. V takových podmínkách je vhodnější systémů na principu radaru, který usnadňuje identifikaci a sledování zvířat. Několik metod lokalizačních systémů je již komerčně dostupných a jsou využívány v provozech například na pastvinách, kde tyto systémy využívají údajů z globálního polohovacího systému (GPS) v umístěného na zvířeti. S metodami filtrace a korekce dat Precise Point Positioning (PPP) může prostorové rozlišení dle použitého senzoru dosáhnout 1 metru s datovou rychlostí 1 sekunda, což umožňuje korelovat zvíře (>1 metr) a tudíž detekovat vodní plochy, specifika vegetace, cesty či zvíře během chůze. V uzavřených stájích, kde může docházet častěji ke ztrátám signálu (GPS) se využívají systémy Real-Time Location Systems (RTLS), využívající ultra-wideband (UWB) frekvenci, což je jedna z nejspolehlivějších a nejpřesnějších dostupných technologií. Na základě sítě pevných antén (senzorů) umožňuje UWB–RTLS sledování 3D pohybu tisíců mobilních zařízení (Tullo et al., 2016), z nichž každé je vybaveno vysílacím tagem menším než kreditní karta, s vysokou přesností (<10 cm) a rychlou

vzorkovací frekvencí (>10 Hz). Tato technologie je již nasazena v průmyslu a nemocnicích pro sledování zařízení i lidí. V chovech skotu tato technologie umožnuje nejen lokalizovat každé zvíře v reálném čase, ale také klasifikovat jeho chování – například kráva může být identifikována jako ležící, jakmile je přesně lokalizována v oblasti odpočinku. Popsanou technologii UWB–RTLS využívá například komerčně dostupný CowView (GEA Farm Technologies, Bönen, Německo) a je chráněn patentovou známkou (Sloth a Frederiksen, 2019). Dutta et al. (2022) se ve své práci zabývají praktickými problémy použitelnosti systému v rozvojových zemích, kde je skot často volně pohybující se během dne, což vyžaduje speciální senzorickou technologii pro zaznamenávání dat mimo farmu. Teplota a rychlost chůze se stávají klíčovými faktory pro analýzu chování skotu. Potenciálním řešením je kombinace GPS modulu s teplotním senzorem (teploměr). Tradiční metody sběru dat, jako ruční přenos nebo radiofrekvenční moduly, jsou nepraktické pro dobytek na pastvě kvůli omezenému dosahu. SIM karta s mobilním připojením na internet může pomoci překonat tento problém. Autoři ve své práci testovali zařízení obsahující teplotní senzor, 3osý akcelerometr a GPS modul. To umožnovalo sledovat různé aktivity skotu v reálném čase na farmě i mimo ni. Systém byl instalován na krk každé krávy. Integrovaný mikrokontrolér sbíral data a přenášel je přes GSM modul na SIM kartu na vzdálený server. Data byla následně analyzována pomocí inteligentních algoritmů pro vyvození vhodných závěrů (Wang et al., 2022). Použitím algoritmů *„Bagging“* and *„Boosting“*, jako jsou RandomForest (RF) a XGBoost algoritmus, pro zlepšení přesnosti predikce. Trénink modelu byl proveden na datech extrahovaných pomocí optimalizovaného XGBoost a RF klasifikátoru. Cílem bylo zavést XGBoost do monitorování skotu řízeného senzory, což je metoda, která v současné literatuře není běžně používána (Borchers et al., 2017).

1.9.5 Změny pohybové aktivity během březosti

Moderní technologie a postupy se neustále implementují do chovu dojnic, aby se urychlil s cílem zefektivnit chov dojnic a zvýšit jeho rentabilitu (Barkema et al., 2015). V posledních letech se v tuzemsku i v zahraničí rozšířilo používání senzorových systémů k automatické detekci říje. Dle Van der Tol a Van der Kamp (2010) je jeden z důvodů rozšíření automatických detekčních systémů, progresivní trend instalací robotických dojicích systémů. Jelikož při dojení robotickým systémem již

není přítomen člověk, který by posuzoval abnormality vemene a mléka, jsou robotické systémy opatřeny automatickými detekčními systémy pro odhalování mastitidy vemene. Moderní technologie napomáhají detekovat vhodný okamžik inseminace estru pomocí vyhodnocování aktivity, krokoměry či třídimenzionální akcelerometry či kulhání (Holman et al., 2011). Trend automatizace a robotizace přirozeně reaguje na snižování kvalifikovaných pracovních sil do zemědělských odvětví. Správná investice do monitorovacích a hodnotících systémů pro detekci estru, umožní snížit množství času, které je nutné pro detekci estru pouhým okem. Firk et al., (2002) uvádí doporučení pozorovat plemenici až 3x denně po dobu 20 minut, což umožní vysledovat až 60 % říjí ve stádě. Zatímco několik studií naznačuje, že automatické detekční systémy mohou odhalit až 85 % krav vhodných k inseminaci (Kamphuis et al., 2008). Druhou stránkou zavádění automatických monitorovacích systémů do chovů je, požadavek proškoleného personálu, který dovede vyhodnocovat a interpretovat velké množství dat a informací v reálném čase (Rutten et al., 2013). Nové technologie vstupující do odvětví živočišné produkce s sebou přináší masivní informační toky, ale zároveň potřebu jejich hodnocení a efektivní využití (Cabrera et al., 2020).

Monitorovací systémy sledování aktivity jsou považovány za užitečný nástroj pro přesnou detekci estru a vhodné doby inseminace, což se také odráží na výsledcích obecně hodnocených reprodukčních výsledků (Fricke et al., 2014b) krav i jalovic (Michaelis et al., 2014), jejich zdravotním stavu (Stangaferro et al., 2016) nebo individuálním chování každé krávy (Pfeiffer et al., 2020). Nejčastěji se k hodnocení využívají data o zvýšení fyzické aktivitě, počtu kroků či dalšími zařízeními na krku zvířete (Rutten et al., 2013). V souvislosti detekce říjového chování je posuzována délka ruminace, ale zda probíhá v určitých denních intervalech (Reith et al., 2012). Zajímavým zaměřením vývoje detekce říje v poslední době se stává sledování parametru vokalizace zvířete. Každý jedinec má specifické vlastnosti vokalizace, ať při běžné sémantické komunikaci, tak v rámci kontextovém vztahu s ostatními jedinci, například k velikosti těla, pohlaví, stavu reprodukčního cyklu, hierarchickém postavení apod. (Pitcher et al., 2014). U skotu se běžně setkáváme se mírou vokalizace v den říje, což se dle Dreschel et al., (2014) může využít jako další parametr pro zpřesnění vhodné doby k inseminaci plemenice. Silva et al. (2008) popisují několik úspěšných případů akustického monitorování pro detekci kašle u prasat. Zařízení pomocí stacionárních mikrofonů identifikuje kašel ve skupině ustájených pra-

sat. Podobnou problematikou u skotu se zabýval Meen et al. (2015), který se dostal do stavu problému správné identifikace konkrétního volajícího zvířete, což se pokusil vyřešit Yajuvendra et al. (2013) tím, že vytvořil databázi charakteristických vokalizací pro každého jedince individuálně. Pro využití hodnocení doplňkového parametru vokalizace je nutné, aby byla spolehlivá a snadno aplikovatelná v praxi, proto je nepravděpodobné, že systém charakteristik individuálních vzorcích bude efektivně využíván (Couchoux et al., 2015).

1.9.6 Vliv sledování chování na ekonomiku chovu dojnic

Jedním z nejlepších způsobů, jak studovat dobré životní podmínky zvířat,je pozorování jejich chování. U dojnic je dobře známo, že doba ležení je užitečným ukazatelem jejich zdraví a pohody (Leliveld a Provolo, 2020). Různá onemocnění pohybového aparátu krav mají obvykle negativní vliv na denní nádoj mléka a prodlužování doby servis periody (Sadiq et al., 2017). Snížení užitkovosti může způsobit také onemocnění mléčné žlázy (Fogsgaard et al., 2015). Změny behaviorálních projevů mohou způsobit také environmentální vlivy, jako tepelný stres, technologie ustájení či vyrovnanost skupin zvířat (Heinicke et al., 2019). Dalším ukazatelem, který naznačuje míru pohody dobytka, je množství přijímaného krmiva. Když se krávy trávi kratší dobu žraním, může to poukazovat na různé příčiny špatného zdraví a nedostatečných životních podmínek. Během období okolo porodu je běžné, že krávy snižují svůj příjem potravy, což může v kombinaci s vyššími energetickými potřebami vést k metabolickým problémům a infekčním nemocem, nedobrovolného utracení a v důsledku k ekonomickým ztrátám. Termín nedobrovolné utracení či vyřazení označuje situaci, kdy je dojnice odstraněna z chovu z důvodu zranění, špatného zdravotního stavu nebo neplodnosti (Langford a Stott, 2012). Další možností je dobrovolné vyřazení z reprodukce, anebo dobrovolné vyřazení z chovu. V obou případech se jedná o dobrovolnost ze strany chovatele na základě vlastních důvodů, které zohledňují rizika a předchází nucenému vyřazení, bolesti a trápení chovaných zvířat. Zásadní v tomto je správná analýza vlivu různých příčin brakování, jako je neplodnost, mastitida a kulhání na hospodářské výsledky a welfare krav, a tedy na vybalancování finančních a humanitárních aspektů (Sundrum, 2015). Výsledky práce Owusu-Sekyere et al. (2023) naznačují, že snížení míry neplodnosti málo ovlivnilo celkovou míru brakování a průměrný věk stáda, zatímco snížení mastitidy a kulhání mělo význam-

nější vliv na nucené vyřazení krav. Při nízké incidenci mastitidy a kulhání došlo k nárůstu finančních výnosů a průměrného věku stáda. Redukce těchto problémů se ukázala jako finančně výhodnější než snížení neplodnosti, přičemž obě opatření vedla ke zvýšení množství mléka a ekonomické výnosnosti. Závěrem studie potvrzuje, že investice do zlepšení zdravotního stavu krav mohou dlouhodobě přinést pozitivní výsledky jak z hlediska finančního, tak z hlediska welfare krav. Jedno z možných řešení nedobrovolného brakování je spolehlivé monitorování jednotlivých zvířat a hodnotit jejich zdravotní stav na základě behaviorálních projevů. K tomuto lze využít moderní senzory a technologie umožňující shromažďovat rozsáhlá data o chování, zdraví a životních podmínkách zvířat, která vyžadují pokročilé statistické metody pro jejich analýzu a interpretaci. Nedávný rostoucí zájem o podobná témata přispěl k rozsáhlému výzkumu nových technologických řešení v zemědělství a k identifikaci nejúčinnějších přístupů (Fournel et al., 2017). Například Hou et al. (2015) se zaměřili na IT řešení a jejich vliv na snížení emisí znečišťujících látek, zatímco Dominiak a Kristensen (2017) se věnovali výzkumu dostupných senzorů pro řízení environmentálních problémů, zdraví a dobrých životních podmínek zvířat a možnostem jejich využití pro zlepšení výkonnosti a snížení incidence onemocnění potažmo optimalizace ekonomické bilance chovu dojnic.

2 Vědecké hypotézy a cíle práce

2.1 Vědecké hypotézy

Výzkumné hypotézy:

- Sledováním životních projevů na noze a na krku zvířete pomocí senzorů, lze odhadnout zdravotní stav, pohodu, ale i určit výskyt říje.
- Včasné podání informací o změnách chování, vede k předejití problémů a tím k optimalizaci nákladů

2.2 Cíle práce

Cílem této práce je ověřit systém pro sledování pohybové aktivity dojnic a dále se zabývat jeho vyžitím pro sledování životních projevů. Systém by měl být založen na moderních technologií využívající k detekci pohybu snímací senzor. Tento snímací senzor se připevní na každé zvíře, které má být monitorováno. Pomocí jedinečného čísla zapsaného ve snímacím zařízení se zvíře identifikuje v evidenčním systému, který na základě sledování předchozích dat vypočte, zdali nedochází k odchylce chování.

Každý pohyb je charakterizován svými specifickými vibracemi. Na základě vizuální sledování chování zvířat, je nutné stanovit, jakým vibracím odpovídá daný pohyb. Systém odhadu chování však musí být do značné míry robustní, tak aby správně přiřazoval chování zvířete jednotlivým pohybům a zároveň fungoval pro všechny druhy zvířat.

Základní cíl práce byl dekomponován na jednotlivé podcíle:

- Vytvoření testovacího zařízení snímající pohyb zvířete, které bude odesílat hodnoty zrychlení ve třech osách do řídícího počítače k jejich následnému zpracování. Musí být správně určena vzorkovací frekvence, tak aby v datech byla obsažena daná informace a zároveň zase nebyla zbytečně vysoká.
- Vizuální sledování chování zvířat ve vybraných podnicích a následné porovnávání s naměřenými hodnotami za účelem správného odhadnutí pohybu. Sledování je nutné provádět se senzorem umístěným na noze a na krku, neboť tyto dva způsoby představují reálnou možnost umístění zařízení v praxi. Kaž-

dé místo však poskytuje odlišné vibrace, na základě kterých je možné odhadnout chování.

- Vytvoření algoritmu pro odhad chování, tak aby jej bylo možné implementovat pro malé jednočipové mikropočítače.
- Vybrat podniky pro ověření správné detekce činnosti zařízení.
- Integrovat navržené zařízení do zemědělského evidenčního programu Famsoft.

Nedílnou součástí práce je i vyhodnocení správné detekce činnosti zařízení z dlouhodobějšího časového horizontu a konfrontace se záznamy činnosti evidovaných u chovatelé v papírové nebo elektronické podobě.

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 Popis vybraných podniků

3.1.1 Zemědělský podnik A

3.1.1.1 Charakteristika oblasti farmy A

Zemědělská výrobní oblast v okolí podniku se rozkládá na ploše cca 31,48 km² a nacházející se ve výšce 464 metrů nad mořem, situována je v Jihočeském kraji. Klimatické poměry oblasti jsou typické pro jihočeskou oblast s průměrnou roční teplotou okolo 6,8 °C. Léta jsou mírně suchá a ostatní roční období jsou také mírná. Průměrný roční úhrn srážek dosahuje 580 mm. Zemědělská půda v této výrobní oblasti je charakteristická svým složením – hnědozem s vyšším obsahem humidů, což je příznivé pro zemědělské využití. Tato kombinace klimatických podmínek a kvality půdy činí z této oblasti vhodné místo pro zemědělské využití.

3.1.1.2 Popis farmy A

Farma A je zaměřena na produkci mléka, chov skotu dojeného, chov skotu bez tržní produkce mléka a chov prasat. V chovu skotu je v současnosti průměrně 1200 kusů, z toho je 380 kusů dojených krav a 80 kusů krav bez tržní produkce mléka. Ostatní krávy BTPM (cca 340 ks) chová dceřiná společnost EKO farma. Provoz nové stáje pro dojnice byl zahájen červnu 2009. Na stavbě stáje jsou použity prvky jako např. protiprůvanové rolety na bočních stěnách, automatická lopata na vyhrnování kejdy umístěnou pod rošty a nový typ matrací, které zaručují, oproti jiným typům, podstatně větší komfort pro zvířata, delší životnost i vyšší úroveň čistoty. V roce 2020 byla postavena ze stávajícího kravína nová stáj pro dojnice, která nahradila starou dosluhující. Celkově je farma A moderní zemědělský podnik, který se specializuje na živočišnou výrobu. Podnik také provozuje plemenitbu skotu, se zaměřením na plemena Charolais, Limousine a Český strakatý skot, a využívá přirozenou plemenitbu s použitím několika býků různých plemen. Vedle živočišné výroby se podnik věnuje také správě a údržbě rozsáhlých ploch zemědělské půdy, které zahrnují ornou půdu, louky a pastviny. Celkově podnik obhospodařuje až 4,5 tisíce hektarů zemědělské půdy v mnoha katastrálních územích. Podnik je známý svým přístupem k inovacím a modernizaci, a to jak ve své hlavní výrobní činnosti, tak v přidružených oblastech, jako je vývoj softwaru a stájových technologií. V minulosti podnik prošel řadou transformací a rozšíření, což vedlo ke zlepšení jeho výkonnosti a efektivity výroby.

3.1.2 Zemědělský podnik B

3.1.2.1 Charakteristika oblasti farmy B

Tato zemědělská oblast s rozlohou 8,37 km² a nadmořskou výškou 239 metrů nad mořem se nachází v Královéhradeckém kraji. Průměrný roční úhrn srážek dosahuje 764 mm. Základem výroby zde je skot, přičemž zemědělský podnik se řadí mezi středně velké podniky v oblasti, hospodaří na 2711 ha zemědělské půdy, z toho 122 ha tvoří luky. Rostlinná výroba se zaměřuje na obiloviny, krmné plodiny, okopaniny a olejniny. V této zemědělské oblasti je hlavním zaměřením živočišné výroby chov červenostrakatého skotu, především určitého specializovaného plemene. Vynikají v produkci mléka s ročním výstupem 8195 kg na krávu. Celkově je zde 1400 kusů skotu, včetně 465 dojnic a 60 krav specifického plemene. Dále je zde 460 jalovic, 440 býků a 250 prasat. Živočišná výroba je rozdělena do pěti středisek, kde pracuje 23 zaměstnanců z celkového počtu 78.

3.1.2.2 Popis farmy B

Farma B byla založena v roce 1996. Živočišná výroba je zaměřena především na chov červenostrakatého skotu a okrajově na chov prasat. V roce 1997 došlo ke změně v chovu přestavbou a adaptací na volné ustájení všech kategorií skotu. Tím vznikly dvě produkční farmy a jedna pro odchovnu jalovic a výkrmna býků o kapacitě 200 ks. Od té doby cílenou prací v oblasti péče o skot, zlepšením výživy a použitím kvalitní francouzské genetiky (plemeno Montbeliarde) dosahuje podnik stále vyšší užitkovosti. Vynikají v produkci mléka s ročním výstupem 8195 kg na krávu. Celkově je zde 1400 kusů skotu, včetně 465 dojnic a 60 krav specifického plemene. Dále je zde 460 jalovic, 440 býků a 250 prasat. Živočišná výroba je rozdělena do pěti středisek, kde pracuje 23 zaměstnanců z celkového počtu 78. Hlavní středisko se specializuje na produkční stádo dojnic a telat, zatímco další střediska se věnují odchovu jalovic a výkrmu býků. Existuje také středisko pro odchov jalovic a další farmy, které se zaměřují na krávy bez tržní produkce mléka, chované pro maso s využitím specifických masných plemen. Vepřové maso je produkováno ve dvou stájích na slámě s roční produkcí až 300 tun. Farmářské družstvo provozuje vlastní míchárnu krmiv z produkce vlastního obilí, což zvyšuje ekonomickou efektivitu.

3.1.3 Zemědělský podnik C

3.1.3.1 Charakteristika oblasti farmy C

Zemědělský podnik C je rozsáhlý zemědělský areál nacházející se v okrese Havlíčkův Brod, situovaný ve výšce 358 metrů nad mořem. Tato oblast se vyznačuje průměrnou roční teplotou 12,1 °C a průměrným ročním úhrnem srážek dosahujících 452 mm, což představuje ideální podmínky pro chov dobytka a rostlinnou výrobu. Vedle chovu dobytka se podnik soustředí na pěstování typických plodin pro danou oblast na 3 500 hektarech zemědělské půdy, včetně pšenice, ječmene, řepky a kukuřice.

3.1.3.2 Popis farmy C

Farma chová přibližně 1200 krav holštýnského plemene v moderně vybavených stájích. Farma denně produkuje více než 40 000 litrů mléka do mlékárny Hlinsko. Stáje jsou navrženy pro bezstelivový provoz s volným ustájením dojnic ve stlaných boxech, což napomáhá zdraví a pohodě zvířat. Stáje mají symetrickou konstrukci s centrálním krmným stolem, obklopeným krmnými chodbami a lehacími boxy. Přirozené větrání stájí zajišťuje optimální podmínky pro zvířata. K dispozici v areálu jsou také silážní žlaby s kapacitou 60 tisíc tun krmení a železobetonové jímky na kejdu a digestát o objemu 30 tisíc m^3. Srdcem farmy je paralelní dojírna s kapacitou 2x24 stání, vybavená silotankem na mléko s kapacitou až 45 000 litrů. Bioplynová stanice s výkonem 549 kW představuje důležitý prvek v oblasti udržitelného zemědělství a energetické efektivity. Inovativní technologie bioplynové stanice, založené na systému fermentorů kruh v kruhu s integrovaným plynojemem, zdůrazňuje moderní přístup podniku k zemědělství.

3.2 Snímací zařízení EROS

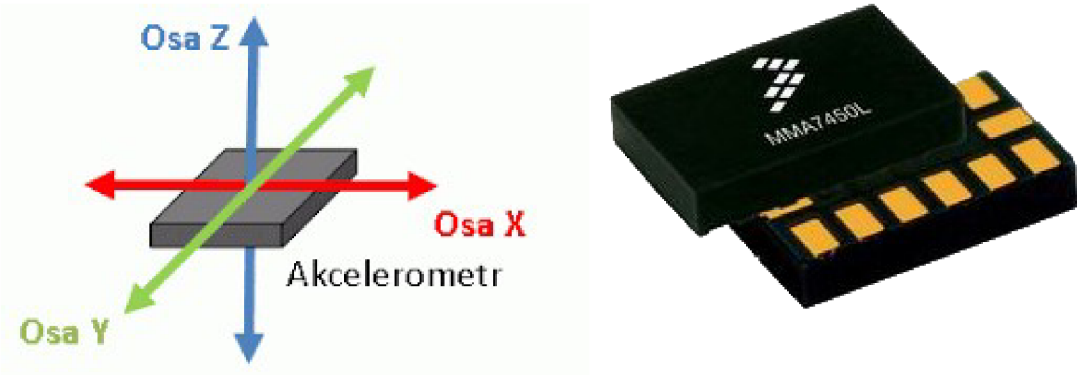
Jedním z cílů vlastní práce je návrh zařízení, které bude snímat chování zvířete a následně bezdrátově přenášet údaje do vyhodnocovacího počítače. Podobně jako se provádí snímání pohybu v mobilních telefonech pomocí akcelerometrů, tak i pro tuto práci byl vybrán shodný způsob. Navržené zařízení bylo nazváno Elektronický Rozpoznávač Oplodňovacího Stavu – EROS.

Firma Freescale vyrábí celou řadu akcelerometrů určené právě pro tyto aplikace. Je nutné, aby senzor měl nízkou spotřebu energie, malé pouzdro a v neposlední řadě i

rozumné komunikační rozhraní pro datovou výměnu s hlavním procesorem. Na základě těchto požadavků bylo vybráno čidlo s označením MMA8453Q (NXP, 2017).

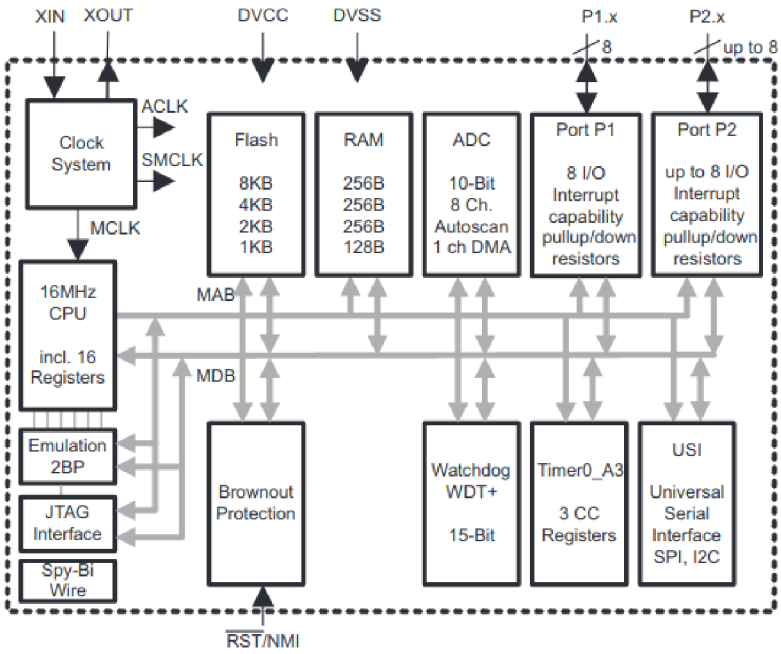
Vybraný akcelerometr dokáže měřit hodnoty zrychlení ve třech rozsazích ±2 g / ±4 g /±8 g s vzorkovací frekvencí 1.56Hz – 800Hz. Po provedení několika testů, bylo stanoveno jako optimální použití rozsahu ±2 g z důvodu dostatečné citlivosti měření přežvykování na hlavě zvířete. Jako optimální vzorkovací frekvence byla vybrána 12.5Hz, která vychází z hodin akcelerometru.

Hodnota zrychlení +2g odpovídá následně hodnotě 127 a -2g hodnotě -128 tak, aby se vešla do 8bitového rozlišení. 10bitové rozlišení nebylo nutné používat rovněž z důvodu vyšší energetické náročnosti na zpracování údajů.



Obrázek 1: Akcelerometr, zdroj: Internet - freescale.com

O zpracovávání údajů z akcelerometru se stará mikroprocesor. Ten čte data ze senzoru, předzpracuje je a následné přepošle k další analýze do hlavního počítače. Podobně i na mikroprocesor je nutné klást důraz na nízkou spotřebu a rozměry. V této oblasti firma Texas Instrument může nabídnout své portfolio v oblasti 16bitových procesorů s architekturou RISC. Po delším zkoumání všech druhů a na základě požadavku pro tuto aplikaci byl vybrán obvod MSP430G2402IPW20 (Texas Instruments, 2024).



Obrázek 2: Blokové schéma MSP430G2x32, zdroj: Internet - ti.com

Jak je patrné z blokového schématu obvodu, vybraný procesor neobsahuje hardwarové komunikační rozhraní I2C, které je nutné pro komunikaci s akcelerometrem. Bylo nutné použít softwarovou implementaci I2C, kterou nabízí přímo výrobce na svých internetových stránkách.

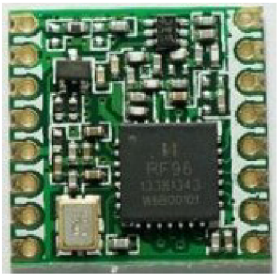
Přenos dat ze snímacího zařízení je nutné realizovat pomocí rádiového modulu. Na trhu je nabízena celá řada obvodů určená k tomuto druhu činnosti. Jako perspektivní se jeví standard definovaný normou LoRa (LoRa Alliance, 2024), který byl vybrán i pro toto zařízení EROS.

LoRa je globální síť pro internet věcí (IoT), která umožňuje svým zařízením obousměrnou komunikaci s omezeným počtem zpětných zpráv ve frekvenčním pásmu 868 MHz. Fyzická vrstva LoRa využívá modulaci s rozprostřeným spektrem (Spread Spectrum Modulation), respektive její variantu nad CSS (Chirp Spread Spectrum). Důvod vybrání této technologie je z požadavku dlouhého dosahu a spolehlivosti komunikace. Dlouhý dosah v řádech i desítek kilometrů na volném prostranství je nutný pro sledování pohybu u masného skotu, u kterého se předpokládá pastvy na rozlehlých lukách.

Mimořádně cenově atraktivní rádiové moduly nabízí společnosti HOPERF Micro-electronics, specializující se na RF moduly a bezdrátový přenos signálů. V ob-

lasti komunikačního standardu LoRa nabízí modul s označením RFM95W (Hope, 2006). Dále jsou uvedeny některé parametry tohoto modulu:

- LoRaTM Modem
- 168 dB maximum link budget
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14 dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300 kbps
- High sensitivity: down to -148 dBm
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOK modulation
- Built-in temperature sensor and low battery indicator
- Modue Size：16*16mm



Obrázek 3: Rádiový modul RFM95W, zdroj: Internet - hoperf.com

České radiokomunikace nabízejí pásmo 868MHz za účelem této komunikace (ČTU, 2019). Pro komunikaci bylo vybráno kmitočtové pásmo g5, které nabízí výkon až 500mW.

Jako zdroj energie je nutné použit baterii s nízkým koeficientem samo vybíjení tak, aby zařízení mohlo pracovat alespoň 8let s minimálním vlastní spotřebou energie. Ten požadavek splňují lithiové baterie. Byl vybrán typ SAFT-LS14500CNA (SAFT, 2024), který se dodává i s drátovými vývody pro snadné připevnění k plošnému spoji.

Na základě výše uvedených požadavků na snímací zařízení bylo navrhnuto schéma zapojení obrázek 45. Dále do schéma zapojení bylo nutné doplnit obvod umožňující bezdrátovou komunikaci s procesorem za účelem servisních úkonů.

Tyto servisní úkony jsou:

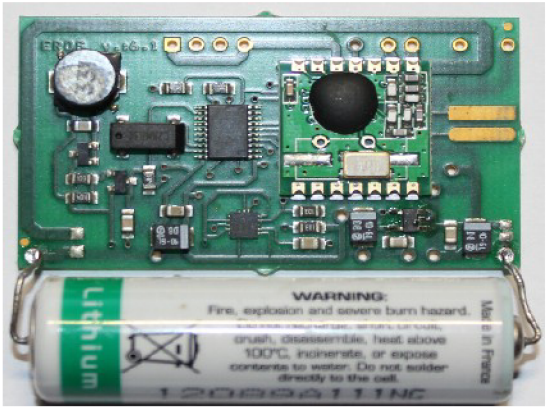
- naprogramování čísla EROSu

- naprogramování funkčních parametrů jako je například citlivost
- zjištění doby života zařízení

3.2.1 Sestavení prototypu EROS

Z navrženého schématu EROSu bylo nutné vytvořit plošný spoj a ten následně si nechat vyrobit. Výrobu zajistila firma Praboboard s.r.o. v Běchovicích. Dále plošný spoj bylo potřebné osadit a postupně provést oživení všech jednotlivých elektrických částí.

Hlavní řídící program je psán v jazyce C a následně překládán pomocí GCC kompilátoru. Detailnější popis řídícího programu bude popsán v následujících kapitolách.



Obrázek 4: Elektronika snímací zařízení EROS, zdroj: vlastní

V praxi se provede zalití elektroniky do transformátorové hmoty tak, aby se zvýšila odolnost vůči styku s vodou a dále i mechanická pevnost. Celé zařízení se umístí dále do plastové krabičky a připevní na zvíře.

3.2.2 EROS na krku

Snímací zařízení EROS jsem nejprve umístil na krk (obrázek 5). Zde je možné zaznamenávat vibrace a z nich následně odhadnout tyto druhy chování zvířete:

- pohyb
- doba žraní
- doba přežvykování

Obrázek 5: Snímací zařízení EROS na krk, zdroj: vlastní

Z počátku se uvažovalo, zdali by se nedaly odhadovat i další druhy chování, jako například skok při říji. To však nebylo možné, neboť při skoku se zvíře většinou hlavou opře o tělo jiného zvířete a zvedá se pouze tělo v oblasti předních končetin. V oblasti krku dojde k minimálnímu pohybu, který není nijak specifický v oblasti detekce vibrací na krku.

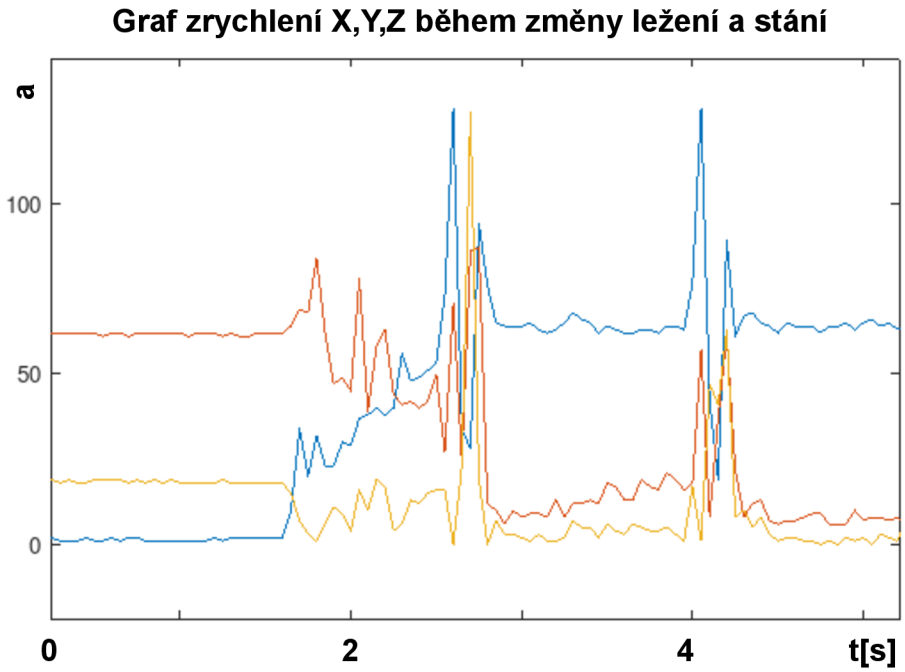
3.2.3 EROS na noze

Podobně jako na krku jsem umístil snímací zařízení EROS na nohu (obrázek 7). Zde je možné odhadnout druhy chování:

- pohyb
- dobu ležení
- dobu stání
- počet vstaní/ulehnutí

Výhodou umístění EROSu na noze oproti umístění na krku je, že lze poměrně snadnou detekovat ležení oproti stání. Detekce rozdílu mezi těmito stavy je možno dosáhnout na základě sledování zrychlení vůči zemské ose. Pokud zvíře stojí je naměřeno v ose Z v klidu zrychlení 1g odpovídajícímu gravitačnímu zrychlení země. Při ležení se toto gravitační zrychlení přenese do osy X nebo Y. Pokud bude naměřeno v ose Z nižší úroveň gravitačního zrychlení než je 1g, tomu odpovídá, že zvíře leží.

Na následujícím obrázku jsou ukázány hodnoty zrychlení v jednotlivých osách X, Y, Z v čase. Přibližně v čase 2 došlo ke stoupnutí zvířete. Je vidět, jak došlo ke změně hodnoty zrychlení 1g z červené osy na modrou. Řídící program v EROSu snadno může detekovat tuto změnu a interpretovat ji buď jako změnu ulehnutí nebo stoupnutí.



Obrázek 6: Hodnoty zrychlení v osách X, Y, Z během ležení a stání, zdroj: vlastní

Důležitá je tedy orientace snímacího zařízení, neboť při špatném nasazení bude detekováno zrychlení -1g na místo +1g, které pochází z gravitačního zrychlení země.

Obrázek 7: Snímací zařízení EROS na noze, zdroj: vlastní

3.3 Přijímací anténa

Data vyslaná pomocí snímacího zařízení EROS je nutno přijmout a následně přeposlat do počítače ke zpracování. Za tímto účelem byla navrhuta jednotku, která plní funkci přijímače zpráv s komunikačním rozhraním. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 48. Pracuje na shodné frekvenci jako vysílací strana 868,4-868,65Mhz.

Přijatá data jsou zpracována vlastním mikroprocesorem a následně přeposlána pomocí komunikační rozhraní RS485 do počítače. Rozhraní RS485 bylo vybráno z důvodu možného připojení více antén na sběrnicí. Více antén je nutné použít v případě potřeby pokrytí větší plochy sledovaného prostoru zvířat – například více stájí.

Komunikační protokol byl použit uLan (Píša, P., 2019). Ten sice není průmyslový standard, ale nabízí funkcionalitu jako je vzdálené ladění, nahrávání kódu a je snadno implementován pro tuto práci.

Mikroprocesor pro příjem dat byl vybrán 32bitový ARM LPC2148 od firmy NXP Semiconductors (NXP, 2021).

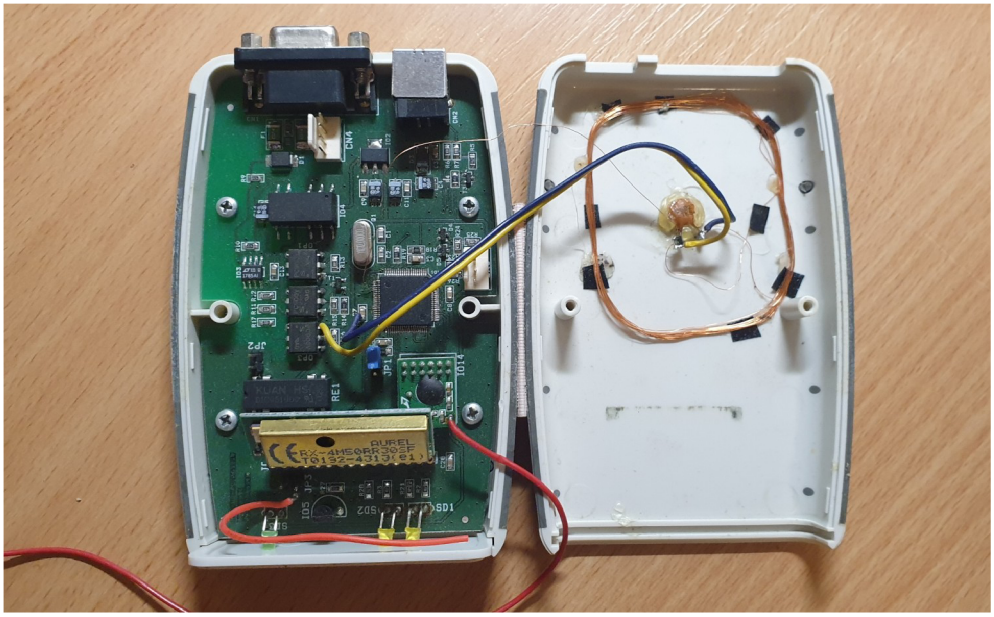
Napájení je zajištěno pomocí stabilizovaného zdroje 15V.

Obrázek 8: Přijímací anténa EROS 868MHz, zdroj: vlastní

3.4 Přenos dat z antény do počítače

Jak již bylo uvedeno, přijímací anténa byla navrhnuta s komunikačním rozhraním RS485, využívající komunikační protokol uLan. Z důvodu nutnosti připojení přijímací antény do připojit do počítače, bylo nutné dále navrhnout jednotku rozhraní uLan na USB pro připojení přijímací jednotky do běžného počítače. Podobně jako u předchozích návrhů snímacího zařízení EROS a přijímací antény bylo postupováno i zde

tak, že nejprve bylo navrženo elektronické schéma zapojení převodníku a následně realizována výroba.



Obrázek 9: uLan2USB adapter, zdroj: vlastní

Značnou část zdrojového kódu potřebnou pro tuto práci bylo možno využít z projektu uLan, neboť zde byla řešená podobná jednotka realizující převodník avšak na jiném hardwaru.

Dále bylo nutné definovat strukturu přenášených zpráv.

Pozice znaku ve zprávě	Význam znaku ve zprávě
1	DADDR – cílová adresa
2	CMD – 0x23, pohybová aktivita
3	SADDR – zdrojová adresa
4	FLG – příznaky zprávy
5,6	Číslo EROSu v Little-endian formát
7,10,13...43	Hodnota zrychlení osa X (12 hodnot)
8,11,13...44	Hodnota zrychlení osa Y (12 hodnot)
9,12,14...45	Hodnota zrychlení osa Z (12 hodnot)

Tabulka 1: Struktura přenášených dat na sběrnici uLan, zdroj: vlastní

Na straně počítače jsem implementoval jednoduchý přijímací program napsaný v jazyce C, který jsem nazval ul_act. Ten slouží pro ukládání dat přijatých pomocí antény. Spouští se z příkazové řádky terminálu. Jeho vstupní argumenty jsou následující:

```
smolik@nb-smolik:/home/git/ulan/ulan/host/_compiled/
bin$ ./ul_act -h
Usage: ul_act <parameters> <file>
  -d, --uldev <name>       name of uLan device
[/dev/ulan]
  -m, --module <num>       messages from/to module
  -c, --command <num>      module command
  -p, --print <max>        print modules to max address
      --debug-kernel <m>   flags to debug kernel
  -e, --eros <num>         eros
  -w, --weight             weight
  -H, --hour               hour
  -r, --raw                raw
  -t, --time               time
  -V, --version            show version
  -h, --help               this usage screen
```

Pro účel ukládání surových dat jsem používal program s následujícími parametry:

./ul_act -d /dev/ulan -m 31 -c 0x23 -e 400 -r data.csv

kde se specifikuje příjem dat z modulu s adresou 31, command 0x23, eros 400 a data se mají ukládat do souboru s názvem data.csv.

3.5 Sběr vstupních dat

Data se vzorkovací periodou 12Hz byla uložena do souboru. Jednotlivé hodnoty zrychlení v osách X, Y, Z byly zaznamenáváný do vyrovnávací paměti EROSu o velikosti 60 znaků a odesílány jako celek každé dvě vteřiny. Program ul_act ukládaná informace do textového souboru ve formátu CSV středníkem oddělené. Struktura souboru byla následující: TS;X;Y;Z kde TS – Time Stamp ve formátu ISO 8601 a X, Y, Z jsou jednotlivé hodnoty zrychlení:

```
TS;X;Y;Z
2023-04-07 15:23:43,225,35,44
2023-04-07 15:23:43,221,39,45
2023-04-07 15:23:43,219,33,32
2023-04-07 15:23:43,210,31,35
2023-04-07 15:23:45,228,38,47
2023-04-07 15:23:45,229,37,44
2023-04-07 15:23:45,220,33,42
```

Tento CSV formát dat byl zvolen z důvodu snadného následujícího zpracovávání v matematické programu Octave.

Hodnoty zrychlení jsou přenášeny jako bez znaménková hodnota unsigned char a je nutné provést konverzi na znaménkový typ pomocí algoritmu:

```
If (ain<128) aout=ain
If (ain>128) aout=256-ain
```
Kde ain je hodnota zrychlení ve vstupním CSV souboru a aout je znaménková hodnota zrychlení, se kterou je nadále počítáno.

3.5.1 Měření dat pomocí systému sledování pohybové aktivity

Snímání surových dat pro následné analýzy chování zvířat probíhal v červnu 2015 na Farmě A obrázek 35. Sběr dat probíhal v produkční stáji obrázek 10. Byla nainstalována jedna přijímací anténa a na jedno zvíře umístěn snímací EROS. Nejprve probíhal sběr se zařízením umístěným na krku. Doba snímání dat byla 8 hodin. Během záznamu dat do počítače byla i zaznamenávána činnost zvířat visuálně – etologické sledování. Dále bylo snímání zopakováno na dvou dalších zvířatech na krku. Podobným způsobem byla nasnímána ještě data se senzorem umístěným na noze zvířete.

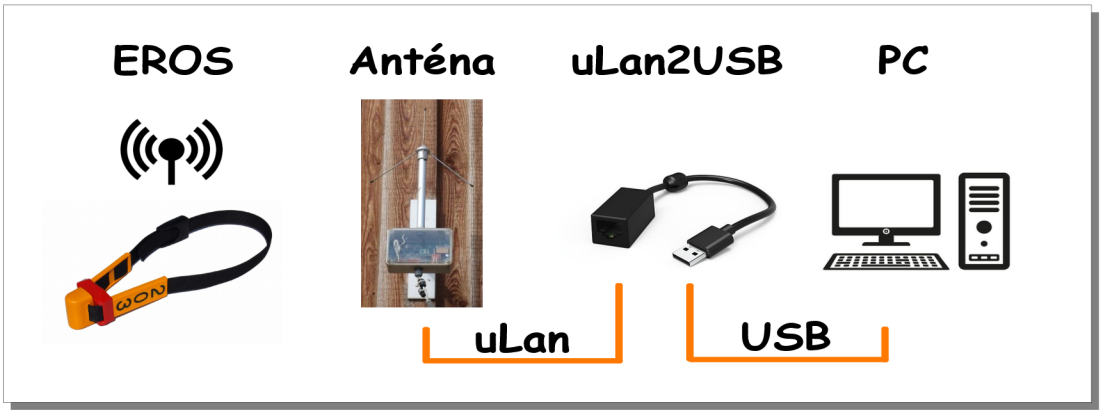
Obrázek 10: Snímání dat na Farmě A, zdroj: vlastní

Nasnímaná data z krku a nohy posloužily k prvotním analýzám vibrací, které vznikají na určitých částech zvířete.

Níže uvedený obrázek ukazuje celkovou strukturu průběhu měření. Data z EROSu byla odeslána, každé 2 vteřiny a zachyceny přijímací anténou. Ta je přeposlílá pomocí komunikačního rozhraní uLan převodníku uLan2USB. Tento druh rozhraní je

nutný při následném nasazení v ostrém provozu, kdy bude instalováno více přijímacích antén tak, aby se pokryl celý sledovaný prostor zvířat. Jedna anténa sbírá data v poloměru přibližně 50metru.

Převodník uLan2USB se umístí již v bezprostřední blízkosti počítače a slouží k oddělení technologické sítě (galvanické oddělení 4000V) a počítače pro případ atmosférického přepětí.



Obrázek 11: struktura snímání dat, zdroj: vlastní

3.5.2 Etologické sledování

Vedle vlastního sběru dat do počítače bylo nutné provádět visuální sledování zvířat tak, aby bylo možné následně ověřit, zda napsaný algoritmus správně ohodnocuje jednotlivé činnosti zvířete.

Definoval jsem si jednotlivé činnosti zvířete:

- Pohyb
- Ležení
- Přežvykování
- Žraní
- Pití
- Sociální chování
- Ostatní

Vytvořil tabulku (etogram) s minutovým rozlišením do kterého byly zapisovány informace o činnosti zvířete a současně byly sbírány údaje o hodnotách zrychlení pomocí EROSu.

V závislosti za jakým účelem byla data snímána, bylo upraveno i etologický sledování. Nebyly tedy vždy zaznamenávány všechny činnosti zvířete, ale jen ty které pro dané umístění senzoru dávalo smysl. Již v úvodu bylo zřejmé, že se senzorem umístěným na krku nepůjde detekovat stání/ležení, proto nebylo důležité zaznamenávat, při jakém stavu zvíře přežvykuje. Naopak pokud byl umístěn senzor na noze, nebylo nutné zaznamenávat žraní popřípadě přežvykování, neboť zde nebudou detekovatelné vibrace, které pocházejí při těchto činností.

3.6 Vyhodnocení naměřených dat

Surová data, která byla uložena do jednotlivých souborů, bylo nutné podrobit analýze a definovat algoritmy, které budou použity pro detekci činnosti zvířete.

Obecně se jeví jako rozumné měřit rozdíly hodnot zrychlení mezi jednotlivými vzorky. Z důvodu nezávislosti na otočení snímacího zařízení se vždy počítá aktuální hodnota zrychlení pro daný vzorek jako vektorový součin rozdílu mezi vzorky.

$$\Delta a_n = \sqrt{(ax_n - ax_{n-1})^2 + (ay_n - ay_{n-1})^2 + (az_n - az_{n-1})^2}$$

kde: ax_n – hodnota zrychlení osa x v čase n

ax_{n-1} – hodnota zrychlení osa x v čase n-1

ay_{n-1} – hodnota zrychlení osa y v čase n

ay_{n-1} – hodnota zrychlení osa y v čase n-1

az_{n-1} – hodnota zrychlení osa z v čase n

az_{n-1} – hodnota zrychlení osa z v čase n-1

Δa_n – hodnota změny zrychlení v čase n

Vzorkovací frekvence byla použita 12Hz.

Další metodou jakým způsobem analyzovat data je zkoumání dob klidu. Nejdříve jsem definoval hodnotu zrychlení, pod kterou jsem uvažoval, že je „klidový režim“. Následně při zvětšení hodnoty na definovanou mez jsem spustil časovač a měřil dobu, za jakou nastane opět „klidový režim“. Jako efektivnější pro detekci „klidové režim“ se však ukázala detekce na základě kladné a záporné derivace zrychlení, než na základě prahové hodnoty. Výsledky této metody budou diskutovány níže.

3.6.1 Vyhodnocení naměřených dat na krku

V první měření, bylo prováděno se senzorem umístěným na krku na Farmě A. Vyhodnocování dat bylo zaměřeno hlavně na sledování pohybu, žraní a přežvykování, které by měly být detekovatelné z vibrací.

V následující tabulce jsou uvedeny činnosti z etologického sledování. Jednotlivé minutové záznamy činnosti byly sloučeny tak, aby bylo snaze provádět korelaci s naměřenými daty. Barevně byly označeny i významné činnosti dle druhu.

Etogram – sledování, zkrácená varianta			
Od	**Do**	**Doba [min]**	**Činnost**
11:08:00	11:17:00	9	Žere
11:17:00	11:19:00	2	Přesun na jiné místo stolu
11:20:00	11:25:00	5	Žere
11:27:00	11:29:00	2	Pije + Liz + drbání
11:29:00	11:36:00	7	Stojí v boxu
11:36:00	12:14:00	38	Stojí v boxu a přežvykuje
12:14:00	12:18:00	4	Leží a přežvykuje
12:18:00	13:09:00	51	Leží a spí
13:09:00	13:47:00	38	Leží a přežvykuje
13:47:00	14:02:00	15	Leží a spí
14:02:00	14:14:00	12	Leží a olizuje jí jiná
14:14:00	15:00:00	46	Leží - konec sledování

Tabulka 2: Etologické sledování Farma A, zkrácena varianta, zdroj: vlastní

Na obrázku 12 jsou vykresleny hodnoty změn zrychlení v čase pro část sledovaného období. Byl vybrán úsek od 11 do 15 hodin, ve kterém jsou vidět přehledně jednotlivé činnosti zvířete.

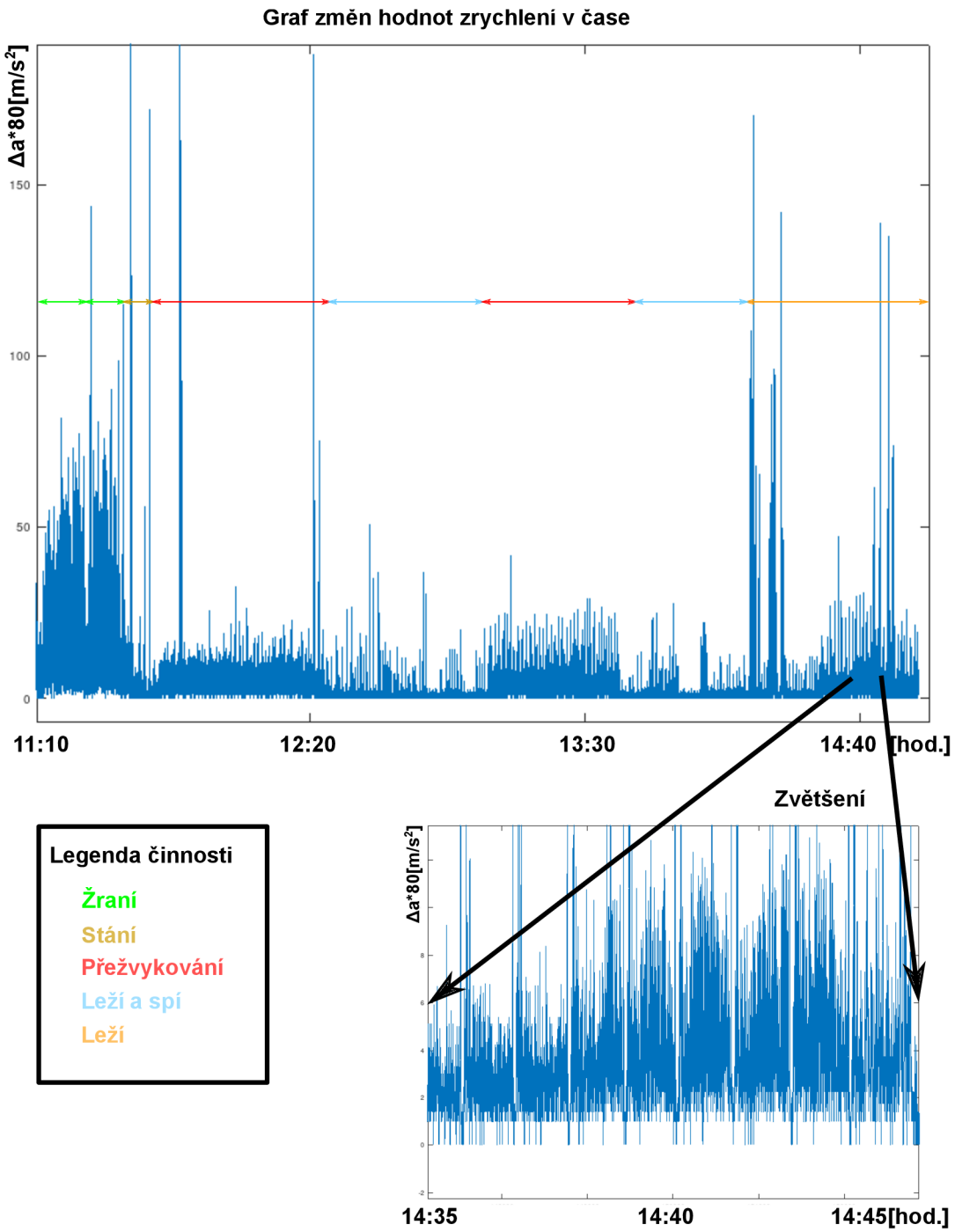
Podobně jako u etologického sledování, byly i zde v grafech změn hodnot zrychlení označeny barevně úseky tak, aby bylo možné provést visuální korelaci a konfrontovat, jaké vznikají vibrace u jednotlivých činností. Dále se zaměříme hlavně na dvě činnosti a to žraní a přežvykování.

Žraní je označováno pomocí zelené barvy a je hned vidět na začátku sledovaného úseku. Úroveň jednotlivých změn zrychlení se pohybuje v rozsahu 0-80[m/s^2]. Hodnota 80 odpovídá úrovni zrychlení 1g. Tudíž během žraní se dosahuje hodnoty změn zrychlení 0-1g. Střední hodnota změn zrychlení se pohybuje okolo úrovně

0,35g. Perioda vibrací odpovídá vyšším frekvencím okolo 1Hz, což odpoví rovněž i předpokladu, neboť obojek ve kterém je umístěna snímací elektronika během žraní se značně pohybuje až lítá z jedné strany na druhou.

Přežvykování je označováno pomocí červené barvy. Oproti žraní má přežvykování nižší úroveň změn intenzity zrychlení. Hodnota se pohybuje v rozmezí 0-0,3g. Vibrace však mají přibližně stejnou frekvenci jako žraní.

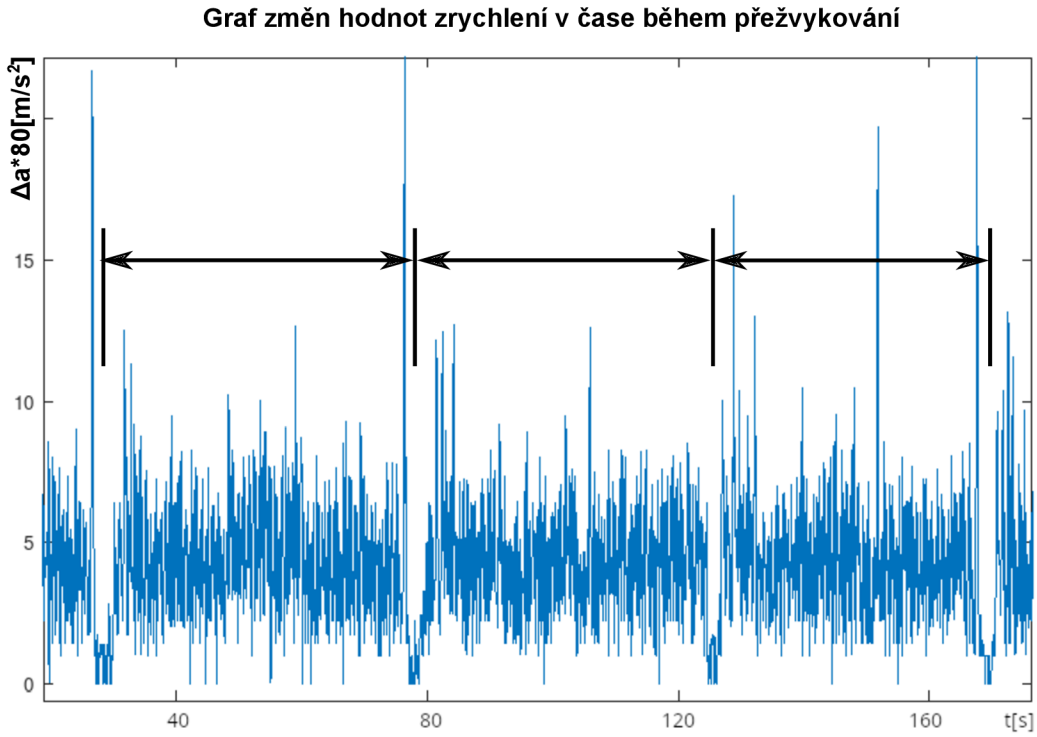
Klidové hodnoty změn zrychlení do 0,1g s delší dobu periody vibrací by mohly být interpretovány jako spaní. Tímto druhem činnosti jsem se však významně nezabýval.



Obrázek 12: hodnoty změn zrychlení v čase – na krku, zdroj: vlastní

Při větším zvětšení grafu během přežvykování jak je ukázáno na obrázku 13 je možno rozpoznat zajímavé vibrace. Tyto vibrace pocházejí z období, kdy zvíře vyvrhuje sežrané krmivo, aby jej v dále rozmělnilo a spolklo. Perioda vyvrhování, přežvykovaní a spolykání se pohybuje okolo 50 vteřin, což koresponduje se závěry délky procesu regurgitace dle Kaufman et al. (2018). Během vyvrhování potravy dojde ke zklidnění zvířete přibližně na 5 vteřin. Toto zklidnění je snadnou rozpozna-

telné v grafech tím, že jsou detekovány minimální hodnoty změn zrychlení po uvedeno dobu. Na uvedeném obrázku jsou vidět tři fáze přežvykování. Podobné intervaly zklidnění, ale v akustickém spektru pozorovali také Rau et al. (2020).



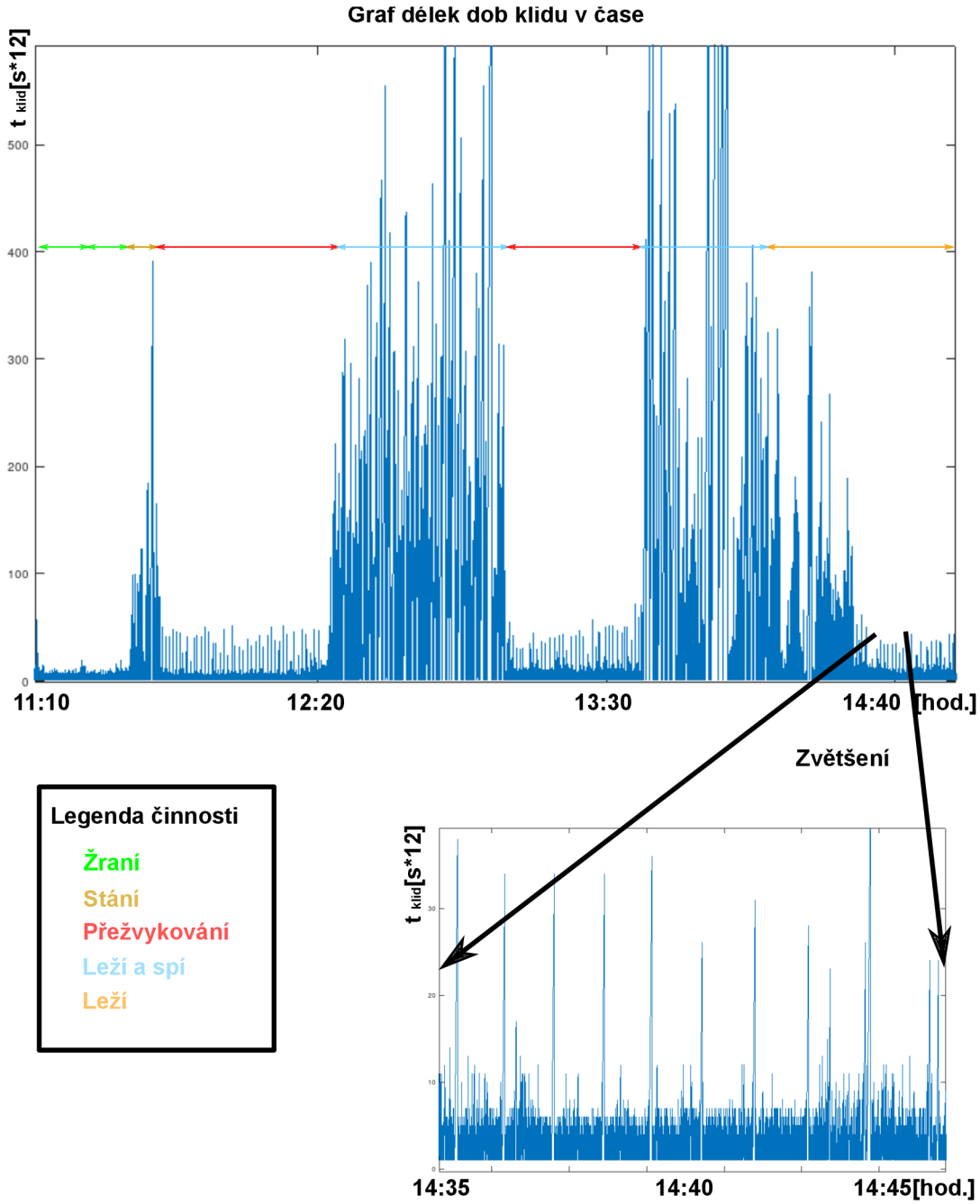
Obrázek 13: hodnoty změn zrychlení během přežvykování – na krku, zdroj: vlastní

Rád bych zde uvedl zajímavé poznatky z porovnávání výsledků etologického sledování a hodnot změn zrychlení. Již během etologického sledování jsem došel k závěru, že není úplně snadné určit přesnou činnost zvířete. Mnohdy se stávalo například, že zvíře žralo, avšak najednou si spíše hrálo s krmením, převalovalo ho z jedné strany na druhou a jen občas něco sežralo. Není přesně definován pojem příjmu krmiva a rovněž i ohodnocení jednotlivých činnosti je spíše na pocitu pozorovatele.

Při vyhodnocování přežvykování nastala zajímavá věc. Visuálně nebyla úplně přesně určena činnost přežvykování, ale spíše ležení. V datech však byly nalezeny vibrace, které právě odpovídají činnosti přežvykování. Proto bych se někdy přikláněl k hypotéze, že ohodnocování přežvykování bude přesněji provádět navržený algoritmus. Na obrázku 12 je zachycen tento stav ve spodní části. Ve zvětšeném detailu jsou patrné jednotlivé fáze přežvykování (přibližně 8), oddělené 5 ti vteřinovém

zklidněním, které je charakteristické pro tuto činnost. Podrobněji přežvykování bylo popsáno na obrázku 13.

Již zmíněný další způsob jak nahlížet na surová data, který jsem zkoumal, bylo měření dob klidu, po kterou nedochází k „výrazným vibracím“. Pojem „výrazné vibrace“ byl empiricky definována, hodnotou změn zrychlení 0,04g.



Obrázek 14: hodnoty změn zrychlení v čase – na krku, zdroj: vlastní

Na výše uvedeném obrázku je zobrazeno, jaké jsou doby klidu v čase. Čas doby klidu je měřen ve vzorkovací frekvenci 12Hz, tudíž například hodnotě 60 odpovídá době klidu 5 vteřin.

Na základě provádění korelace grafu délek dob klidu v čase s etologickým sledováním lze rozlišovat následující činnosti zvířete:

Doba klidu	Význam
Krátká	Žraní
Střední	Přežvykování
Dlouhá	Odpočinek, spánek

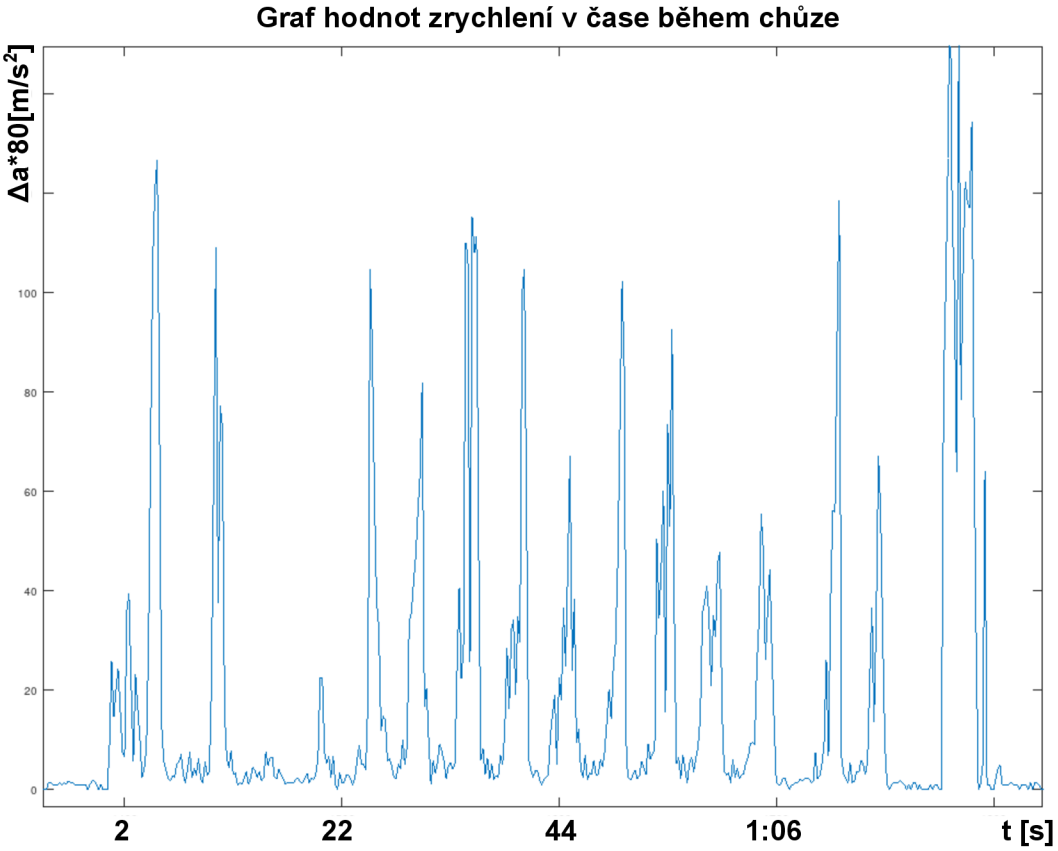
Tabulka 3: Ohodnocení činnosti zvířete na základě délky doby klidu, zdroj: vlastní

Doba zklidnění pro výše uvedené ohodnocování však musí mít určitou periodicitu. Krátká doba zklidnění pro definování činnosti žraní musí být perioda v řadu jednotek herců. Střední doba zklidnění pro přežvykování by mělo být s periodicitou okolo 50 vteřin. U dlouhé doby zklidnění nehraje periodicita významný údaj ve vztahu vůči době.

3.6.2 Vyhodnocení naměřených dat na noze

Druhé měření, bylo prováděno se senzorem umístěným na noze. Vyhodnocování dat bylo tedy zaměřeno hlavně na sledování pohybu, ležení a stání, které by měly být detekovatelné z vibrací.

Na obrázku 15 jsou uvedeny hodnoty změn zrychlení během chůze zvířete. Z důvodu lepšího demonstrování jaké vibrace vznikají, je vybrán úsek přibližně jeden a půl minuty. Špičky, které vznikají během pohybu, odpovídají jednotlivým kroků. Pro tvorbu následného vyhodnocovací programu je velice jednoduché detekovat tyto špičky. Algoritmus může detekovat kladnou a zápornou hodnotu zrychlení, přičemž například mezi jednotlivými kladnými derivacemi hodnot zrychlení musí být dodržen stanovený časový rozestup, který odpovídá minimální době jednoho kroku – například 0,5 vteřin.



Obrázek 15: hodnoty zrychlení v čase během chůze – na noze, zdroj: vlastní

EROS umístěný na noze, slouží převážně pro sledování pohybu, dobu stání, doby ležení a počítání počtu stoupnutí/ulehnutí.

Vyhodnocení sledování pohybu probíhalo na malém sledovaném úseku a nevznikaly velké etogramy, které pokrývaly velkou část sledovaného období a byly pro toto hodnocení nevhodné.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.3 detekce stání a ležení bude realizována na základě změny statického gravitačního zrychlení 1g, detekovatelné v jedné ose. Po konzultaci se zootechniky se doplnil EROS o sledování počtu stání a ulehnutí. Tento údaj by se nechal použít například pro detekci porodů, kdy zvíře před porodem je neklidné a často stoupá a ulehá. Macmillan et al. (2022) uvádí, že kráva už 8 hod otelením projevuje detekovatelné specifické chování. Což potvrzuje také Miller et al. (2020) a dodávají, že několik hodin před otelením krávy tráví méně času přežvykováním a žraním a projevují zvýšenou pohybovou aktivitu a zvedání ocasu.

3.6.3 Kritéria algoritmu pro odhad chování krav

Surová data o hodnotách zrychlení, která jsou poskytována tříosým akcelerometrem s vzorkovací frekvencí 12Hz je nutné nejprve předzpracovat.

Pokud by data nebyla předzpracována a probíhalo by zpracovávání až v řídícím počítači, znamenalo by to pro snímací zařízení EROS, disponování komunikačním rozhraním, které je schopné přenést takto velký datový tok. Navíc by zařízení mělo řádově 1000x větší spotřebu elektrické energie a baterie by vydržela v řadech měsíců, což není vhodné. Pozitivní vlastnost tohoto řešení by však bylo, že veškeré analytické programy by byly až v řídícím počítači a bylo by velice flexibilní provádět jakékoliv opravy nebo úpravy.

Na základě poznatků ze snímání dat a z etologického sledování vznikly myšlenky na jakých základech postavit detekční algoritmus. Ten by měl však splňovat ještě tyto podmínky:

- dvě verze sledování na noze/krku
- data jsou předzpracována 1 hodinu a až následně odesílána jako jeden blok dat
- data jsou odesílána s historií 6 hodin z důvodu arbitrace
- parametrický detekční algoritmus – důležité parametry detekčního algoritmu budou moci být upravovány v průběhu provozu

Pro odesílání dat každou hodinu byl použit přístup ALOHA (Abramson, 1977). Ten definuje způsob odesílání dat bez žádné arbitrace k přenosovému mediu. Během přenosu mohou tedy vznikat kolize při přenosu s ostatními EROSy.

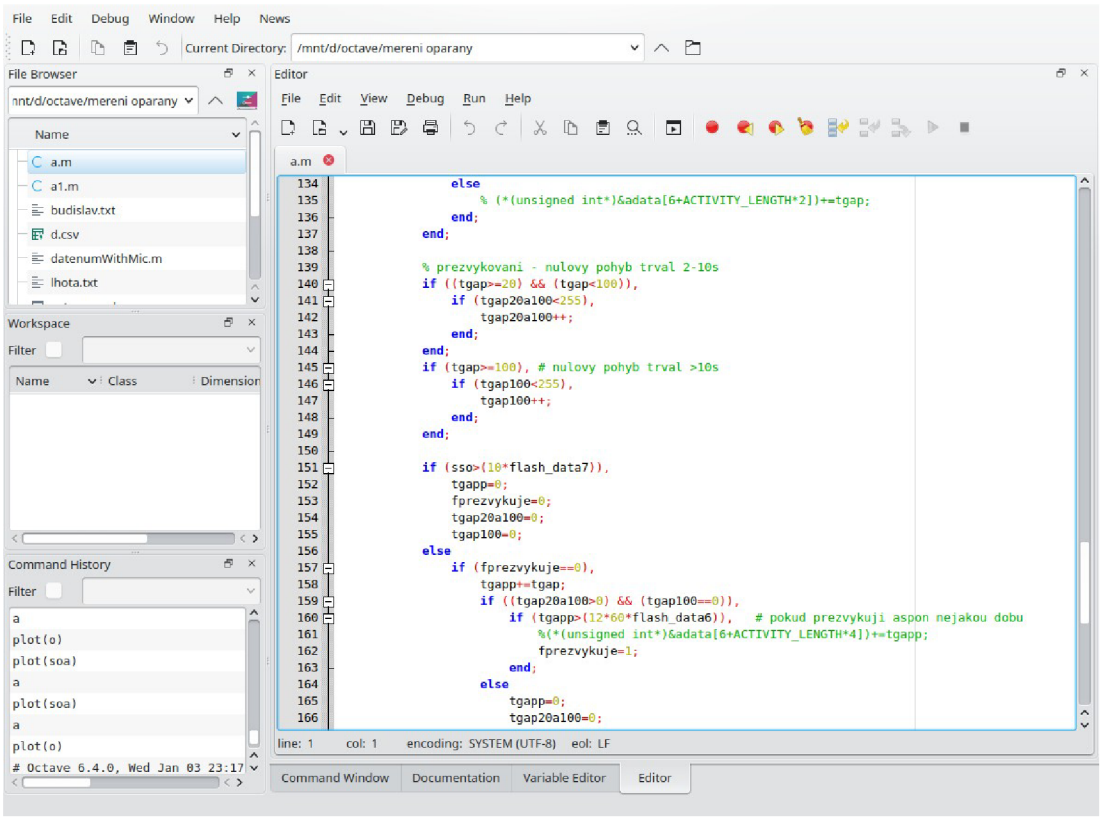
Neexistuje způsob detekce kolizí (dojde ke ztrátě dat) s ostatními zařízeními a proto je nutné navrhnout alternativní způsob, jak data dopravit s vyšší spolehlivostí do řídícího počítače. Pokud by došlo jen k opětovnému odeslání v následující hodině, opět by došlo ke kolizi. Je implementován antikolizní systém, který odesílá data s náhodným časovým posunem ±15 vteřin tak, aby střední hodnota časového posunu z dlouhodobého měřítka představovala nulovou střední hodnotu.

Kromě výše uvedených kritérií, musel brát brán v úvahu další technický zřetel a to je celková spotřeba zařízení. Ta ovlivňuje dobu provozu zařízení. Pokud budeme požadovat, aby životnost dosahovala 10let, tak s lithiovou baterií o kapacitě přibližně 2500mAh vychází, že vlastní ustálená spotřeba by neměla přesahovat hodnoty 20uA při napětí 3,6V.

Následný návrh odhadované algoritmu se musí podřídit těmto kritériím.

3.6.4 Octave – psaní vyhodnocovacího algoritmu

GNU Octave je vyšší programovací jazyk zaměřený na numerické operace. Je velmi podobný jazyku MATLAB. Je vhodný pro ty, kterým nedělá problémy algoritmizace, ale vadí jim složité implementační záležitosti, které je pronásledují např. při programování v C nebo C++. Ocení ho ale i ti, kteří potřebují vykonávat složitější výpočty krok po kroku a nemají po ruce vhodnou kalkulačku. Octave byl vybrán z důvodu vysoké efektivity psaní kódu a tvorbou grafických výstupů oproti jazykům u kterých je nutné provádět kompilace. Kompilované programy mají vyšší výkonnostní úroveň, zde však není kladen důraz na toto kritérium.



Obrázek 16: GNU Octave – ukázka kódu detekčního algoritmu, zdroj: vlastní

Na základě zkušeností, které předcházely testování různých způsobů práce s daty, byl navrhnut algoritmus pro detekci žraní, přežvykování, pohyb, ležení a stání. Bylo nutné definovat důležité parametry algoritmu a ty udělal konfigurovatelné pomocí servisního programovacího kanálů tak, aby je bylo možné upravovat během celé doby provozu.

3.6.5 Statistické hodnocení

Statistická validace výsledků sledování dat pomocí EROS a záznamů etogramu bylo provedeno v prostředí R. Jedná se o programovací jazyk vhodný pro statistickou analýzu dat a jejich grafické zobrazení. Hodnocení bylo provedeno pro vybraná zvířat ve farmě 3 na základě dat z EROSu interpretující behaviorální projevy zvířete a na základě výsledků pozorování provedeného pro stejné zvíře od 12:00 do 12:00 následujícího dne. Data z obou metod pozorování byla sumarizována do hodinových intervalů a statisticky vyhodnocena. Vyhodnocení bylo provedeno metodou korelační analýzy a výsledky interpretovány prostřednictvím tří scatter plotů v Obrázku 26. Obrázek vizualizuje na horizontálních osách hodnoty naměřené EROS a na vertikálních osách jsou výsledky etologického pozorování. Každý z grafů zahrnuje regresní přímku (Correlation Line) a ideální přímku (Ideal Line), která představuje určitou míru shody mezi naměřenými hodnotami. Dále jsou v grafu patrné body, jednotlivých pozorování.

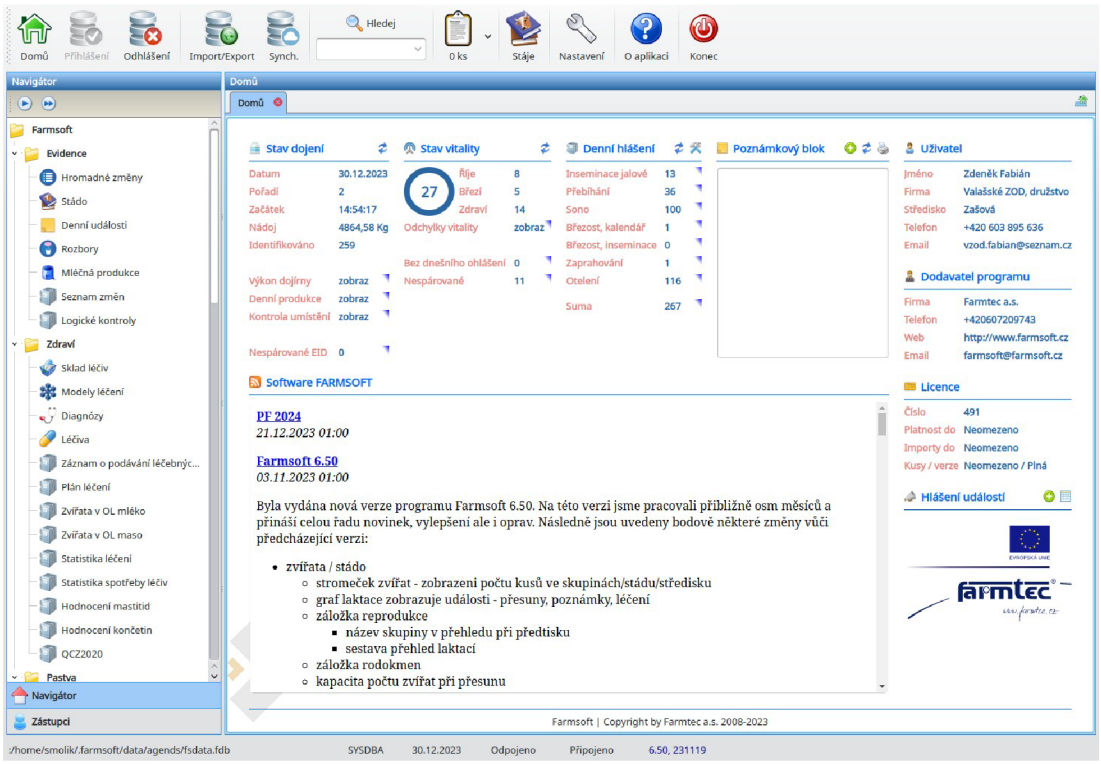
V dalším kroku byla statistická analýza doplněna o histogramy distribuce absolutní chyby a graf empirické kumulativní distribuční funkce (ECDF) pro žraní a přežvykování. Uvedené metody validace sledovaných dat umožňují posouzení spolehlivosti a přesnosti sledování chování systémem EROS vůči pozorování behaviorálních projevů zvířat.

3.7 Zemědělský evidenční program Farmsoft

Program Farmsoft je řídící ucelené programové vybavení pro chovatele skotu, které účelně spojuje informace výrobního i ekonomického charakteru s chovatelskými údaji včetně přímého napojení na řízení technologického procesu. Toto programové vybavení je vhodné jak pro velkochovy s vícestájovou organizací chovu skotu, tak i pro malé farmy. Umožňuje jednoduché řízení chovu i detailní sledování s maximálním množstvím informací.

Farmsoft je naprogramován nejmodernějšími programovacími prostředky s ohledem na příjemné a jednoduché prostředí pro uživatele, zároveň s dokonalostí pro komunikaci s technologickým zařízením a jednoduchou rozšiřitelností z hlediska datových položek. Zároveň umožňuje snadnou lokalizaci pro zahraniční uživatele. Celý projekt je vytvářen v návrhovém prostředí QT Designer, který je vyvíjen společností QT Company. Výhodou tohoto řešení je jeho celková platformní nezávislost, která

umožňuje snadnou programovou portaci výsledné aplikace na platformy Windows, Linux, ale i MacOS. Komunikační programy pod názvem FCS – Farmsoft Communication Server mají za úkol spolehlivě spojit jednotlivé technologické části (měřiče nádoje, identifikaci, pohybovou aktivitu, selekční branku, průchozí váhu, automatické krmné boxy, atd.) s databází celého systému a zabezpečit realtime datovou výměnu mezi těmito systémy.



Obrázek 17: Farmsoft – úvodní obrazovka, zdroj: vlastní

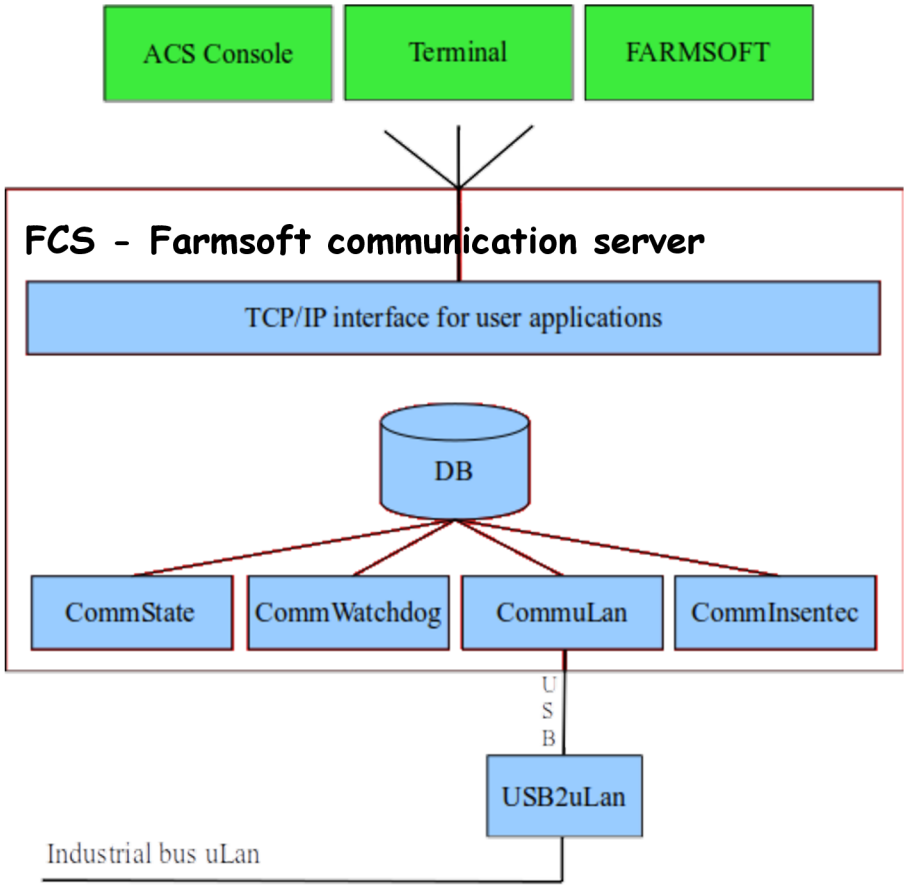
3.7.1 Propojení technologických sběru pohybové aktivity s Farmsoftem

Komunikační program FCS představuje jakousi bránu pro připojování technologii a SQL databázi programu Farmsoft. Obsahuje řadu hlavních procesů, které jsou realizovány pomocí threadu. Synchronizace mezi nimi je zabezpečována mutexy. Procesy plní vždy danou úlohu:

- CommState, kontrola komunikačních stavu. Dle nastavených časů se provádí spouštění procedur z databáze. Například vyhodnocování pohybové aktivity, automatické zálohování, přepočty dojení, …
- CommWatchdog, kontroluje chod celého systému. Ve spojení s externím zařízením připojeného přes rozhraní RS232 a signálem RESET je monitorován

výpadek počítače. Při absenci obnovovacích impulsů je proveden RESET počítače.

- CommuLan, zabezpečuje komunikaci mezi technologií a databází. Představuje nejdůležitější vlákno celého systému. Thread je zcela pasivní. Pouze čeká na příchod požadavku z technologie. Tento požadavek se vyřídí a následně se provede opětovné uspání. Požadavek může být například uložení dat o aktivitě, uložení údajů o dojení, požadavek o poskytnutí zootechnických údajů o daném zvířeti. Rozhraní technologie je realizováno pomocí komunikační převodníku USB2uLan, připojeného přes USB port osobního počítače. Průmyslová síť uLan byla zvolena z důvodu velice dobrého propracování služeb na sběrnici a hlavně pro svojí otevřenost.
- CommInsentec, provádí komunikaci s jednotkami milkmetrů. Zabezpečuje ukládání informací mléce, které přicházejí z dojírny - nádoj, vodivost, průtok, teplota.



Obrázek 18: FCS – architektura komunikačního programu Farmsoft, zdroj: vlastní

Celý systém FCS je navrhnut jako modulární. Snadno je možno provést zaintegrování nové technologie do tohoto celku. Pro napojení systému sběru pohybové aktivity z antén je nutné implementovat nové přijímací komandy (CMD) právě v threadu CommuLan, který se stará o vyřizování požadavků z technologie.

4 Výsledky a diskuze práce

4.1 Snímací zařízení EROS

Podařilo se navrhnout zařízení EROS, které slouží pro monitorování životních projevů skotu. Základním stavebním prvkem zařízení, který snímá pohyb zvířete, byl použit akcelerometr MMA8453Q. Na trhu je v současné době nepřeberné množství akcelerometrů od různých výrobců. To je způsobeno tím, že akcelerometry se používají v mobilních telefonech. Tato skutečnost masové produkce pomohla vytvořit čidla, která svými parametry umožňují použití i pro účely aplikace monitoringu životních projevů. Klíčový parametr pro výběr použitého akcelerometru zde představuje vlastní spotřeba v aktivním režimu. Ta dosahuje pro vybraný typ hodnoty okolo 7uA při vzorkovací frekvenci 12Hz.

Použitím úsporného módu LPM3 procesoru MSP430G2402 se rovněž podařilo značně optimalizovat spotřebu zařízení. Procesor v tomto režimu je zcela deaktivován a v aktivním režimu je udržován pouze oscilátor, který běží na 32,738KHz. Akcelerometr je připojen k procesoru pomocí rozhraní I2C. Veškerá komunikace na této periferii se provádí na pozadí bez jakéhokoliv spolupráce procesoru. Řídící program naplánuje datový přenos, odstartuje a následně může přejít do úsporného režimu LPM3. Po skončení datového přenosu na I2C je procesor probuzen a v přednastavených registrech má již hodnoty zrychlení ve třech osách. Tímto způsobem se podařilo optimalizovat průměrnou dlouhodobou spotřebu procesoru a akcelerometru okolo 15uA.

Další důležitou součástkou v EROSu je radiový modul, který se stará o datový přenos do počítače. Data se jsou odesílány s historií 6 ti hodin. Tato historie je důležitá neboť se nepoužívá ověřování, zdali data byla přijata druhou stranou. Pokud dojde ke ztrátě dat během přenosu v následující hodině jsou data odeslána znovu. Tento stav může vzniknout například, pokud jsou zvířata na dojírně - mimo prostor pokrytý přijímacími anténami. Ke ztrátě dat dochází v případě, pokud nedojde k příjmu zprávy kontinuálně 6 krát za sebou – 6 hodin. Kolize jsou vyřešeny pomocí antikorozního mechanizmu, který pracuje tak, že náhodně posouvá dobu odesílání zprávy o ±15 vteřin.

Anténa, která je připojena k radiovému modulu je navrhnuta tak, aby pracoval s délkou vodiče $\lambda/4$. Podařilo se dosáhnout datových přenosů na vzdálenost 500m i

když vzdálenost je do značné míry závislá na prostředí, ve kterém je zařízení provozováno. Určitě by šlo lépe navrhnout anténu a dosáhnout větších přenosových vzdáleností, ale pro tento účel by bylo nutné použít měřicí přístroj pro nastavení optimálního impedančního přizpůsobení antény a vysílacího modulu. V praxi se uvažuje, že jednou anténou se pokryje přibližně sledovaná oblast o průměru 0.5km. V případě potřeby pokrytí většího sledovaného prostoru je možno použít více antén. Tyto antény mohou navzájem překrývat sledovanou oblast.

Doba jednoho datového přenosu z důvodu redundance dat se pohybuje okolo 0.2s. Po tuto dobu vysílací modul odebírá z baterie proud 50mA a tuto spotřebu je nutno připočítat ke spotřebě procesoru a akcelerometru. Životnost baterie je stanovena přibližně na 10let provozu. Samotný vysílací modul spotřebuje 20% kapacity baterie.

4.2 Algoritmu snímající životní projevy zvířat

Algoritmus, který bude ohodnocovat, zda zvíře žere nebo přežvykuje je založeno na kritériu, jehož základní rozhodování bude na základě měření intenzity pohybů a měření dob zklidnění jak bylo popsáno v kapitole 3.6.1.

Určení **přežvykování** bylo definováno s následujícími kriterii:

- doby zklidnění musí být v rozmezí 2-10s
- doby mezi jednotlivými zklidněními musí být v rozmezí 30-90s
- minimální doba přežvykování 5minut
- intenzita změn pohybu do 0,4 g

Určení **žraní** bylo definováno s následujícími kriterii:

- doba zklidnění do 1,5s
- doba zklidnění nesmí být vetší než 100s
- minimální doba žraní 5 minut
- intenzita změn pohybu nad 0,5 g

Algoritmus, který bude ohodnocovat **míru pohybu** zvířete, byl postaven na myšlence, že není dobré měřit pouze množství pohybu, ale výhodnější je měřit dobu jakou zvíře strávilo pohybem. Časový úsek, který byl definován minimální časovou kvantifikací měření pohybu je 1 vteřina. Vzorkovací frekvence byla definována čidlem MMA8453Q hodnotou 12Hz. Na základě tohoto předpokladu vychází dále algoritmus sledování pohybu tak, že vyhodnocuje 12 hodnot změn vektoru zrychlení a

pokud některá změna přesáhne stanovenou hodnotu určenou parametrickou konfiguraci, dojde k připočtení jedničky v hodinovém čítači měření množství pohybu. Tímto způsobem se linearizuje interval měření tak, aby nemohla například nastat skutečnost, kdy zvíře by intenzivně hýbalo končetinou po krátkou dobu a napočítala by se vysoká intenzita pohybu. Důležitější pro detekci říje je skutečnost, jakou dobu strávilo zvíře pohybem a tu měří popsaný algoritmus. Maximální hodnotu množství míry pohybu, kterou je možné během jedné hodiny napočítat je 3600. Této maximální hodnotě by odpovídala skutečnost, že zvíře strávilo celou hodinu pohybem. Následně shrnu podmínky pro sledování míry pohybu:

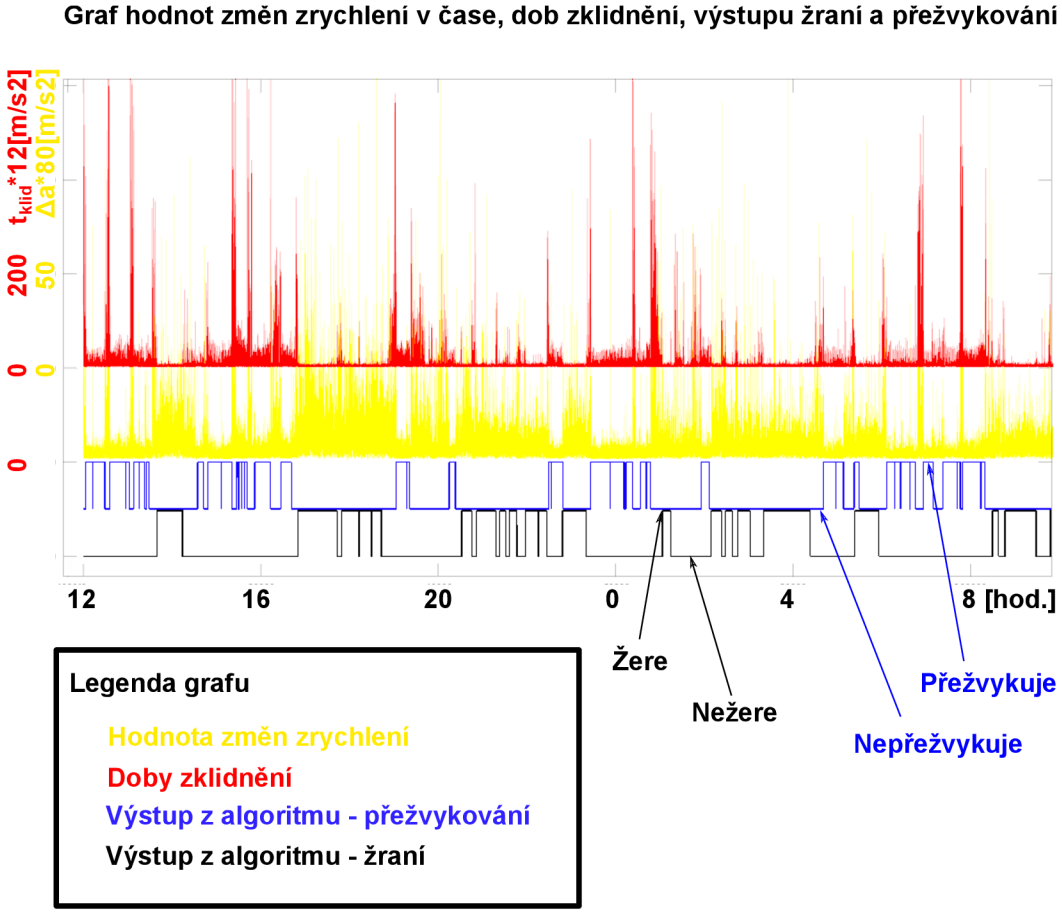
- intenzita změn pohybu nad 0.2g na krku a 0.4g na noze
- minimální časové měřítko pro měření pohybu 1s

Algoritmus měření doby **ležení** a **stání** pro EROS umístěný na noze je velice jednoduchý. Druh ležení nebo stání se rozpozná na základě detekce statického gravitačního zrychlení 1g. Následně potom řídící program provádí integraci měřené doby pro danou pozici.

Prahové hodnoty, které byly definovány pro jednotlivé algoritmy, vycházejí jako optimální a byly stanoveny na základě testů. Během testů byly porovnávány výsledky navrženého algoritmu s výsledky etologického sledování tak, aby docházelo k minimální odchylce mezi druhy chování.

Následně uvedu příklad, kdy byly sledovány životní projevy zvířete po dobu 24 hodin na Farmě A. Toto sledování bylo za účelem testování algoritmu žraní a přežvykování. Byly nasnímány hodnoty zrychlení ve třech osách po celou dobu sledování. Celkem bylo k dispozici 1 036 800 dat. V programu Octave byly spočítány hodnoty rozdílů vektoru zrychlení mezi jednotlivými vzorky dat a vyhodnocení dob zklidnění. Na základě těchto hodnot ohodnotil navržený algoritmus, zda se jedná o pohyb žraní nebo přežvykování. Výstup byl uložen do nových proměnných v Octave, kde nula nebo jednička znamenala, že zvíře nežere(0) nebo žere(1). Grafický výstup na obrázku 19 dává představu o fungování navrženého algoritmu. Výstupy z algoritmu byly vždy konfrontovány s etologickým sledování tak, aby byla minimální odchylka. Jak již bylo zmíněno v přecházejících kapitolách, visuální stanovení chování zvířete je vždy subjektivní na pozorovateli a i toto sledování je zatíženo chybovostí. Například, nelze vždy přesně stanovit, zda zvíře žere nebo se jen přehrabuje v kr-

mení. Etologické sledování bylo vždy ještě konfrontováno s naměřenými daty, kde podle vibrací je možné rovněž stanovit, o jaký druh pohybu se jedná.



Obrázek 19: Graf vyhodnocovacího algoritmu žraní a přežvykování, zdroj: vlastní

Navržený algoritmus musí být dostatečně jednoduchý pro implementaci tak, aby mohl být následně portován do mikropočítače MSP430. Ten má omezené paměťové možnosti. Na tento předpoklad musí být brán zřetel při návrhu algoritmu v programu Octave.

4.3 Hodnocení výsledků

4.3.1 Statistické hodnocení inseminací v závislosti na HOR

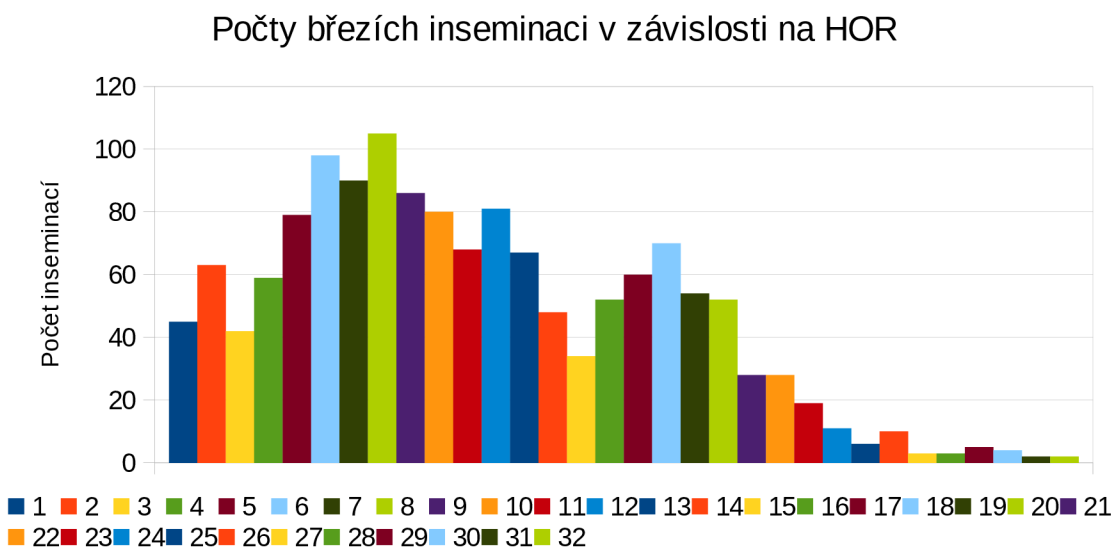
Na Farmě B v období mezi roky 2018 a 2022 probíhalo zaznamenávání údaje počtu hodin od začátku říje do inseminace (dále HOR). Pro většinu inseminaci byl tento údaj HOR visuálně odečten z hodinového grafu. Začátek říje se přitom považuje hodnota, kdy dojde k růstu pohybové aktivity. To bylo odečteno ve Farmsoftu z 10 ti denního grafu – obrázek 34. Následující tabulka ukazuje statistické hodnocení, jak probíhaly inseminace na fázi říje:

	Všechny inseminace s HOR				Březí inseminace s HOR			
Druh inseminace	**Počet**	**Avg. HOR**	**Min. HOR**	**Max. HOR**	**Počet**	**Avg. HOR**	**Min. HOR**	**Max. HOR**
Inseminace	2859	11,34	1	40	1455	11,28	1	34
Reinseminace	241	12,89	1	36	96	8,57	1	26

Tabulka 4: Statistika závislosti HOR pro Farmu B, zdroj: vlastní

Ze statistického hodnocení HOR nám vychází, že inseminaci probíhaly s největší pravděpodobnosti v rozmezí 11-12 hodin od začátku říje.

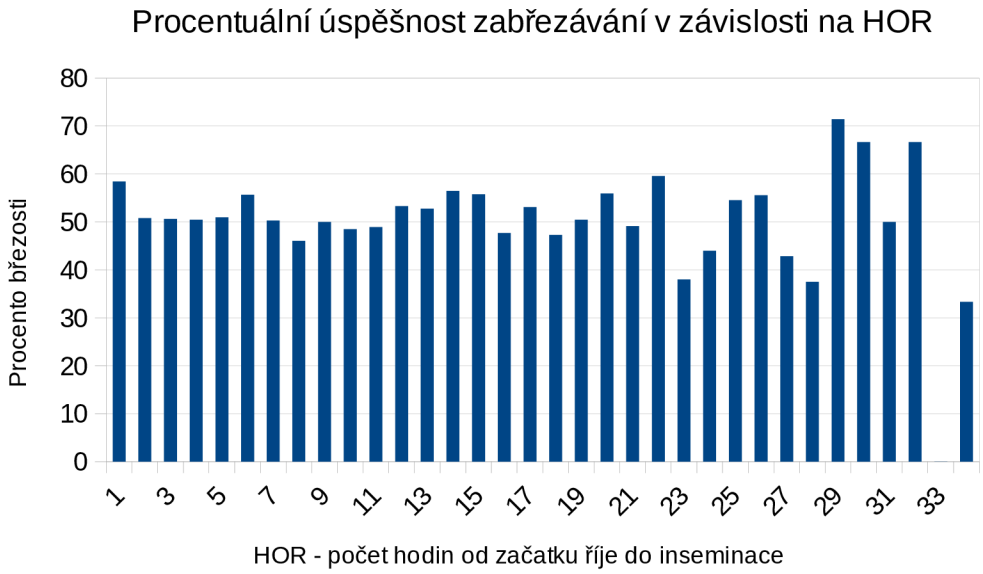
Vedle tabulkového hodnocení HOR je uvedeno ještě grafické hodnocení jednotlivých hodinových četnosti připouštění – obrázek 20. Do grafického hodnocení byly zahrnuty pouze inseminace, které byly označeny jako březí.



Obrázek 20: Graf počtu březích inseminací v závislosti na HOR, zdroj: vlastní

V další části rozboru jsem ze zabýval závislostí HOR na úspěšnosti zabřezávání. Ač četnost počtu provedených inseminací s dobou od začátku říje má klesající charakter, dle výsledku úspěšnosti se nejeví, že by tendence měla klesající charakter – obrázek 21. Spíše se zdá, že dokonce lehce roste. Na konci období dosahuje procentuální hodnota míry zabřezávání přibližně 70%. Proč k tomu dochází, se nabízí hypotéza, že je to způsobeno reinseminacemi. Na farmě B se používají reinseminace, ale ne ve velkém měřítku – 6%. Průměrná hodnota HOR z reinseminaci je 8,57 hodin, tudíž

nemohou reinseminace způsobovat lepší procento zabřezávání s vyšší dobou HOR. Toto je zajímavý závěr, neboť jak uvádějí Roelofs et al. (2018), že optimální doba pro připuštění by se měla pohybovat v rozmezí 5-17 hodin od začátku zvýšení pohybové aktivity. Sledované období bylo 4 roky, což představuje poměrně velký časový horizont.



Obrázek 21: Graf procentuální úspěšnost zabřez. v závislosti na HOR, zdroj: vlastní

4.3.2 Statistické hodnocení úspěšnosti detekce říjí dle inseminací

Na základě evidence inseminací v programu Farmsoft na Farmě B jsem vytvořil analýzu úspěšnosti inseminací. Přijmeme-li předpoklad, když byla provedena inseminace, mělo by být zvíře v říjí. Ta by měla být detekovatelná pomocí senzoru EROS jako zvýšená pohybová aktivita. V další úvaze věnuji analýzu úspěšnosti vyhledávání říjí pomocí této metody.

Pro analýzu byl použit seznam inseminací v rozmezí roků 2018 a 2022. Uvažoval jsem pouze krávy, na kterých byly nainstalovány EROSy. Jalovice nebyly vybaveny tímto systémem sledování. Výsledky jsem shrnul do následující tabulky:

Údaj	Hodnota
Celkový počet inseminací a reinseminací	5224
Počet inseminací	4538
Počet reinseminací	686
Počet potvrzených březích inseminací	2053

Dále rozbory pouze se zvířaty, která měla nasazený EROS	
Počet potvrzených březích inseminací	1916
Počet inseminací	1613
Počet reinseminací	303
Počet detekovaných říjí EROSy (SHA>80)	1460
Počet nedetekovaných říjí EROSy (SHA<80)	153

Tabulka 5: Hodnocení úspěšnosti detekce říjí dle inseminací, zdroj: vlastní

Pro výpočet, zda říje byla detekována systémem EROS, jsem hledal informaci v datech, pokud došlo ke zvýšení pohybové aktivity minimálně o 80% vůči běžné úrovni pohybové aktivity v rozmezí plus, mínus jeden den okolo data inseminace. Z celkového počtu 1613 inseminaci (reinseminace při výpočtu nebyly uvažovány, neboť se provádějí bezprostředně po inseminaci a systémem detekce říje SHA>80 ± jeden den by byly prakticky nerozlišitelné), bylo vyhledáno 1460 říjí, což představuje schopnost detekce systému vyhodnocování říje na noze s úspěšnosti 90%. Tato hodnota představuje o 5% vyšší úspěšnost detekce říje, než uvádějí Kamphuis et al. (2008), že automatické detekční systémy mohou odhalit až 85% říjí.

4.3.3 Statistické hodnocení detekce žraní a přežvykování

V červnu 2018 probíhalo sledování zvířat na Farmě C, za účelem porovnání výsledku z EROSu umístěným na krku s etologickým sledováním. Doba pokusu byla stanovena na 24 hodin. Sledování probíhalo na čtyřech zvířatech současně, přičemž jeden člověk sledoval dvě zvířata. Cyklus výměny sledovaných lidí byl po dvou hodinách. Cíl tohoto pokusu bylo stanovení určité míry pravděpodobnosti korelace mezi etologickým sledováním životních projevů a daty z EROSu.

Pojem míra pravděpodobnosti korelace je zde definován jako částečná nepřesnost, neboť nejde jednoznačně považovat za správnou hodnotu etologické sledování. Visuální sledování je zatíženo chybou jako například únavou pozorovatele, ale i nejednoznačné stanovení životního projevu.

Data z EROSu umístěného na krku, která byla přenášena do počítače každou hodinu jako sumární. Nejde úplně přesně validovat interní rozhodovací algoritmus v procesoru, jakým způsobem byly ohodnoceny jednotlivé vibrace. Následně se porovnaly hodnoty sečtené za stejné visuálně sledované období s daty z EROSu a stanovila určitá odchylka.

Etologickým pozorováním byly zaznamenávaný údaje shrnuté v následující tabulce.

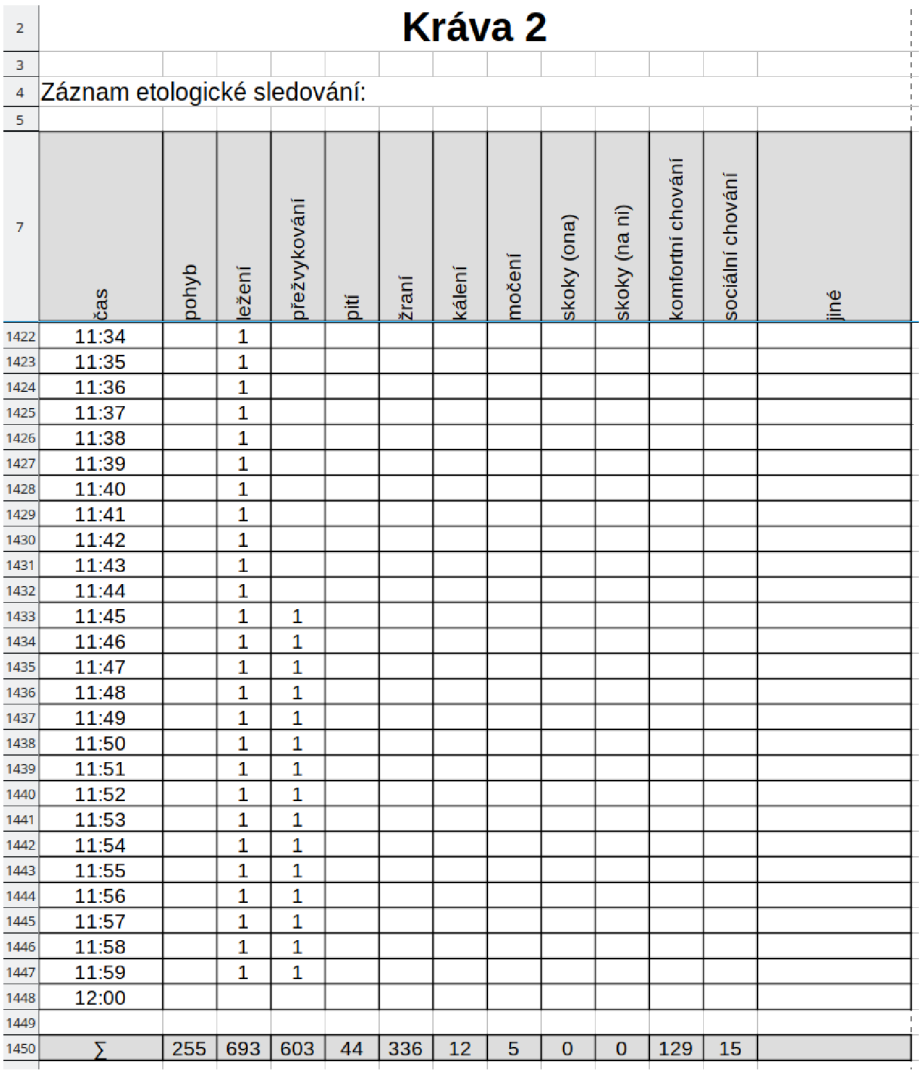
Druh etologického chování	**Popis**
čas	Časová známka po jedné minutě
pohyb	Počet kroků
ležení	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
přežvykování	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
pití	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
žraní	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
kálení	1 při provádění této činnosti
močení	1 při provádění této činnosti
skoky (ona)	počet skoku
skory (na ni)	počet skoku
komfortní chování	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
sociální chování	1 při provádění této činnosti po dobu 1min
jiné	

Tabulka 6: Hodnoty sledované etologickým sledováním, zdroj: vlastní

Bylo visuálně zaznamenáváno více hodnot, než bylo možné porovnávat s daty z EROSu. To bylo rozhodnuto z důvodu možné případné konfrontace, pokud by došlo k zásadním rozdílům mezi etologickým sledováním a daty z EROSu.

Elektronicky byly zaznamenávány informace o míře pohybu, žraní a přežvykování. Žraní a přežvykování jsou údaje, které jsou vyhodnocovány oběma druhy měření v minutách a jsou tudíž spolu přímo porovnatelné. Pohyb se visuálně zaznamenával v počtech kroků a elektronicky jako určitá míra doby trávená pohybem. Ač jsou obě veličiny odlišné, existuje mezi nimi korelace. Každá má však jinou jednotku a proto jsou těžko matematicky porovnatelné mezi sebou.

Na obrázku 22 je uvedený část etogramu z pozorování jednoho zvířete převedený do elektronické podoby v Excelu. Na závěr byla provedena sumarizace jednotlivých sledovaných veličin.



Kráva 2

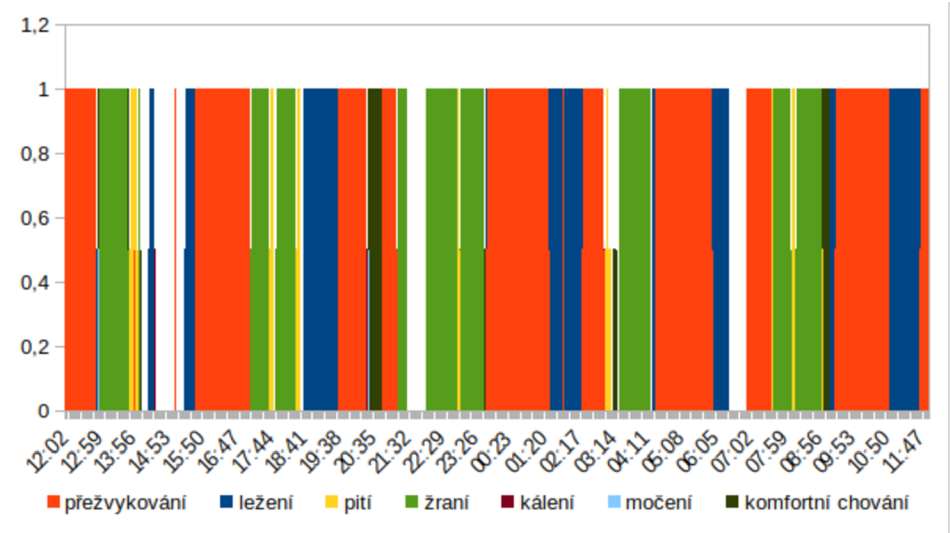
Záznam etologické sledování:

	čas	pohyb	ležení	přežvykování	pití	žraní	kálení	močení	skoky (ona)	skoky (na ni)	komfortní chování	sociální chování	jiné
1422	11:34		1										
1423	11:35		1										
1424	11:36		1										
1425	11:37		1										
1426	11:38		1										
1427	11:39		1										
1428	11:40		1										
1429	11:41		1										
1430	11:42		1										
1431	11:43		1										
1432	11:44		1										
1433	11:45		1	1									
1434	11:46		1	1									
1435	11:47		1	1									
1436	11:48		1	1									
1437	11:49		1	1									
1438	11:50		1	1									
1439	11:51		1	1									
1440	11:52		1	1									
1441	11:53		1	1									
1442	11:54		1	1									
1443	11:55		1	1									
1444	11:56		1	1									
1445	11:57		1	1									
1446	11:58		1	1									
1447	11:59		1	1									
1448	12:00												
1449													
1450	∑	255	693	603	44	336	12	5	0	0	129	15	

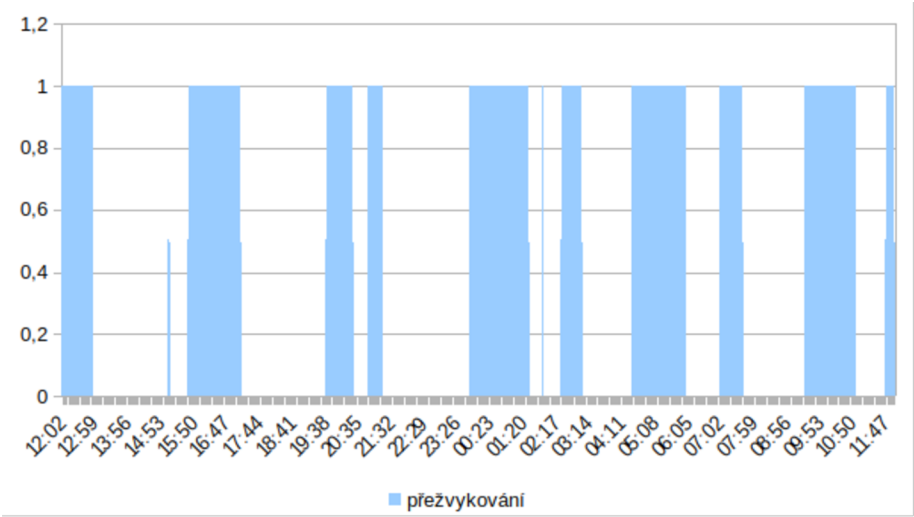
Obrázek 22: Vyplněný etogram a předený do Excelu, zdroj: vlastní

Kromě provedení sumarizací jednotlivých sledovaných činnosti, které popisují například, jakou dobu strávilo zvíře žraním, přežvykováním, pitím, komfortním nebo sociálním chováním za jeden den, tak jsem dále vytvořil barový graf, ve kterém jsou uvedeny jednotlivé činnosti zvířete – obrázek 23.

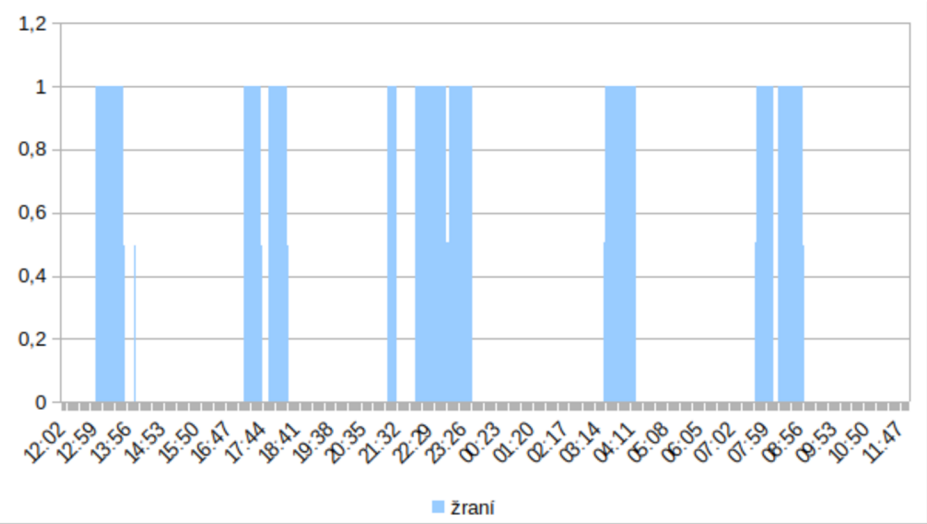
Kromě celkového grafu činností jsou uvedeny i další dva grafy (obrázek 24 a 25) pro žraní a přežvykování, na kterých je přehledně zobrazeno, kdy a jak dlouho se zvíře 2 zabývalo jednotlivými činnostmi.



Obrázek 23: Grafická podoba etogramu, zdroj: vlastní



Obrázek 24: Grafická podoba etogramu přežvykování, zdroj: vlastní



Obrázek 25: Grafická podoba etogramu žraní, zdroj: vlastní

V uvedené Tabulce 7 byly zaznamenány hodnoty aktivity, žraní a přežvykování, které byly vyjádřeny buď v četnosti/krocích nebo doby žraní a přežvykování v minutách. Z tabulky jsou patrné procentuální odchylky mezi hodnotami obou parametrů, což naznačuje rozdíly v chování zvířat zaznamenaných oběma metodami. Rozdíly v hodnotách naznačují variaci metody sběru dat interpretujícím chování zvířete. Například, hodina 18 ukazuje výraznou odchylku v přežvykování, kde etologické záznamy uvedly téměř nulové hodnoty v porovnání s daty EROS. Kumulativní data (Σ) pro žraní a přežvykování ukazují, že celkový čas měřený uvedenými metodami byl srovnatelný.

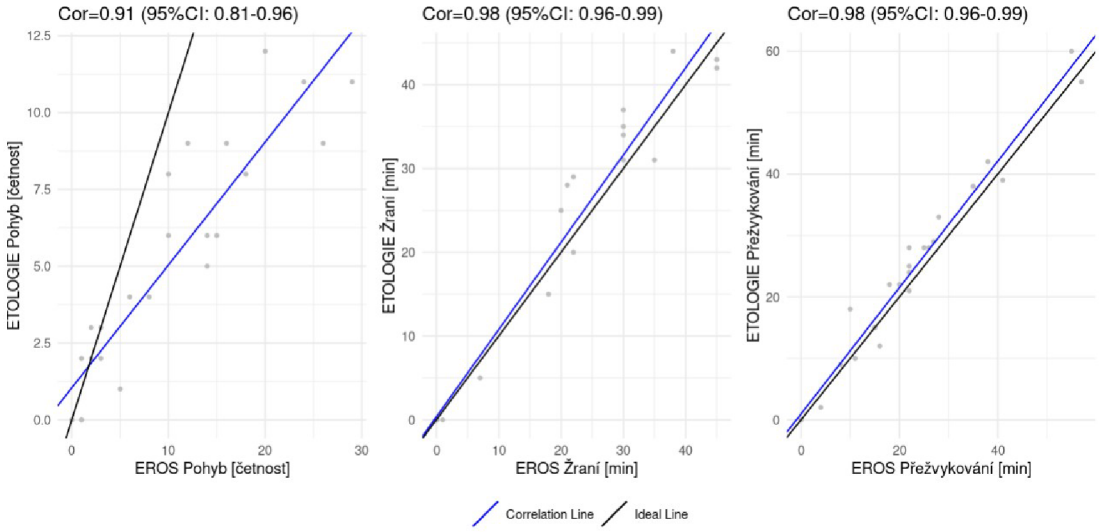
Hodina	Data z EROSu			Data z etologie			Odchylka	
	Pohyb [četnost]	Žraní [min]	Přežvykování [min]	Pohyb [kroky]	Žraní [min]	Přežvykování [min]	Δ Žraní [%]	Δ Přežvykování [%]
12	3	30	10	3	34	18	12	44
13	0	0	35	0	0	38		8
14	5	0	22	1	0	28		21
15	26	35	0	9	31	0	-13	
16	10	38	11	8	44	10	14	-10
17	2	0	28	3	0	33		15

18	29	20	4	11	25	2	20	-100
19	24	21	22	11	28	25	25	12
20	14	22	15	6	20	15	-10	0
21	1	0	25	0	0	28		11
22	18	22	22	8	29	24	24	8
23	8	0	26	4	0	28		7
0	1	1	41	2	0	39		-5
1	12	30	22	9	35	21	14	-5
2	2	0	57	2	0	55		-4
3	14	30	15	5	31	15	3	0
4	6	18	27	4	15	29	-20	7
5	1	0	20	0	0	22		9
6	16	7	18	9	5	22	-40	18
7	15	45	0	6	43	0	-5	
8	3	0	38	2	0	42		10
9	20	45	16	12	42	12	-7	-33
10	10	30	8	6	37	9	19	11
11	0	0	55	0	0	60		8
∑ [min]		394	537		419	575		
Δ [%]							6	6,6

Tabulka 7: Vyhodnocení odchylek dat z EROSu a etologického sledování pro jedno zvíře, zdroj: vlastní

V obrázku 26 je uvedena vizuální interpretace korelační analýzy dat chování zaznamenaných pomocí EROSu a etogramu. Na obrázku jsou patrné tři grafy korelací. První graf vlevo (EROS pohyb), ukazuje výsledky pohybové aktivity (kroky) a četnosti pohybové aktivity (činnosti) zaznamenané etogramem. Výsledky korelační analýzy byly Cor = 0,91 při intervalu spolehlivosti (Confidence Interval) CI = 0,81 – 0,96. Uvedený interval spolehlivosti poskytuje údaje o poměrně dobré statistické spolehlivosti mezi daty. V datech je dále patrná určitá variabilita, což bylo předpokládáno vzhledem k charakteru dat. Druhý graf uprostřed představuje výsledky pro parametr doby žraní v minutách Cor = 0,98 při intervalu spolehlivosti CI = 0,96 – 0,99. Hodnoty také ukazují vysokou hladinu korelace. Poslední graf vpravo interpretuje výsledky parametru přežvykování (min). Výsledky dosahují téměř stejných

hodnot jako v předchozím případě (žraní), tedy Cor = 0,98 při CI = 0,96 – 0,99. Všechny tři grafy ukazují vysoké korelační koeficienty s úzkými intervaly spolehlivosti, což svědčí o silné a statisticky významné korelaci mezi měřeními EROSu a etologickým pozorováním. Závěry statistického hodnocení naznačují, že data získaná z EROSu umožňují spolehlivě interpretovat změny v chování dojnic.



Obrázek 26: Grafy korelací pro pohyb, žraní, přežvykování, zdroj: vlastní

Výsledky provedeného t-testu korelačních koeficientů pro data EROS a záznamy etologického sledování pro tři různé parametry: pohyb, žraní a přežvykování. Tabulka dále obsahuje informace o intervalech spolehlivosti a p-hodnoty. Výsledky uvedené v tabulce potvrzují vysoké hodnoty korelací pro všechny tři parametry (0,91, 0,98 a 0,95), což ukazuje na silnou pozitivní korelaci mezi daty získanými pomocí EROS a sledování chování zvířete. Relativně vysoký interval spolehlivosti žraní (CI = 0,955 – 0,992) naznačuje konzistentnost dat, což vyjadřuje vysokou pravděpodobnost, že skutečná hodnota korelačního koeficientu je v daném intervalu. Velmi nízké hodnoty (P = $4{,}92e^{-10}$) pro pohyb a ($<2.2e^{-16}$) pro žraní a přežvykování ukazují vysokou pravděpodobnost, že by uvedené výsledky korelace byly způsobeny náhodnými efekty, jelikož uvedené hodnoty dosahují nižších hodnot než stanovená hladina významnosti $P<0,05$ byly tedy statisticky významné. Obecně je známo, že p hodnota vyjadřuje sílu důkazu proti nulové hypotéze. Čím menší je p-hodnota, tím silnější je důkaz proti nulové hypotéze. Nulová hypotéza byla následující. H0 = data z EROSu a etogramu nejsou korelované, proto byla H0 zamítnuta. Tento výsledek

jasně naznačuje, že mezi metodami sběru dat existovala významná korelace, čímž byl potvrzen předpoklad správného a spolehlivého fungování systému EROS vrámci sledování pohybové aktivity dojnic.

t-test pro korelační koeficient			
Parametr	Korelace (EROS, ETOL)	95% CI (konfidenční interval	p-val
Pohyb	0.91	(0.807 – 0.962)	4.92e-10
Žraní	0.98	(0.955 – 0.992)	< 2.2e-16
Přežvyk.	0.95	(0.960 – 0.993)	< 2.2e-16

Tabulka 8: Korelace pomocí t-testu, zdroj: vlastní

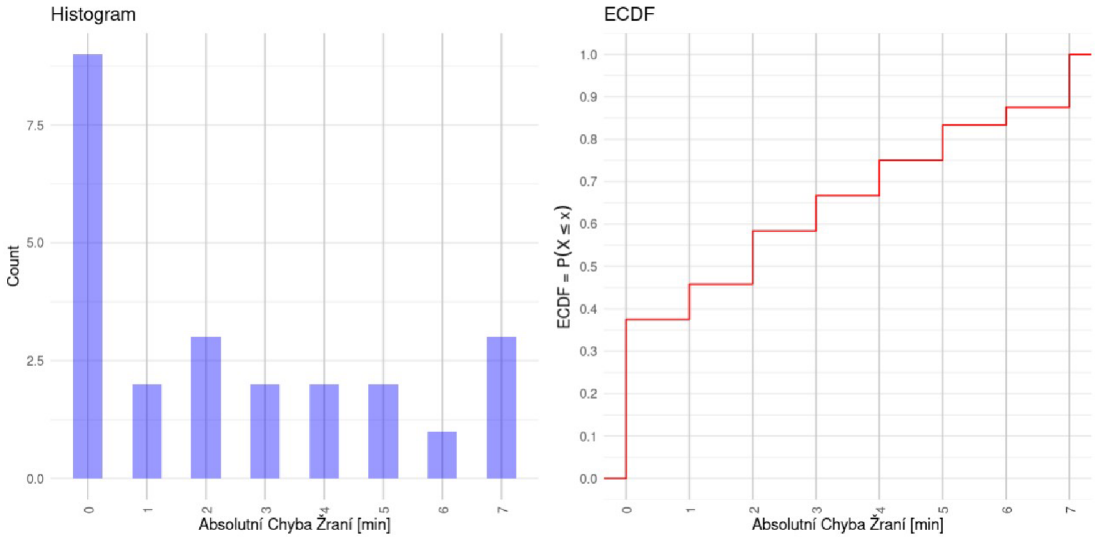
Tabulka 9 prezentuje výsledky párového t-testu provedeného s cílem určit, zda existoval statisticky významný rozdíl mezi průměrnými chybami měření pomocí EROS a ETOL. V tabulce jsou uvedeny průměrné rozdíly (AVG-DIFF), 95 % interval spolehlivosti a hodnoty P pro pohyb, žraní a přežvykování. Parametr pohybu vyjadřující rozdíl mezi průměrnými chybami (četnosti a kroků) dosahoval hodnoty 4,958 ($P<0,05$) při 95% intervalu spolehlivosti od 2,627 do 7,299. Pro žraní byl průměrný rozdíl -1,041, při p hodnotě 0,1507, což nebylo statisticky významné, jelikož hodnota je vyšší než stanovená hladina významnosti 0,05. Interval spolehlivosti (-2,491 – 0,408) zahrnuje nulu, což naznačuje, že rozdíly mezi metodami sledování projevů nebyly statisticky významné. Pro parametr přežvykování byl průměrný rozdíl -1,583 ($P<0,05$) při CI = -2,816 – (-0,351). Z výsledků analýzy vyplývá, že v případě prvního parametru byly hodnoty sledování nadhodnoceny oproti referenční hodnotě o 4,958, v případě druhého a třetího parametru byly hodnoty podhodnoceny, konkrétně o 1,041 a 1,583.

Párový t-test pro průměrné hodnoty chyby rovny nule			
Parametr	AVG-DIFF (EROS - ETOL)	95% CI AVG-DIFF	p-val
Pohyb	4.958	(2.627 – 7.299)	0.0002077
Žraní	-1.041	(-2.491 – 0.408)	0.1507
Přežvykovaní	-1.583	(-2.816 – (-0.351))	0.01404

Tabulka 9: Korelace pomocí párového t-testu, zdroj: vlastní

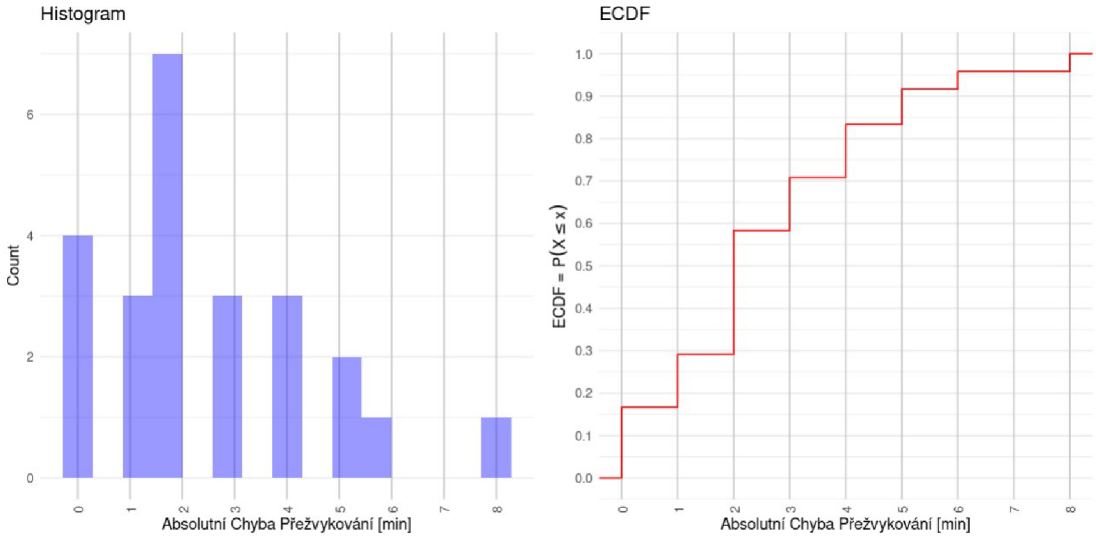
Z výsledků je patrné, že parametry žraní a přežvykování jsou v rámci hodnocení validní. Závěrem lze uvést, že údaje z EROSu lineárně asociují s referenčními hodnotami (ETOL).

Obrázek 27 vyjadřuje histogram a empirickou kumulativní distribuční funkci (ECDF) pro absolutní chyby žraní. Prezentovaný graf interpretuje rozložení chyb v rámci EROS a ETOL. Výsledky uvedené v histogramu pro žraní naznačují, že většina chyb dosahovala nízké hladiny s největší četností kolem nuly, což naznačuje, že data z EROSu a záznamy ETOL byly velmi podobné. Tento trend byl potvrzen grafem ECDF, kde rychlý nárůst funkce při nižších hodnotách chyby naznačuje, že většina datových bodů má malou absolutní chybu. Zároveň ECDF pro žraní ukazuje, že více než 80 % pozorování mělo chybu menší než 2 minuty.



Obrázek 27: Grafy distribuce absolutní chyby žraní, zdroj: vlastní

V případě přežvykování byly výsledky uvedeny na obrázku 28, kde histogram ukazuje širší distribuci chyb, s několika většími výskyty chyb. Tento výsledek naznačuje větší rozdíly mezi měřením žraní pomocí EROS a etologickým pozorováním. Nicméně ECDF pro přežvykování také stoupal poměrně rychle, což ukazuje, že velká část chyb byla stále relativně nízká. Lze tedy výsledky shrnout následovně, distribuce chyb byla v případě přežvykování širší, což odráží větší variabilitu mezi EROS a ETOL. Přesto ECDF ukazuje, že přibližně 80 % měření mělo chybu menší než 4 minuty.



Obrázek 28: Grafy distribuce absolutní chyby přežvykování, zdroj: vlastní

Pro ostatní sledovaná zvířata uvedu pouze celkové vyhodnocení v následující tabulce.

	Data z EROSu			Data z etologie			Odchylka	
Zvíře	∑ Pohyb [četnost]	∑ Žraní [min]	∑ Přežvykování [min]	∑ Pohyb [kroky]	∑ Žraní [min]	∑ Přežvykování [min]	Δ Žraní [%]	Δ Přežvykování [%]
1	240	394	537	121	419	575	6	7
2	1315	632	530	255	693	603	9	12
3	3526	510	420	1856	577	457	12	8
4	1086	615	393	533	689	473	11	17
ø [min]		588	517					
ø Δ [%]							10	11

Tabulka 10: Vyhodnocení odchylek dat z EROSu a etologického sledování, zdroj: vlastní

Cílem pokusu sledování čtyř zvířat bylo stanovení určité míry odchylky mezi žraním, přežvykováním a ověření korelace mezi četností pohybu z EROSu a počty kroků z etologického sledování. Pro tato zvířata odchylka žraní vychází 10% a přežvykování 11%. Z pohybových dat uvedených v tabulce je zřejmé, že pokud se zvyšuje počet kroků, zvyšuje se i četnost pohybu. Tento závěr je zřetelnější z hodinových dat.

Zvíře 3 projevovalo zvýšenou pohybovou aktivitu z důvodu výskytu říje. Tento projev byl zaznamenán i v datech přicházející z EROSu.

4.4 Integrace do Farmsoftu

První část úkolu integrace snímače EROSu do Farmsoft představovala doprogramování funkci pro ukládání dat do SQL databáze. Data z EROSu přijatá pomocí antény se nejprve přenesou pomocí sítě uLan a převodníku uLan2USB do počítače. V počítači tato data jsou zpracovávána programem FCS. Vlastním úkolem práce byla implementace přijímacích funkcí v programu FCS a funkci pro zápis dat do databáze.

Přijímací funkce dat je integrována do vlákna, které se stará o příjem všech dat z uLanu. Dále dochází k rozdělení zpracování dat dle parametru command - CMD, který je přijímán na sběrnici uLan a určuje druh technologie. FCS již komunikovala s těmito technologiemi, pro které se používá vždy samostatný CMD :

- RFID Identifikace
- Milkmetr
- AKB – automatický krmný box
- Selekční branka
- Vážení

Technologii sběru dat pohybové aktivity byla přiřazena hodnota commandu 0x23. Následovalo doprogramování rozkladu přijatých dat tak, aby je bylo možné zpracovávat.

V dalším kroku integrace sběru dat bylo ukládání dat do SQL databáze. Pro tento účel byla natržena tabulku s názvem TECH_EROS do které se ukládají přijaté údaje.

Název sloupce v tabulce	Popis
ID_TECH_EROS	Unikátní klíč pro každý záznam
ID_KUSU	Identifikátor čísla kusu
DATUM	Datum záznamu
CAS	Časový údaj záznamu hh:mm:ss
HODINA	Hodinový údaj záznamu
DOHRANO	Příznak dohrávaného záznamu
TYP	Druh EROSu – krk, noha
LEZENI	Noha - doba ležení ve vteřinách

STANI	Noha – doba stání ve vteřinách
AK	Noha, Krk – hodnota aktivity
PV	Noha – počet vztání
Z	Krk – doba žraní ve vteřinách
P	Krk – doba přežvykování ve vteřinách
A1,A2,A3,A4	Krk – hodnota aktivity po 15min úsecích
SHL	Odchylka ležení
SHS	Odchylka stání
SHA	Odchylka aktivity
SHZ	Odchylka žraní
SHP	Odchylka přežvykování

Tabulka 11: Tabulka TECH_EROS pro ukládání dat ve Farmsoftu, zdroj: vlastní

Na straně komunikačního programu byl definován výpočet odchylek aktuálního stavu od hodnoty 7mi denního průměru pro jednotlivé veličiny. Odchylky začínají s názvem SH. Vlastní spočítání odchylek se provede okamžitě po příjmu dat ještě před vlastním uložením.

4.4.1 Systém denního hlášení

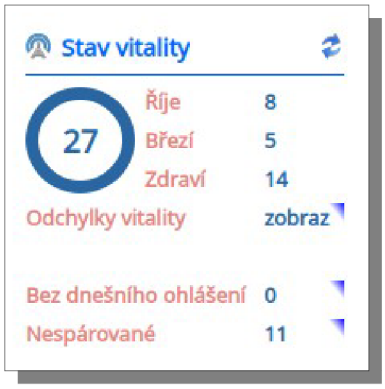
Kromě odchylek hodnot životních projevů zvířat jsou důležité pro zootechnika sestavy, které by mu měly pomáhat v každodenní práci řízení stáda. Byly navrhnuty reprodukční sestavy v programu Farmsoft, které na základě přednastaveného reprodukčního kalendáře, ve kterém se stanoví, kdy se provádějí jednotlivé úkony, provádí výběry zvířat, tak aby zootechnik dostal přehledný výstup, co má aktuálně dělat.

Obrázek 29: Farmsoft – denní hlášení, zdroj: vlastní

Jen zkráceně, zde uvedu popis některých sestav. Sestava na zaprahování vybírá zvířata, která mají minimálně 210 dní po zapuštění a jsou březí. Interval od 210 dní představuje jen nejnižší hodnotu, od které by mohl chovatel provádět zaprahování. Je vždy na chovateli, kdy opravu provede zaprahnutí. Podobně navržená sestava na otelení nevybírá pouze zvířata, která by se měla aktuálně telit, ale na sestavě jsou zahrnuta zvířata, která mají více než 260 dní březosti a měla by se i přesunout na porodnu.

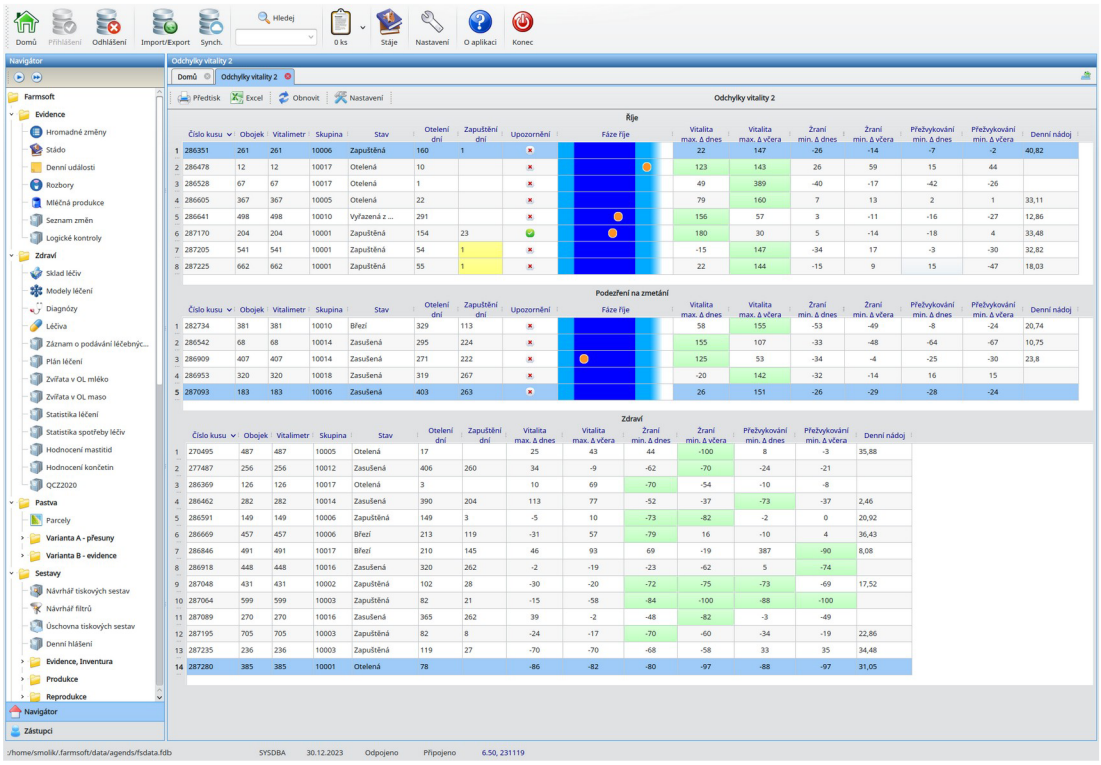
4.4.2 Systém sledování odchylek životních projevů zvířat

Důležitým výstupem pro zootechnika je systém sledování odchylek životních projevů. Na úvodní stránce programu Farmsoft byl navržen panel, který přehledně ukazuje aktuální stav odchylek zdravotních stavů.



Obrázek 30: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní

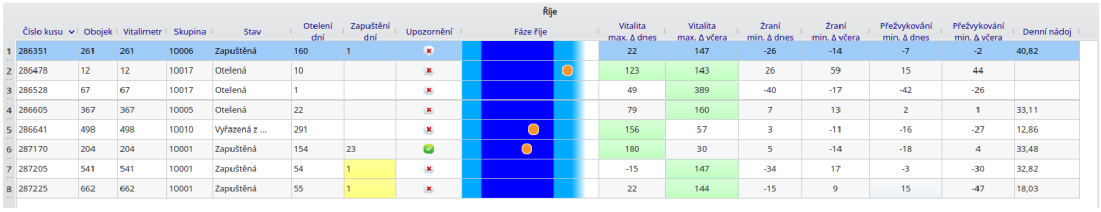
Vyhodnocení je rozděleno na tři nezávislé sestavy, které slouží k určitému způsobu podle využití - obrázek 31. Čísla, která zobrazuje panel odchylek zdravotních stavů říkají, kolika kusů zvířat se daná problematika týká. Sumární počet je potom zobrazen v kruhu.



Obrázek 31: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní

První sestava slouží pro **vyhodnocování říjí**. Na sestavě jsou zobrazena zvířata, která mají dnes nebo včera alespoň jednu zvýšenou hodnotu odchylky pohybové aktivity - SHA. Rozhodovací kritérium odchylky pro výběr do sestavy je volitelné a standardně je nastavené na hodnotu 80%. Data z EROSu jsou přenášena jednou za hodinu, přičemž při uložení se spočítá hodnota SHA. Za den se stanoví celkem 24 hodnot SHA a z těchto hodnot se určí maximální hodnota SHA – SHA_{max}. Kromě odchylky pohybové aktivity jsou na sestavě zobrazovány ještě hodnoty odchylek žraní a přežvykování. Tyto hodnoty zároveň pomáhají s určením, zda se jedná o říji či nikoli. Během říje dohází ke zvýšení pohybové aktivity a zároveň ke snížení jiných životních činností jako právě žraní nebo přežvykování, neboť zvíře se zajímá o jiná zvířata a nemá čas na tyto projevy.

Důležitým pomocníkem při vyhledávání říjí jsou indikátory fází říjí – obrázek 32, modré pruhy s kolečky. Ten na základě vlastního algoritmu odhadne začátek říje (poslední snížení aktivity před nárůstem) a stanoví, v jaké fázi říje se nyní nacházíme. Předpokládá se, že optimální doba pro připuštění by se měla pohybovat v rozmezí 6-18hodin, přičemž rozsah zobrazovacího prvku je 0-36 hodin.

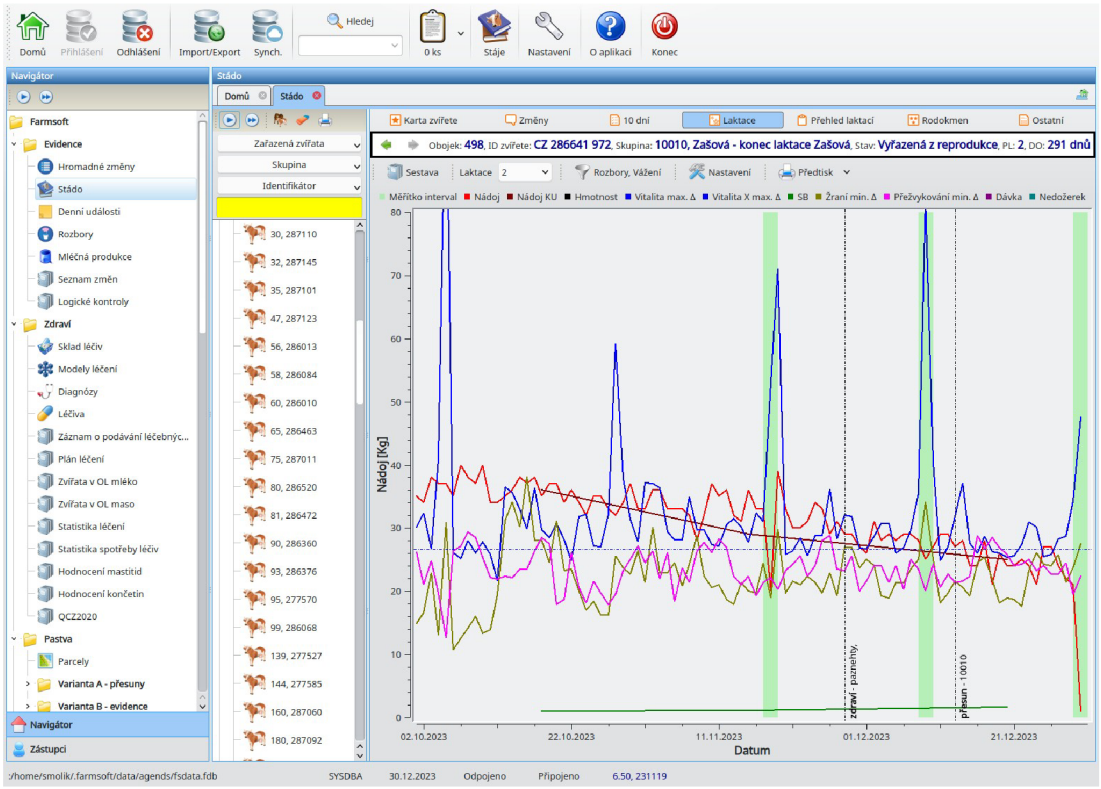


	Číslo kusu	Obojek	Vitalimetr	Skupina	Stav	Otelení dní	Zapuštění dní	Upozornění	Říje: Fáze říje	Vitalita max. Δ dnes	Vitalita max. Δ včera	Žraní min. Δ dnes	Žraní min. Δ včera	Přežvykování min. Δ dnes	Přežvykování min. Δ včera	Denní nádoj
1	286351	261	261	10006	Zapuštěná	160	1			22	147	-26	-14	-7	-2	40,82
2	286478	12	12	10017	Otelená	10				123	143	26	59	15	44	
3	286528	67	67	10017	Otelená	1				49	389	-40	-17	-42	-26	
4	286605	367	367	10005	Otelená	22				79	160	7	13	2	1	33,11
5	286641	498	498	10010	Vyřazená z ...	291				156	57	3	-11	-16	-27	12,86
6	287170	204	204	10001	Zapuštěná	154	23			180	30	5	-14	-18	4	33,48
7	287205	541	541	10001	Zapuštěná	54	1			-15	147	-34	17	-3	-30	32,82
8	287225	662	662	10001	Zapuštěná	55	1			22	144	-15	9	15	-47	18,03

Obrázek 32: Farmsoft – indikátor fáze říje, zdroj: vlastní

Kromě těchto údajů jsou na sestavě počty dní od posledního otelení a posledního zapuštění, ty rovněž pomáhají stanovit, zda se nacházíme v optimální době pro připouštění. Při malém počtu dní po otelení (přibližně 21) se může jednat o výskyt první říje při které se nezapouští. Naopak například okolo 21. dne po zapuštění se může jednat o přebíhání. Stanovení přebíhání by mělo proběhnout z grafu (obrázek 33) popřípadě po konzultací s inseminátorem, který potvrdí výskyt říje. Zkrátí se tak doba čekání na vyšetření ze sonografu (okolo 35 dne po zapuštění) a následné určení opětovné doby vhodné pro zapuštění.

Poslední zobrazovací prvek, který je umístěn na sestavu je nazván – Upozornění. Ten se snaží shrnout zootechnikovi všechny upozornění do jednoho indikátoru, který při zelené fajfce říká, že je vše optimální pro inseminaci. Neoptimální se považují i zvířata, která jsou vyřazená z reprodukce nebo mají krátký interval po zapuštění – do 5 ti dnů. Je na rozhodnutí chovatele, zda se rozhodne pro zvýšení pravděpodobnosti oplodněn použít reinseminaci.



Obrázek 33: Farmsoft – grafy aktivity, žraní, přežvykování, zdroj: vlastní

Dvojitým poklikáním na sestavě odchylek životní projevů zvířete se chovatel dostane do grafické reprezentace. V této reprezentaci jsou ukázány maximální denní odchylky projevů od posledního otelení u krav a od nasazení EROSu u jalovic. Snadno se stanoví, zda zvíře cykluje po 21 dnech. Detail tohoto denního grafu je uveden na obrázku 33. Jsou vidět zřejmě čtyři proběhlé říje a nastupující pátá. Sice je v pořádku, že zvíře zřetelně cykluje, ale pokud proběhly čtyři zapuštění a má se zapouštět po páté, tak je něco špatně. Zvíře nedokážeme oplodnit. Cíl z hlediska maximální efektivity by mělo být připuštění na druhý výskyt říje a to s pozitivním výsledkem na březost.

Z denního grafu je možno se překliknout na 10 ti denní hodinový graf. Zde chovatel dokáže odečíst přesnou hodinu, kdy se začala projevovat říje změnou životních projevů. Tento graf je možno vidět na obrázku 34. Červená křivka zobrazuje hodnoty pohybové aktivity, modrá odchylku aktivity, růžová odchylku přežvykování a tmavě žlutá odchylku žraní. Na uvedeném obrázku je vidět, jak došlo k poklesu přežvykování během výskytu říje.

Obrázek 34: Farmsoft – hodinový grafy aktivity, žraní, přežvyk., zdroj: vlastní

Druhá sestava z panelu odchylek zdravotních stavů slouží pro **vyhodnocování podezření na zmetání**. Pracuje shodně jako sestava na říjí, ale zobrazuje zvířata, která dle reprodukčního stavu jsou březí. Tato zvířata by již neměla cyklovat a projevovat změny v pohybovém chování. Ke změně v pohybovém chování může dojít, například pokud se zvíře přesune do jiné skupiny. Tento stav by měl chovatel rozpoznat, neboť v programu jsou evidovány všechny tyto změny mezi skupinami.

Poslední sestava z panelu odchylek zdravotních stavů je sestava **zdraví**. Zde jsou zobrazovány zvířata, u kterých je detekován jeden z následujících problémů:

- snížená odchylka přežvykování o 50 % za poslední dva dny
- snížená odchylka žraní o 60 % za poslední dva dny

Prahové hodnoty jsou předdefinované a chovatel si je může upravovat v závislosti na výsledcích.

5 Závěr

Cílem disertační práce bylo ověřit hypotézu, zda sledováním vibrací pomocí čidel umístěných na zvířeti je možné monitorovat životní projevy zvířat.

První část práce je věnována teoretickému rozboru, ve kterém jsou postupně popisována témata, která mají souvislost s vlastní prací. Nejprve se věnují etologii, následně reprodukci skotu v jednotlivých životních obdobích, welfare, druhům onemocnění a reprodukčním ukazatelům. Následně v teoretickém rozboru popisuji systémy sledování chování pomocí pedometrů a aktivometrů s různými způsoby umístění – noze, krku, uchu a ocasu.

V praktické části práce bylo nejprve popsáno, jak jsem postupoval s vývojem elektronického zařízení EROS pro snímání vibrací umístěným na zvířeti buď na krku, nebo noze. Podařilo se navrhnout a vyrobit elektroniku, která obsahovala akcelerometr, který slouží k měření změn hodnot zrychlení. Dosažené parametry vlastní spotřeby zařízení 20 μA jsou dostatečné pro dosažení doby životnosti zařízení přibližně 10 let. Za pomoci vysílacího modulu využívající technologii LORA, byly dosaženy přenosové vzdálenosti od zvířete k přijímací anténě 500 metrů, což je opět dostatečné pro pokrytí stájí dojného skotu. Pro zvětšení plochy monitorovaného prostoru byl navržen systém tak, aby bylo možno použít více antén. Ty pomocí jednoduché sítě μLan lze následně připojit do počítače. Zde byl rovněž implementován do komunikačního programu FCS thread, pomocí kterého se provádí ukládání dat do SQL databáze programu Farmsoft.

Na základě etologického sledování zvířat a dat, která byla nasnímána EROSem s vzorkovací frekvencí 12Hz se podařilo navrhnout ohodnocovací algoritmus, který analyzuje vibrace z akcelerometru a dokáže vyhodnocovat životní projevy dle umístění:

- Krk – pohyb, žraní, přežvykování
- Noha – pohyb, doba ležení, doba stání, počet změn ležení/stání

Během 24hodinového sledování 4 kusů zvířat byla stanovena míra odchylky mezi etologickým sledováním a systémem ohodnocování žraní a přežvykování pomocí navrženého algoritmu 10 %.

Systém detekcí říjí na základě zvýšení pohybu byl ověřován na množině 1613 inseminací provedených za období 4 let. U 1460 říjí bylo detekováno zvýšení od-

chylky pohybové aktivity v rozmezí ± jeden den o více než 80 %. Tato prahová hodnota je považována za mezní při upozorňování chovatele na výskyt říje. Navržený systém detekoval říje s úspěšností 90 %.

Podařilo se navrhnout sestavy pro vyhledávání říjí, podezření na zmetaní a upozornění na zdravotní problémy. Ty ve spojení s grafickými výstupy dávají chovateli včasné informace o změnách v chování zvířat.

Celkově byla ověřena a potvrzena hypotéza, že sledováním vibrací na zvířeti, je možné provádět detekci životních projevů žraní, přežvykování a měření pohybové aktivity.

5.1 Přínos pro chovatelskou praxi a rozvoj oboru

Přínos práce pro chovatelskou praxi a pro rozvoj oboru lze rozdělit z několika hledisek.

Z hlediska technického se jedná o největší přínos. Existují popisy systémů sledování pohybové aktivity, které jsou především určeny pro mobilní aplikace. Ty většinou řeší problematiku návrhu algoritmu pro detekci chůze u lidí, popřípadě jiných životních projevů. Nezabývají se však samotným technickým návrhem zařízení, jeho potřebami a požadavky. Rovněž technické požadavky na zařízení jsou odlišné pro zemědělská zvířata a lidi. Předpokládá se, že doba provozu na baterii se u lidí může pohybovat v řádu dní oproti řádu let u zvířat. Po této stránce vyplňuje práce jistou mezeru v popisu řešení, jak se vypořádat s problematikou vlastní spotřeby zařízení.

Chovatelé i výzkumníci se setkávají s již navrženým řešením. Firmy neuvádějí přesný popis, jak zařízení pracují, neboť se jedná o firemní knowhow. Otevřenost celého popisu řešení dává tedy možnost jeho dalšího rozvoje.

Dalším směrem, kterému by bylo vhodné se věnovat je připojení čidel pro měření tělesné teploty, okysličení krve nebo tepové frekvence. Všechny tyto senzory prochází poměrně rychlým vývojem z hlediska miniaturizace, přesnosti a vlastní spotřeby. Tento rychlý rozvoj je způsoben používáním senzorů v hodinkách, které monitorují lidské životní projevy. Opět důležitý faktor, který zde hraje zásadní roli pro nasazení v zemědělství je vlastní spotřeba zařízení. Ta se však stálé snižuje a přibližuje se k hranici průmyslového nasazení.

Dalším přínosem práce pro vědeckou komunitu je popis algoritmů detekce životních projevů. Byl navrhnut způsob detekce žraní a přežvykování z vibrací, které jsou snímány pomocí akcelerometru. Prahové hranice pro algoritmus detekce činnosti zvířete byly stanoveny empiricky tak, aby bylo dosaženo minimální odchylky mezi sledovánou a detekovanou činností. Tyto hodnoty je možno upravovat v průběhu života zařízení pomocí programátoru. Výhodnější by bylo vytvoření adaptabilního algoritmu, který by upravoval prahové hodnoty detekčního algoritmu v závislosti na výsledcích.

Posledním přínosem práce je popis jakým způsobem provádět výstupy zdravotních stavů zvířat a jaké používat zobrazovací prvky tak, aby bylo dosaženo maximální přehlednosti a efektivity pro denní zootechnickou práci.

Systém sledování životních projevů byl oceněn v soutěži GRAND PRIX na mezinárodním veletrhu zemědělské techniky TECHAGRO v Brně – obrázek 44.

6 Seznam použité literatury

Abramson, N. (1977). THE ALOHA SYSTEM: another alternative for computer communications. *Fall Joint Computer Conference*. 37. 281-285. 10.1145/1478462.1478502.

Akbar, M. O., Shahbaz khan, M. S., Ali, M. J., Hussain, A., Qaiser, G., Pasha, M., Pasha, U., Missen, M. S., & Akhtar, N. (2020). IoT for development of smart dairy farming. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-8.

Akbari, E., Musavi, S. A. A., & Haidari, N. (2022). Survey of Reproductive Indices in Dairy Farms of Kabul City, Afghanistan. *Voice of the Publisher*, 8(4), 83-87.

Ali, A. S., Jacinto, J. G., Münchemyer, W., Walte, A., Gentile, A., Formigoni, A., Mammi, L. M. E., Bajcsy, Á. C., Abdu, M. S., Kamel, M. M., & Ghallab, A. R. M. (2022). Estrus Detection in a Dairy Herd Using an Electronic Nose by Direct Sampling on the Perineal Region. *Veterinary Sciences*, 9(12), 688.

Alipio, M., & Villena, M. L. (2022). Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*, 100369.

Alsaaod, M., Niederhauser, J. J., Beer, G., Zehner, N., Schuepbach-Regula, G., & Steiner, A. (2015). Development and validation of a novel pedometer algorithm to quantify extended characteristics of the locomotor behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6236-6242.

Ansari-Lari, M., Kafi, M., Sokhtanlo, M., & Ahmadi, H. N. (2010). Reproductive performance of Holstein dairy cows in Iran. *Tropical Animal Health and Production*, 42, 1277-1283.

Arago, N., Robles, R. R., Alvarez, C., Mabale, A., Legista, C., Repiso, N., Amado, T., Jorda, R. Jr., Thio-ac, A., Tolentino, L. K., & Velasco, J. (2022). Smart dairy cattle farming and In-heat detection through the Internet of things (IoT). *International Journal of Integrated Engineering*, 14(1), 157-172.

Azarpajouh, S., Calderón Díaz, J. A., Bueso Quan, S., & Taheri, H. (2021). Farm 4.0: innovative smart dairy technologies and their applications as tools for welfare assessment in dairy cattle. *CABI Reviews*, (2021).

Barkema, H. W., von Keyserlingk, M. A., Kastelic, J. P., Lam, T. J., Luby, C., Roy, J. P., LeBlanc, S. J., Keefe, G. P., & Kelton, D. F. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7426-7445.

Benaissa, S., Tuyttens, F. A. M., Plets, D., Trogh, J., Martens, L., Vandaele, L., Joseph, W. And Sonck, B. (2020). Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. Computers and Electronics in Agriculture, 168: 105153.

Bertenshaw, C., & Rowlinson, P. (2002). The influence of positive human-animal interaction during rearing on the welfare and subsequent production of the dairy

heifer. *In Meeting of the British Society of Animal Science.* Penicuik: BSAS, United Kingdom, p. 17.

Bewley, J. (2010, March). Precision dairy farming: Advanced analysis solutions for future profitability. *In The First North American Conference on Precision Dairy Management* (Vol. 16). Kentucky, USA: University of Kentucky.

Bezdíček, J., Louda, F., & Šubrt, J. (2010). Vliv inbrední deprese na znaky reprodukce. *Rapotín: Agrovýzkum Rapotín s.r.o.* ISBN 978-80-87144-17-6.

Bicalho, R. C., Vokey, F., Erb, H. N., & Guard, C. L. (2007). Visual locomotion scoring in the first seventy days in milk: Impact on pregnancy and survival. *Journal of dairy science*, 90(10), 4586-4591.

Bikker, J. P., Van Laar, H., Rump, P., Doorenbos, J., Van Meurs, K., Griffioen, G. M., & Dijkstra, J. (2014). Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of dairy science*, *97*(5), 2974-2979.

Boissy, A., Fisher, A. D., Bouix, J., Hinch, G. N., & Le Neindre, P. (2005). Genetics of fear in ruminant livestock. *Livestock Production Science*, 93(1), 23-32.

Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of dairy science*, 98(6), 4198-4205.

Borchers, M. R., Chang, Y. M., Proudfoot, K. L., Wadsworth, B. A., Stone, A. E., & Bewley, J. M. (2017). Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. *Journal of dairy science*, *100*(7), 5664-5674.

Bouška, J., Doležal, O., Jílek, F., Kudrna, V., Kvačilík, J., Přibyl, J., Rajmon, R., Sedmíková, M., Skřivanová, V., Šlosárková, V., Tyrolová, Y., Vacek, M., & Žižlavský, J. (2006). Chov dojeného skotu. *Praha: ProfiPress*.

Braun, U., Tschoner, T. And Hässig, M. (2014). Evaluation of eating and rumination behaviour using a noseband pressure sensor in cows during the peripartum period. *BMC Veterinary Research*, 10(1): 195

Brehme, U., Ahlers, D., Laufeld, P., Scheibl, P., Scherping, E., & Werner, D. (2001). Brunsterkennung und Gesundheitsüberwachung mittels sensorgestützter Funkdatenlogger. In Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung: Beiträge zur 5. Internationalen Tagung (s. 44-49). Hohenheim, Německo: *Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim*.

Breuer, K., Hemsworth, P. H., Barnett, J. L., Matthews, L. R., & Coleman, G. J. (2000). Behavioural response to humans and the productivity of commercial dairy cows. *Applied animal behaviour science,* 66(4), 273-288.

Buijs, S., Weller, J., & Budan, A. (2023). When the measurement affects the object–Impact of a multi-part head/neck mounted wearable device on dairy cow behaviour, health and productivity. *Applied Animal Behaviour Science*, *263*, 105937.

Burfeind, O., Schirmann, K., Von Keyserlingk, M. A. G., Veira, D. M., Weary, D. M., & Heuwieser, W. (2011). Evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *Journal of dairy science*, *94*(1), 426-430.

Cabrera, V. E., Barrientos-Blanco, J. A., Delgado, H., & Fadul-Pacheco, L. (2020). Symposium review: Real-time continuous decision making using big data on dairy farms. *Journal of dairy science*, 103(4), 3856-3866.

Cadwallader, T. C. (2014). Neglected aspects of the evolution of American comparative and animal psychology. *In Behavioral evolution and integrative levels* (pp. 15-48). Psychology Press.

Ceballos, M. C., Góis, K. C. R., Sant'Anna, A. C., Wemelsfelder, F., & da Costa, M. P. (2021). Reliability of qualitative behavior assessment (QBA) versus methods with predefined behavioral categories to evaluate maternal protective behavior in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 236, 105263.

Colegate, S. M., & Molyneux, R. J. (Eds.). (2007). Bioactive natural products: detection, isolation, and structural determination. *CRC press*.

Colloton, J. (2014). Reproductive ultrasound of female cattle. *Bovine Reproduction*, 326-346.

Costa, J. H. C., von Keyserlingk, M. A. G., & Weary, D. M. (2016). Invited review: Effects of group housing of dairy calves on behavior, cognition, performance, and health. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2453-2467.

Coufalík, V. (2013). Současné problémy v reprodukci skotu (1. vyd.). *Olomouc: Agriprint*.

Couchoux, C., Aubert, M., Garant, D., & Réale, D. (2015). Spying on small wildlife sounds using affordable collar-mounted miniature microphones: An innovative method to record individual daylong vocalisations in chipmunks. *Scientific Reports*, 5(1), 1-8.

Crowe, M. A. (2008). Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows. *Reproduction in domestic animals*, 43, 20-28.

De Mol, R. M., André, G., Bleumer, E. J. B., Van der Werf, J. T. N., De Haas, Y., & Van Reenen, C. G. (2013). Applicability of day-to-day variation in behavior for the automated detection of lameness in dairy cows. *Journal of dairy science*, 96(6), 3703-3712.

De Morais, S. B., Orlandi, C. M. B., Gasparotto, P. H. G., Dantas Filho, J. V., Cavali, J., Campeiro Júnior, L. D., & Daudt, C. (2020). Costs and benefits of artificial insemination on small dairy properties. *Revista Agrarian*, 13(48), 249-264.

De Vries, A., & Marcondes, M. I. (2020). Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14(S1), s155-s164.

De Vries, M., Bokkers, E. A. M., Dijkstra, T., Van Schaik, G., & De Boer, I. J. M. (2011). Invited review: Associations between variables of routine herd data and dairy cattle welfare indicators. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3213-3228.

Diskin, M. G. (2018). Semen handling, time of insemination and insemination technique in cattle. *Animal*, 12(s1), s75-s84.

Diskin, M. G., & Kenny, D. A. (2016). Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology*, 86(1), 379-387.

Doležal, O., Bílek, M., & Dolejš, J. (2004). Zásady welfare a nové standardy EU v chovu skotu. Praha Uhříněves: *Výzkumný ústav živočišné výroby*, v.v.i. ISBN 80-86454-51-7.

Domecq, J. J., Skidmore, A. L., Lloyd, J. W., & Kaneene, J. B. (1997). Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *Journal of dairy science*, 80(1), 101-112.

Dominiak, K. N., & Kristensen, A. R. (2017). Prioritizing alarms from sensor-based detection models in livestock production-A review on model performance and alarm reducing methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, *133*, 46-67.

Dreschel, S., Schön, P. C., Kanitz, W., & Mohr, E. (2014). Vocalization of dairy cattle during the oestrous cycle in two different housing systems. *Züchtungskunde*, 86(3), 157-169.

Dubuc, J., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Walton, J. S., & LeBlanc, S. J. (2011). Effects of postpartum uterine diseases on milk production and culling in dairy cows. *Journal of dairy science*, 94(3), 1339-1346.

DuPonte, M. W. (2007). Proper semen handling during an artificial insemination program. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, *Livestock Management*, LM-16.

Dutta, D., Natta, D., Mandal, S., & Ghosh, N. (2022). MOOnitor: An IoT based multi-sensory intelligent device for cattle activity monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, *333*, 113271.

Duval, J. E., Bareille, N., Madouasse, A., de Joybert, M., Sjöström, K., Emanuelson, U., Bonnet-Beaugrand, F., & Fourichon, C. (2018). Evaluation of the impact of a Herd Health and Production Management programme in organic dairy cattle farms: a process evaluation approach. *Animal*, 12(7), 1475-1483.

Eastwood, C. R., Chapman, D. F., & Paine, M. S. (2012). Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agricultural Systems*, 108, 10-18.

Ebinghaus, A., Ivemeyer, S., Rupp, J., & Knierim, U. (2016). Identification and development of measures suitable as potential breeding traits regarding dairy cows' reactivity towards humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 185, 30-38.

Eibl-Eibesfeldt, I., & Kramer, S. (1958). Ethology, the comparative study of animal behavior. *Quarterly Review of Biology*, 33(3), 181-211. doi: 10.1086/402403. PMID: 13591511.

EJ, Farris (1954). Activity of dairy cows during estrus. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 125(929), 117-120.

Emnoor, E. F. (2020). Evaluation of bulk milk collected from selected dairy farms in Chattogram (Doctoral dissertation). *Chattogram Veterinary and Animal Sciences University*, Chattogram-4225, Bangladesh.

Esslemont, R. J., & Kossaibati, M. A. (2000). The use of databases to manage fertility. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 725-741. doi: 10.1016/S0378-4320(00)00081-6.

Ettema, J. F., Østergaard, S., & Sørensen, M. K. (2011). Effect of including genetic progress in milk yield on evaluating the use of sexed semen and other reproduction strategies in a dairy herd. *Animal*, 5(12), 1887-1897. DOI: 10.1017/S175173111100108X.

Ewing S.A., Lay D.C. Jr. & E. Von Borell (1999): Farm animals well-being. *Stress physiology, animal behavior and environmental design*. Prentice Hall, Upper Saddle River, USA, s. 357.

FAWC (2009). Farm animal welfare council in Great Britain: Past, present and future.

Firk, R., Stamer, E., Junge, W., & Krieter, J. (2002). Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, 75(3), 219-232.

Firk, R., Stamer, E., Junge, W., & Krieter, J. (2003). Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. *Livestock Production Science*, 82(1), 97-103.

Fogsgaard, K. K., Bennedsgaard, T. W., & Herskin, M. S. (2015). Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis. *Journal of dairy science*, *98*(3), 1730-1738.

Forde, N., Beltman, M. E., Lonergan, P., Diskin, M., Roche, J. F., & Crowe, M. A. (2011). Oestrous cycles in Bos taurus cattle. *Animal reproduction science*, 124(3-4), 163-169.

Forkman, B., Boissy, A., Meunier-Salaün, M. C., Canali, E., & Jones, R. B. (2007). A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. *Physiology & Behavior*, 92(3), 340-374.

Fournel, S., Rousseau, A. N., & Laberge, B. (2017). Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosystems Engineering*, *155*, 96-123.

Frelich, J., Volfová, K., & Tonka, T. (2011). Chov hospodářských zvířat (1. vyd.). České Budějovice: *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta*.

Fricke, P. M. (2002). Scanning the future—Ultrasonography as a reproductive management tool for dairy cattle. *Journal of dairy science*, 85(8), 1918-1926.

Fricke, P. M. (2005). Systematic synchronization and resynchronization systems for reproductive management of lactating dairy cows. *In Proceeding of the 4 th Annual Arizona Dairy Production Conference* (Vol. 33).

Fricke, P. M., Carvalho, P. D., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes, G., & Amundson, M. C. (2014a). Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. *Animal*, *8*(s1), 134-143.

Fricke, P. M., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes Jr, G., Amundson, M. C., & Carvalho, P. D. (2014b). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 2771-2781.

Furukawa, E., Kanno, C., Yanagawa, Y., Katagiri, S., & Nagano, M. (2022). Relationship between the timing of insemination based on estrus detected by the automatic activity monitoring system and conception rates using sex-sorted semen in Holstein dairy cattle. *Journal of Reproduction and Development*, 68(4), 295-298.

Gálik, R., Mihina, Š., Boďo, Š., Knížková, I., Kunc, P., Celjak, I., & Brestenský, V. (2015). Technika pre chov zvierat. *Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre*. ISBN 978-80-552-1407-8

Galvão, K. N., Federico, P., De Vries, A., & Schuenemann, G. M. (2013). Economic comparison of reproductive programs for dairy herds using estrus detection, timed artificial insemination, or a combination. *Journal of dairy science*, *96*(4), 2681-2693.

Gaude, I., Kempf, A., Strüve, K. D., & Hoedemaker, M. (2021). Estrus signs in holstein friesian dairy cows and their reliability for ovulation detection in the context of visual estrus detection. *Livestock science*, 245, 104449.

Ghemari, Z., Salah, S., & Bourenane, R. (2018). Resonance effect decrease and accuracy increase of piezoelectric accelerometer measurement by appropriate choice of frequency range. *Shock and Vibration*, 2018, 1-8.

Giordano, J. O., Fricke, P. M., Wiltbank, M. C., & Cabrera, V. E. (2011). An economic decision-making support system for selection of reproductive management programs on dairy farms. *Journal of dairy science*, 94(12), 6216-6232.

Góis, K. C. R., Ceballos, M. C., Sant'Anna, A. C., & Costa, M. J. R. P. D. (2016). Using an observer rating method to assess the effects of rotational stocking method on beef cattle temperament over time. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 501-508.

Górriz-Martín, L., Koenig, A., Jung, K., Bergforth, W., von Soosten, D., Hoedemaker, M., & Bajcsy, Á. C. (2022). Comparison between a calving predictive system and a routine prepartal examination in German holstein heifers and cows. *Veterinary Sciences*, 9(4), 192.

Grandin, T. (2014). Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat science*, 98(3), 461-469.

Grandin, T. 2012. AMI Conference Targets Animal Care. *Meat and Poultry*, p. 74. Available at: https://www.meatpoultry.com/ articles/18649-ami-conference-targets-animalcare?v=preview

Grandin, T., & Deesing, M. J. (2022). Behavioral genetics and animal science. *In Genetics and the behavior of domestic animals* (pp. 1-47). Academic Press.

Groher, T., Heitkämper, K., & Umstätter, C. (2020). Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming. *Animal*, 14(11), 2404-2413.

Gröhn, Y. T., & Rajala-Schultz, P. J. (2000). Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Animal reproduction science*, 60, 605-614.

Grubić, G., Novaković, Ž., Aleksić, S., Sretenović, L., Pantelić, V., & Ostojić-Andrić, D. (2009). Evaluation of the body condition of high yielding cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(1-2), 81-91.

Grummer, R. R., Mashek, D. G., & Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. Veterinary Clinics*: Food Animal Practic*e, 20(3), 447-470.

Gusterer, E., Kanz, P., Krieger, S., Schweinzer, V., Süss, D., Lidauer, L., Kickinger, F., Öhlschuster, M., Auer, W., Drillich, M., & Iwersen, M. (2020). Sensor technology to support herd health monitoring: Using rumination duration and activity measures as unspecific variables for the early detection of dairy cows with health deviations. *Theriogenology*, 157, 61-69.

Gutierrez, K., Kasimanickam, R., Tibary, A., Gay, J. M., Kastelic, J. P., Hall, J. B., & Whittier, W. D. (2014). Effect of reproductive tract scoring on reproductive efficiency in beef heifers bred by timed insemination and natural service versus only natural service. *Theriogenology*, 81(7), 918-924.

Hadley, G. L., Wolf, C. A., & Harsh, S. B. (2006). Dairy cattle culling patterns, explanations, and implications. *Journal of dairy science*, 89(6), 2286-2296.

Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). Smart animal agriculture: application of real-time sensors to improve animal well-being and production. *Annual review of animal biosciences,* 7, 403-425.

Hanuš, O., Hegedüšová, Z., Bjelka, M., Louda, F., & Machálek, A. (2006). Reprodukce dojených krav, její problémy v současných podmínkách a faktory, které ji ovlivňují ve vztahu k produkci mléka. In Sborník příspěvků z mezinárodního semináře na téma: Vliv vybraných faktorů a welfare na zdraví a plodnost dojnic a kvalitu a bezpečnost mléka jako potravinové suroviny. *Rapotín: Výzkumný ústav pro chov skotu sro*, Rapotín, pp. 99-128.

Haskell, M. J., Rooke, J. A., Roehe, R., Turner, S. P., Hyslop, J. J., Waterhouse, A., & Duthie, C. A. (2019). Relationships between feeding behaviour, activity, dominance and feed efficiency in finishing beef steers. *Applied Animal Behaviour Science*, 210, 9-15.

Hassani, F. A., Payam, A. F., & Fathipour, M. (2010). Design of a smart MEMS accelerometer using nonlinear control principles. *Smart Structures and Systems*, 6(1), 1-16.

Havekes, C. D., Duffield, T. F., Carpenter, A. J., & DeVries, T. J. (2020). Effects of wheat straw chop length in high-straw dry cow diets on intake, health, and per-

formance of dairy cows across the transition period. Journal of dairy science, 103(1), 254-271.

Hayirli, A., Grummer, R. R., Nordheim, E. V., & Crump, P. M. (2002). Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *Journal of dairy science*, 85(12), 3430-3443.

He, H., Xu, H., Zhang, Y., Gao, K., Li, H., Ma, L., & Li, J. (2022). Mask R-CNN based automated identification and extraction of oil well sites. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102875.

He, W., Li, C., Nie, X., Wei, X., Li, Y., Li, Y., & Luo, S. (2021). Recognition and detection of aero-engine blade damage based on Improved Cascade Mask R-CNN. *Applied Optics*, 60(17), 5124-5133.

Heinicke, J., Ibscher, S., Belik, V., & Amon, T. (2019). Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of thermal biology*, *82*, 23-32.

Hertl, J. A., Schukken, Y. H., Bar, D., Bennett, G. J., González, R. N., Rauch, B. J., Welcome, F. L., Tauer, L. W., & Gröhn, Y. T. (2011). The effect of recurrent episodes of clinical mastitis caused by gram-positive and gram-negative bacteria and other organisms on mortality and culling in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(10), 4863-4877.

Higaki, S., Miura, R., Suda, T., Andersson, L. M., Okada, H., Zhang, Y., Itoh, T., Miwakeichi, F., & Yoshioka, K. (2019). Estrous detection by continuous measurements of vaginal temperature and conductivity with supervised machine learning in cattle. *Theriogenology*, 123, 90-99.

Holman, A., Thompson, J., Routly, J. E., Cameron, J., Jones, D. N., Grove-White, D., & Dobson, H. (2011). Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *Veterinary Record*, 169(2), 47-47.

Hosey, G., Melfi, V., & Pankhurst, S. (2013). Zoo animals: Behaviour, management, and welfare. *Oxford University Press*.

Hostens, M., Ehrlich, J., Van Ranst, B., & Opsomer, G. (2012). On-farm evaluation of the effect of metabolic diseases on the shape of the lactation curve in dairy cows through the MilkBot lactation model. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 2988-3007.

Hou, Y., Velthof, G. L., & Oenema, O. (2015). Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global change biology*, *21*(3), 1293-1312.

Hrouz, J., & Šubrt, J. (2000). Obecná zootechnika. 1st ed. *Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita*. ISBN 80-7157-426-0. Brno, 205 s.

Hu, H. H., Li, F., Mu, T., Han, L. Y., Feng, X. F., Ma, Y. F., Jiang, Y., Xue, X. S., Du, B. Q., Li, R. R., & Ma, Y. (2023). Genetic analysis of longevity and their associations with fertility traits in Holstein cattle. *Animal*, 17(6), 100851.

Hu, S., Pei, S., Hu, M., Bai, Y., Li, H., Liu, L., Yang, B., Wu, S., & Zhou, Z. (2021). Noise investigation of an electrostatic accelerometer by a high-voltage levita-

tion method combined with a translation–tilt compensation pendulum bench. *Review of Scientific Instruments*, 92(6), 064502. doi: 10.1063/5.0042938.

Cha, E., Hertl, J. A., Schukken, Y. H., Tauer, L. W., Welcome, F. L., & Gröhn, Y. T. (2013). The effect of repeated episodes of bacteria-specific clinical mastitis on mortality and culling in Holstein dairy cows. *Journal of dairy science*, 96(8), 4993-5007.

Chebel, R. C., & Cunha, T. (2020). Optimization of timing of insemination of dairy heifers inseminated with sex-sorted semen. *Journal of dairy science*, 103(6), 5591-5603.

Chen, J., Soede, N. M., van Dorland, H. A., Remmelink, G. J., Bruckmaier, R. M., Kemp, B., & Van Knegsel, A. T. M. (2015). Relationship between metabolism and ovarian activity in dairy cows with different dry period lengths. *Theriogenology*, 84(8), 1387-1396.

Islam, R. (2011). Synchronization of estrus in cattle: a review. Veterinary World, 4(3).

Jamrozik, J., Fatehi, J., Kistemaker, G. J., & Schaeffer, L. R. (2005). Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *Journal of dairy science*, 88(6), 2199-2208.

Jayme, D. G., Oliveira, N. D., Jayme, C. G., Gonçalves, L. C., Glória, J. R., Martins, T., Borges, A. L. C. C., Silva, R. R., & Raposo, V. S. (2018). Bovine natural taming. *In Animal Welfare*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.77728.

Jensen, M. B. (2012). Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied animal behaviour science*, 139(3-4), 195-202.

Jensen, P. (2017). The ethology of domestic animals: *An introductory text* (3rd ed.). CABI.

Jílek, F., Berka, T., Volek, J., & Štípková, M. (2002). Analýza reprodukčních ukazatelů krav jako prostředek ke zlepšení jejich reprodukční výkonnosti. *Zemědělské Informace*, (1). Ústav Zemědělských a Potravinářských Informací, Praha.

Jones, P. J., Sok, J., Tranter, R. B., Blanco-Penedo, I., Fall, N., Fourichon, C., Hogeveen, H., Krieger, M. C., & Sundrum, A. (2016). Assessing, and understanding, European organic dairy farmers' intentions to improve herd health. *Preventive Veterinary Medicine*, 133, 84-96.

Kadokawa, H. (2020). Discovery of new receptors regulating LH and FSH secretion by bovine gonadotrophs to explore a new paradigm for mechanisms regulating reproduction. *Journal of Reproduction and Development*.

Kamentser, B. (1994). New generation of strain gauge accelerometers (No. 942151). *SAE Technical Paper*.

Kamphuis, C., Pietersma, D., Van der Tol, R., Wiedemann, M., & Hogeveen, H. (2008). Using sensor data patterns from an automatic milking system to develop predictive variables for classifying clinical mastitis and abnormal milk. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(2), 169-181.

Kasimanickam, R., Duffield, T. F., Foster, R. A., Gartley, C. J., Leslie, K. E., Walton, J. S., & Johnson, W. H. (2004). Endometrial cytology and ultrasonography for the detection of subclinical endometritis in postpartum dairy cows. *Theriogenology*, 62(1-2), 9-23.

Kaufman, E. I., Asselstine, V. H., LeBlanc, S. J., Duffield, T. F., & DeVries, T. J. (2018). Association of rumination time and health status with milk yield and composition in early-lactation dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(1), 462-471.

Kerbrat, S., Disenhausa, C. (2004). A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. Volume 87, Issues 3–4. 223–238

Khan, I., Qureshi, M. S., Ahmad, S., Akhtar, S., & Khan, H. (2016). Effect of Lactation and Breed on Reproductive Cyclicity Under Various States of Oxidative Stress in Dairy Cattle Breeds. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(5).

Kilgour, R. J., Melville, G. J., & Greenwood, P. L. (2006). Individual differences in the reaction of beef cattle to situations involving social isolation, close proximity of humans, restraint and novelty. *Applied Animal Behaviour Science*, 99(1-2), 21-40.

Kim, D. H., Han, M. R., Lee, G., Lee, S. S., Kim, Y. J., & Adams, M. E. (2015). Rescheduling behavioral subunits of a fixed action pattern by genetic manipulation of peptidergic signaling. *PLoS genetics*, 11(9), e1005513.

Kim, I. H., & Jeong, J. K. (2019). Risk factors limiting first service conception rate in dairy cows and their economic impact. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(4), 519.

Kim, J., Chung, Y., Choi, Y., Sa, J., Kim, H., Chung, Y., Park, D., & Kim, H. (2017). Depth-based detection of standing-pigs in moving noise environments. *Sensors*, 17(12), 2757.

Kok, A., Van Knegsel, A. T. M., Van Middelaar, C. E., Hogeveen, H., Kemp, B., & De Boer, I. J. M. (2015). Validation of sensor-recorded lying bouts in lactating dairy cows using a 2-sensor approach. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7911-7916.

Koketsu, Y., & Iida, R. (2020). Farm data analysis for lifetime performance components of sows and their predictors in breeding herds. *Porcine Health Management*, 6(1), 1-12.

Kumro, F. G., Smith, F. M., Yallop, M. J., Ciernia, L. A., Caldeira, M. O., Moraes, J. G. N., Poock, S. E., & Lucy, M. C. (2021). Simultaneous measurements of estrus behavior and plasma concentrations of estradiol during estrus in lactating and nonlactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 104(2), 2445-2454.

Kvapilík, J., Růžička, Z., & Bucek, P. (2011). Ročenka-Chov skotu v České republice: Hlavní výsledky a ukazatele za rok 2010. *Praha: Českomoravská společnost chovatelů*. ISBN 978-80-904131-6-0.

Langford, F. M., & Stott, A. W. (2012). Culled early or culled late: Economic decisions and risks to welfare in dairy cows. *Animal welfare*, 21(S1), 41-55.

Lanier, J. L., Grandin, T., Green, R. D. A., & McGee, K. (2000). The relationship between reaction to sudden, intermittent movements and sounds and temperament. Journal of Animal Science, 78(6), 1467-1474.

Larsson, B., & Berglund, B. (2000). Reproductive performance in cows with extended calving interval. *Reproduction in Domestic Animals*, 35(6), 277-279.

Lauber, M. R., Cabrera, E. M., Santos, V. G., Carvalho, P. D., Maia, C., Carneiro, B., Valenza, A., Cabrera, V. E., Parrish, J. J., & Fricke, P. M. (2021). Comparison of reproductive management programs for submission of Holstein heifers for first insemination with conventional or sexed semen based on expression of estrus, pregnancy outcomes, and cost per pregnancy. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12953-12967.

LeBlanc, S. (2010). Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of reproduction and Development*, 56(S), S29-S35.

Leliveld, L. M., & Provolo, G. (2020). A review of welfare indicators of indoor-housed dairy cow as a basis for integrated automatic welfare assessment systems. Animals, 10(8), 1430.

Li, R. J., Chang, Z. X., Lei, Y. J., Cheng, Z. Y., Liu, X., Fan, K. C., & Lv, J. (2019). A low-frequency micro accelerometer based on three-lobed leaf spring and a focus probe. *IEEE Photonics Journal*, 11(1), 1-12.

Locurto, C. (2007). Individual differences and animal personality. *Comparative Cognition*, 2, 67-78.

Logue, D. N., & Mayne, C. S. (2014). Welfare-positive management and nutrition for the dairy herd: A European perspective. *The Veterinary Journal*, 199(1), 31-38.

Louda, F., Vaněk, D., Ježková, A., Stádník, L., Bjelka, M., Bezdíček, J., & Pozdíšek, J. (2008). Uplatnění biologických zásad při řízení reprodukce plemenic: metodika. *Rapotín: Výzkumný ústav pro chov skotu*. ISBN 978-80-87144-05-3.

Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Guarino, M. (2020). A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production?. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121409.

Lu, D., Sargolzaei, M., Li, C., Abo-Ismail, M., Vander Voort, G., Wang, Z., Plastow, G., Moore, S., & Miller, S. P. (2013). Association analysis for feed efficiency traits in beef cattle using preserved haplotypes. *Genome*, 56(10), 586-591.

Lu, Q., Wang, Y., Wang, X., Yao, Y., Wang, X., & Huang, W. (2021). Review of micromachined optical accelerometers: from mg to sub-μg. *Opto-Electronic Advances*, 4(3), 200045-1.

Lucy, M. C. (2019). Symposium review: Selection for fertility in the modern dairy cow—Current status and future direction for genetic selection. *Journal of dairy science*, 102(4), 3706-3721.

Lukas, J. M., Reneau, J. K., Wallace, R. L., & De Vries, A. (2015). A study of methods for evaluating the success of the transition period in early-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science,* 98(1), 250-262.

Macmillan, K., Gobikrushanth, M., & Colazo, M. G. (2022). Activity and rumination changes as predictors of calving in primiparous and multiparous Holstein cows. *Livestock Science*, 260, 104944.

Maekawa, M., Beauchemin, K. A., & Christensen, D. A. (2002). Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *Journal of dairy science,* 85(5), 1176-1182.

Maertens, W., Vangeyte, J., Baert, J., Jantuan, A., Mertens, K. C., De Campeneere, S., Pluk, A., Opsomer, G., Van Weyenberg, S., & Van Nuffel, A. (2011). Development of a real time cow gait tracking and analysing tool to assess lameness using a pressure sensitive walkway: The Gaitwise system. *Biosystems Engineering*, 110(1), 29-39.

Miller, G. A., Mitchell, M., Barker, Z. E., Giebel, K., Codling, E. A., Amory, J. R., ... & Duthie, C. A. (2020). Using animal-mounted sensor technology and machine learning to predict time-to-calving in beef and dairy cows. *Animal*, 14(6), 1304-1312.

Malayappan, B., & Pattnaik, P. K. (2021). Optical MEMS Accelerometers: A Review. *Microelectronics and Signal Processing*, 87-108.

Martin, J. L., Creighton, K. W., Musgrave, J. A., Klopfenstein, T. J., Clark, R. T., Adams, D. C., & Funston, R. N. (2008). Effect of prebreeding body weight or progestin exposure before breeding on beef heifer performance through the second breeding season. *Journal of animal science*, 86(2), 451-459.

Mattachini, G., Riva, E., Bisaglia, C., Pompe, J. C. A. M., & Provolo, G. (2013). Methodology for quantifying the behavioral activity of dairy cows in freestall barns. *Journal of Animal Science,* 91(10), 4899-4907.

Mayo, L. M., Silvia, W. J., Ray, D. L., Jones, B. W., Stone, A. E., Tsai, I. C., Clark, J. D., Bewley, J. M., & Heersche Jr, G. (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2645-2656.

Meen, G. H., Schellekens, M. A., Slegers, M. H. M., Leenders, N. L. G., van Erp-van der Kooij, E., & Noldus, L. P. (2015). Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 111-115.

Mellor, D. J. (2015). Positive animal welfare states and encouraging environment-focused and animal-to-animal interactive behaviours. *New Zealand veterinary journal*, 63(1), 9-16.

Meunier, B., Pradel, P., Sloth, K. H., Cirié, C., Delval, E., Mialon, M. M., & Veissier, I. (2018). Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. *Biosystems engineering*, *173*, 32-44.

Michaelis, I., Burfeind, O., & Heuwieser, W. (2014). Evaluation of oestrous detection in dairy cattle comparing an automated activity monitoring system to visual observation. *Reproduction in Domestic Animals*, 49(4), 621-628.

Mills, D., Marchant-Forde, J., McGreevy, P., Morton, D., Nicol, C., Phillips, C., Sandøe, P., & Swaisgood, R. (Eds.). (2010). *The Encyclopedia of Applied Animal Behaviour and Welfare*. CABI. ISBN: 9780851997247.

Mimoune, N., Azzouz, M. Y., Khelef, D., & Kaidi, R. (2021). Ovarian cysts in cattle: a review. *Veterinarska stanica*, 52(5), 587-603.

Mizuno, T., Kawada, H., Ishino, Y., Yamaguchi, D., & Takasaki, M. (2020). Proposal of accelerometer using zero-compliance mechanism. In The Proceedings of the 15th International Conference on Motion and Vibration Control 2020.15 (Session ID: 10053). *The Japan Society of Mechanical Engineers*.

Morotti, F., Lorenzetti, E., & Seneda, M. M. (2021). Artificial Insemination Program in Cattle. In V. K. Yata, A. K. Mohanty, & E. Lichtfouse (Eds.), *Sustainable Agriculture Reviews* 54: Animal Biotechnology for Livestock Production 1 (pp. 1-53). Springer International Publishing.

Mulligan, F. J., O'grady, L., Rice, D. A., & Doherty, M. L. (2006). A herd health approach to dairy cow nutrition and production diseases of the transition cow. *Animal Reproduction Science*, 96(3-4), 331-353.

Nawroth, C., Langbein, J., Coulon, M., Gabor, V., Oesterwind, S., Benz-Schwarzburg, J., & Von Borell, E. (2019). Farm animal cognition—linking behavior, welfare and ethics. *Frontiers in veterinary science*, 6, 24.

Nelson, S. T., Haadem, C. S., Nødtvedt, A., Hessle, A., & Martin, A. D. (2017). Automated activity monitoring and visual observation of estrus in a herd of loose housed Hereford cattle: Diagnostic accuracy and time to ovulation. *Theriogenology*, 87, 205-211.

Novák, P., Malá, G., Pekáriková, L. (2016). Průvodce chovatele dojeného skotu. *VÚŽV Praha,* ISBN 978-80-7403-153-3.

Nielsen, P. P., Fontana, I., Sloth, K. H., Guarino, M., & Blokhuis, H. (2018). Validation and comparison of 2 commercially available activity loggers. *Journal of dairy science*, *101*(6), 5449-5453.

Nicholson, J. D. W., Nicholson, K. L., Frenzel, L. L., Maddock, R. J., Delmore Jr, R. J., Lawrence, T. E., Henning, W. R., Pringle, T. D., Johnson, D. D., Paschal, J. C., Gill, R. J., Cleere, J. J., Carpenter, B. B., Machen, R. V., Banta, J. P., Hale, D. S., Griffin, D. B., & Savell, J. W. (2013). Survey of transportation procedures, management practices, and health assessment related to quality, quantity, and value for market beef and dairy cows and bulls. *Journal of Animal Science*, 91(10), 5026-5036.

Niloofar, P., Francis, D. P., Lazarova-Molnar, S., Vulpe, A., Vochin, M. C., Suciu, G., Balanescu, M., Anestis, V., & Bartzanas, T. (2021). Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and green-

house gas emissions: Overview and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106406.

Niozas, G., Tsousis, G., Steinhöfel, I., Brozos, C., Römer, A., Wiedemann, S., Bollwein, H., & Kaske, M. (2019). Extended lactation in high-yielding dairy cows. I. Effects on reproductive measurements. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 799-810.

Nor, N. M., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2014). The average culling rate of Dutch dairy herds over the years 2007 to 2010 and its association with herd reproduction, performance and health. *Journal of Dairy Research*, 81(1), 1-8.

Nordlund, K. V., & Halbach, C. E. (2019). Calf barn design to optimize health and ease of management. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 35(1), 29-45.

Ogawa, S., & Satoh, M. (2021). Random regression analysis of calving interval of Japanese Black cows. *Animals*, 11(1), 202.

OIE World Organisation for Animal Health (2013): *Animal welfare* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: http://www.oie.int/doc/ged/D14041.PDF

Österman, S., & Bertilsson, J. (2003). Extended calving interval in combination with milking two or three times per day: effects on milk production and milk composition. *Livestock production science*, 82(2-3), 139-149.

Owusu-Sekyere, E., Nyman, A. K., Lindberg, M., Adamie, B. A., Agenäs, S., & Hansson, H. (2023). Dairy cow longevity: Impact of animal health and farmers' investment decisions. *Journal of Dairy Science*, *106*(5), 3509-3524.

Pahl, C., Hartung, E., Grothmann, A., Mahlkow-Nerge, K. And Haeussermann, A. (2014). Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving. *Journal of Dairy Science*, 97(11): 6935–6941.

Pal, P., & Dar, M. R. (2020). Induction and synchronization of estrus. Animal Reproduction in *Veterinary Medicine*, 1-14.

Pandeya, Y. R., Bhattarai, B., & Lee, J. (2020). Visual object detector for cow sound event detection. *IEEE Access*, 8, 162625-162633.

Peng, B., Hu, K. M., Shao, L., Yan, H., Li, L., Wei, X., & Zhang, W. M. (2019). A sensitivity tunable accelerometer based on series-parallel electromechanically coupled resonators using mode localization. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 29(1), 3-13.

Peters, A., Ball, P. J. H. (2004). Reproduction in cattle. *Blackwell publ. Oxford*. 234 p. ISBN 0632041099

Pfeiffer, J., Gandorfer, M., & Ettema, J. F. (2020). Evaluation of activity meters for estrus detection: A stochastic bioeconomic modeling approach. *Journal of dairy science*, 103(1), 492-506.

Pinedo, P. J., De Vries, A., & Webb, D. W. (2010). Dynamics of culling risk with disposal codes reported by Dairy Herd Improvement dairy herds. *Journal of dairy science*, 93(5), 2250-2261.

Pitcher, B. J., Briefer, E. F., Vannoni, E., & McElligott, A. G. (2014). Fallow bucks attend to vocal cues of motivation and fatigue. *Behavioral Ecology*, 25(2), 392-401.

Plenio, J. L., Bartel, A., Madureira, A. M. L., Cerri, R. L. A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2021). Application note: Validation of BovHEAT—An open-source analysis tool to process data from automated activity monitoring systems in dairy cattle for estrus detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 188, 106323.

Poborská, A., Šoch, M., Zábranský, L., Frelich, J., Smutný, L., Brouček, J., & Švejdová, K. (2016). Monitoring vybraných onemocnění dojnic elektronickým systémem Vitalimetr [Monitoring of selected diseases of dairy cows by electronic system Vitalimetr]. *Výzkum v chovu skotu, 58*(4), 33-39.

Pontes, J. H. F., Nonato-Junior, I., Sanches, B. V., Ereno-Junior, J. C., Uvo, S., Barreiros, T. R. R., Oliveira, J. A., Hasler, J. F., & Seneda, M. M. (2009). Comparison of embryo yield and pregnancy rate between in vivo and in vitro methods in the same Nelore (Bos indicus) donor cows. *Theriogenology, 71*(4), 690-697. doi: 10.1016/j.theriogenology.2008.09.031

Poursaberi, A., Bahr, C., Pluk, A., Van Nuffel, A., & Berckmans, D. (2010). Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques. *Computers and electronics in agriculture*, 74(1), 110-119.

Probo, M., Pascottini, O. B., LeBlanc, S., Opsomer, G., & Hostens, M. (2018). Association between metabolic diseases and the culling risk of high-yielding dairy cows in a transition management facility using survival and decision tree analysis. *Journal of dairy science*, 101(10), 9419-9429.

Pryce, J. E., Royal, M. D., Garnsworthy, P. C., & Mao, I. L. (2004). Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock production science*, 86(1-3), 125-135.

Puerto, M. A., Shepley, E., Cue, R. I., Warner, D., Dubuc, J., & Vasseur, E. (2021). The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows. *Journal of dairy science*, 104(7), 7932-7943.

Rafiq, A. A., Rohman, W. N., & Riyanto, S. D. (2020). Development of a simple and low-cost smartphone gimbal with MPU-6050 sensor. *Journal of Robotics and Control* (JRC), 1(4), 136-140.

Rajesh, I., Gobikrushanth, M., Carrelli, J. E., Oba, M., & Ambrose, D. J. (2022). Repeatability of anogenital distance measurements from birth to maturity and at different physiological states in female Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2699-2707.

Ratwan, P., Chakravarty, A. K., & Kumar, M. (2022). Assessment of relation among production and reproduction traits in Sahiwal cattle at an organized herd of northern India. *Biological Rhythm Research*, 53(1), 70-78.

Rau, L. M., Chelotti, J. O., Vanrell, S. R., & Giovanini, L. L. (2020, February). Developments on real-time monitoring of grazing cattle feeding behavior using sound. *In 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology* (ICIT) (pp. 771-776). IEEE.

Reguieg, S. K., Ghemari, Z., Benslimane, T., & Saad, S. (2019). Modeling and enhancement of piezoelectric accelerometer relative sensitivity. *Sensing and Imaging*, 20, 1-14.

Reith, S., & Hoy, S. (2012). Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6416-6420.

Reith, S., & Hoy, S. (2018). Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal*, *12*(2), 398-407.

Reith, S., Fengels, I., & St, H. (2012). Investigations on heat detection in dairy cows by automatically measured rumination. *Züchtungskunde*, 84(4), 281-292.

Roberts, T., Chapinal, N., LeBlanc, S. J., Kelton, D. F., Dubuc, J., & Duffield, T. F. (2012). Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal of dairy science,* 95(6), 3057-3063.

Roelofs, J. B., van Eerdenburg, F. J., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005). Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 64(8), 1690-1703.

Roelofs, J., Lopez-Gatius, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F. J. C. M., & Hanzen, C. H. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74(3), 327-344.

Roelofs, J. B., & Van Erp-van der Kooij, E. (2018). Estrus detection tools and their applicability in cattle: recent and perspectival situation. Animal Reproduction (AR), 12(3), 498-504.

Rorie, R. W., Bilby, T. R., & Lester, T. D. (2002). Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theriogenology*, 57(1), 137-148.

Röttgen, V., Schön, P. C., Becker, F., Tuchscherer, A., Wrenzycki, C., Düpjan, S., & Puppe, B. (2020). Automatic recording of individual oestrus vocalisation in group-housed dairy cattle: development of a cattle call monitor. Animal, 14(1), 198-205.

Rutllant, J., López-Béjar, M., & López-Gatius, F. (2005). Ultrastructural and rheological properties of bovine vaginal fluid and its relation to sperm motility and fertilization: a review. Reproduction in Domestic Animals, 40(2), 79-86.

Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of dairy science*, 96(4), 1928-1952.

Říha, J. (1996). Reprodukce ve stádě skotu. *Rapotín: Svaz chovatelů českého strakatého skotu*.

Říha, J., Jakubec, V., & Jílek, F. (2004). Reprodukce v procesu šlechtění skotu. *Rapotín: Asociace chovatelů masných plemen*. ISBN 80-903-1435-X.

Sá Filho, M. F., Ayres, H., Ferreira, R. M., Marques, M. O., Reis, E. L., Silva, R. C. P., Rodrigues, C. A., Madureira, E. H., Bó, G. A., & Baruselli, P. S. (2010). Equine chorionic gonadotropin and gonadotropin-releasing hormone enhance fertility in a norgestomet-based, timed artificial insemination protocol in suckled Nelore (Bos indicus) cows. *Theriogenology*, 73(5), 651-658.

Saadat, S. (2021). Investigation of Effective Factors on Calving Interval of Cows in Faryab Province. *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 8(2), 63-68.

Sadiq, M., Ramanoon, S., Mossadeq, V. M. S., Mansor, R., & Syed-Hussain, S. S. (2017). Association between Lameness and indicators of Dairy Cow Welfare based on Location Scoring, Body and Hock Condition, Leg Hygiene and lying Behavior. *Animals*, volume 7 (11): 79.

Saint-Dizier, M., & Chastant-Maillard, S. (2015). Methods and on-farm devices to predict calving time in cattle. *The Veterinary Journal*, 205(3), 349-356.

Sakaguchi, M., Fujiki, R., Yabuuchi, K., Takahashi, Y., & Aoki, M. (2007). Reliability of estrous detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *Journal of reproduction and development*, 53(4), 819-828.

Sammad, A., Umer, S., Shi, R., Zhu, H., Zhao, X., & Wang, Y. (2020). Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 104(4), 978-986.

Sant'Anna, A. C., & da Costa, M. J. P. (2013). Validity and feasibility of qualitative behavior assessment for the evaluation of Nellore cattle temperament. *Livestock Science*, 157(1), 254-262.

Sartori, R., Fricke, P. M., Ferreira, J. C., Ginther, O. J., & Wiltbank, M. C. (2001). Follicular deviation and acquisition of ovulatory capacity in bovine follicles. *Biology of reproduction*, 65(5), 1403-1409.

Sauls-Hiesterman, J. A., Voelz, B. E., & Stevenson, J. S. (2020). A shortened resynchronization treatment for dairy cows after a nonpregnancy diagnosis. *Theriogenology*, 141, 105-112.

Seifi, H. A., LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., & Duffield, T. F. (2011). Metabolic predictors of post-partum disease and culling risk in dairy cattle. *The veterinary journal*, 188(2), 216-220.

Shahriar, M. S., Smith, D., Rahman, A., Freeman, M., Hills, J., Rawnsley, R., Henry, D., & Bishop-Hurley, G. (2016). Detecting heat events in dairy cows using accelerometers and unsupervised learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 20-26.

Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Heuwieser, W., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2011). Short-term effects of regrouping on behavior of prepartum dairy cows. *Journal of dairy science*, 94(5), 2312-2319.

Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Vickers, L., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2013). Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *Journal of dairy science*, 96(11), 7088-7092.

Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A., Weary, D. M., Veira, D. M., & Heuwieser, W. (2009). Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *92*(12), 6052-6055.

Schmitz, L., Ebinghaus, A., Ivemeyer, S., Domas, L., & Knierim, U. (2020). Validity aspects of behavioural measures to assess cows' responsiveness towards humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 228, 105011.

Siddiqui, M. A. R., Das, Z. C., Bhattacharjee, J., Rahman, M. M., Islam, M. M., Haque, M. A., Parrish, J. J., & Shamsuddin, M. (2013). Factors affecting the first service conception rate of cows in smallholder dairy farms in Bangladesh. *Reproduction in Domestic Animals*, 48(3), 500-505

Siivonen, J., Taponen, S., Hovinen, M., Pastell, M., Lensink, B. J., Pyörälä, S., & Hänninen, L. (2011). Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 132(3-4), 101-106.

Silva J.R.V., Figueiredo J.R., Van Den Hurk R., (2009). Involvement of growth hormone (GH) and insulin-like growth factor (IGF) system in ovarian folliculogenesis. *Theriogenology*, 71: 1193¬–1208.

Silva, M., Ferrari, S., Costa, A., Aerts, J. M., Guarino, M., & Berckmans, D. (2008). Cough localization for the detection of respiratory diseases in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 286-292.

Singh, J., Pierson, R. A., & Adams, G. P. (1997). Ultrasound image attributes of the bovine corpus luteum: structural and functional correlates. *Journal of reproduction and fertility,* 109(1), 35-44.

Sloth, K. H., & Frederiksen, D. (2019). Computer system for measuring real time position of a plurality of animals. *U.S. Patent No. 10,234,535*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Sobek, Z., Rozanska-Zawieja, J., Siatkowski, I., Szabelska-Beresewicz, A., & Zyprych-Walczak, J. (2022). Assessment of the accuracy of selected models used to estimate the heritability coefficient in a cattle population. *Animal Science and Genetics*, 18(1).

Solano, L., Barkema, H. W., Pajor, E. A., Mason, S., LeBlanc, S. J., Nash, C. G. R., Haley, D. B., Pellerin, D., Rushen, J., de Passillé, A. M., Vasseur, E., & Orsel, K. (2016). Associations between lying behavior and lameness in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 2086-2101.

Stádník, L., Bezdíček, J., Makarevich, A., Kubovičová, E., Louda, F., Fellnerová, I., Hegedüšová, Z., & Holásek, R. (2017). Ovarian activity and embryo yield in relation to the postpartum period in superovulated dairy cows. *Acta Veterinaria BRNO*, 86(1), 51-57. https://doi.org/10.2754/avb201786010051

Staněk, S., Zink, V. Doležal, O., Štolc, L. (2014). Survey of preweaning dairy calf-rearing practices in Czech dairy herds. *Journal of Dairy Science,* 97:3973-3981.

Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. (2016). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7395-7410.

Stanojević, D., Djedović, R., Bogdanović, V., Raguz, N., Popovac, M., Janković, D., & Strbac, L. (2016). Evaluation of the heritability coefficients of longevity in the population of Black and White cows in Serbia. *Mljekarstvo*, 66(4), 322-329.

Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2015). Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 709-717.

Stötzel, C., Plöntzke, J., Heuwieser, W., & Röblitz, S. (2012). Advances in modeling of the bovine estrous cycle: Synchronization with PGF2α. *Theriogenology*, 78(7), 1415-1428.

Sundrum, A. (2015). Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Animals*, *5*(4), 978-1020.

Szyda, J., Morek-Kopeć, M., Komisarek, J., & Żarnecki, A. (2011). Evaluating markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle. *BMC genetics*, 12(1), 1-7.

Šárová, R., Valníčková, B., Moravcsíková, Á., Staněk, S., & Bartošová, J. (2020). Základy etologie dojeného skotu pro chovatele. *Výzkumný ústav živočišné výroby*, v.v.i.

Šlosárková, S., Pechová, A., Fleischer, P., & Staněk, S. (2016). Monitoring of dairy cattle diseases in the Czech Republic. *Veterinářství*, 66(11), 859-865.

Tian, B., Liu, H., Yang, N., Zhao, Y., & Jiang, Z. (2016). Design of a piezoelectric accelerometer with high sensitivity and low transverse effect. *Sensors*, 16(10), 1587.

Tippenhauer, C. M., Plenio, J. L., Madureira, A. M. L., Cerri, R. L. A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2021). Timing of artificial insemination using fresh or frozen semen after automated activity monitoring of estrus in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 3585-3595.

Toledo-Alvarado, H., Vazquez, A. I., de Los Campos, G., Tempelman, R. J., Gabai, G., Cecchinato, A., & Bittante, G. (2018). Changes in milk characteristics and fatty acid profile during the estrous cycle in dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(10), 9135-9153.

Tolkamp, B. J., Haskell, M. J., Langford, F. M., Roberts, D. J., & Morgan, C. A. (2010). Are cows more likely to lie down the longer they stand? *Applied Animal Behaviour Science*, 124(1-2), 1-10.

Touboul, P., Métris, G., Lebat, V., & Robert, A. (2012). The Microscope experiment, ready for the in-orbit test of the equivalence principle. *Classical and Quantum Gravity*, 29(18), 184010.

Toušová, R., Ducháček, J., Codl, R., Pytlík, J., Ptáček, M., Gašparík, M., & Stádník, L. (2020). Rumination Time Monitoring as a Possible Tool to Improve Diagnostics of Heat and Parturition. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 68(1), 109-117.

Tsai, Y. C., Hsu, J. T., Ding, S. T., Rustia, D. J. A., & Lin, T. T. (2020). Assessment of dairy cow heat stress by monitoring drinking behaviour using an embedded imaging system. *Biosystems Engineering*, 199, 97-108.

Tu, S., Liu, H., Li, J., Huang, J., Li, B., Pang, J., & Xue, Y. (2020). Instance segmentation based on mask scoring R-CNN for group-housed pigs. *In 2020 International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)* (pp. 458-462). IEEE.

Tucker, C. B., Jensen, M. B., de Passillé, A. M., Hänninen, L., & Rushen, J. (2021). Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 20-46.

Tullo, E., Fontana, I., Gottardo, D., Sloth, K. H., & Guarino, M. (2016). Validation of a commercial system for the continuous and automated monitoring of dairy cow activity. *Journal of Dairy Science*, *99*(9), 7489-7494.

Turner, K. E., Thompson, A., Harris, I., Ferguson, M., & Sohel, F. (2022). Deep learning based classification of sheep behaviour from accelerometer data with imbalance. *Information Processing in Agriculture*.

Tyson, J. T., Graves, R. E., & McFarland, D. F. (2010). Designing and building dairy cattle freestalls. In 2010 Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-June 23, 2010 (p. 1). *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* doi:10.13031/2013.29765.

Van De Gucht, T., Saeys, W., Van Nuffel, A., Pluym, L., Piccart, K., Lauwers, L., Vangeyte, J., & Van Weyenberg, S. (2017). Farmers' preferences for automatic lameness-detection systems in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5746-5757.

Van Den Hurk, R., & Zhao, J. (2005). Formation of mammalian oocytes and their growth, differentiation and maturation within ovarian follicles. *Theriogenology*, 63(6), 1717-1751.

Van der Tol, R., & van der Kamp, A. (2010). Time series analysis of live weight as health indicator. In Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management (pp. 230-231). *Lely Industries NV*, Dairy Equipment.

Van Eerdenburg, F. J. C. M., Karthaus, D., Taverne, M. A. M., Mercis, I., & Szenci, O. (2002). The relationship between estrous behavioral score and time of ovulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science,* 85(5), 1150-1156.

Van Hertem, T., Viazzi, S., Steensels, M., Maltz, E., Antler, A., Alchanatis, V., Schlageter-Tello, A., Lokhorst, C., Romanini, C. E. B., Bahr, C., Berckmans, D., & Halachmi, I. (2014). Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering,* 119, 108-116.

VanRaden, P. M., Sanders, A. H., Tooker, M. E., Miller, R. H., Norman, H. D., Kuhn, M. T., & Wiggans, G. R. (2004). Development of a national genetic evaluation for cow fertility. *Journal of dairy science*, 87(7), 2285-2292.

Viazzi, S., Bahr, C., Van Hertem, T., Schlageter-Tello, A., Romanini, C. E. B., Halachmi, I., Lokhorst, C., & Berckmans, D. (2014). Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 139-147.

Vidic, J., Manzano, M., Chang, C. M., & Jaffrezic-Renault, N. (2017). Advanced biosensors for detection of pathogens related to livestock and poultry. *Veterinary research*, *48*(1), 1-22.

Voß, A. L., Fischer-Tenhagen, C., Bartel, A., & Heuwieser, W. (2021). Sensitivity and specificity of a tail-activity measuring device for calving prediction in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 3353-3363.

Wagner, N., Mialon, M. M., Sloth, K. H., Lardy, R., Ledoux, D., Silberberg, M., de Boyer des Roches, A., & Veissier, I. (2021). Detection of changes in the circadian rhythm of cattle in relation to disease, stress, and reproductive events. *Methods*, 186, 14-21.

Wahjuningsih, B. (2023). Successful Pregnancy Results from Double Dosage Artificial Insemination in Different Estrous Characteristics in Madura Cattle. *In Proceedings of the 3rd International Conference on Environmentally Sustainable Animal Industry* 2022 (ICESAI 2022) (Vol. 28, p. 258). Springer Nature.

Waiblinger, S., Boivin, X., Pedersen, V., Tosi, M. V., Janczak, A. M., Visser, E. K., & Jones, R. B. (2006). Assessing the human–animal relationship in farmed species: a critical review. *Applied animal behaviour science*, 101(3-4), 185-242.

Waiblinger, S., Menke, C., & Fölsch, D. W. (2003). Influences on the avoidance and approach behaviour of dairy cows towards humans on 35 farms. Applied Animal Behaviour Science, 84(1), 23-39.

Wang, J., He, Z., Zheng, G., Gao, S., & Zhao, K. (2018). Development and validation of an ensemble classifier for real-time recognition of cow behavior patterns from accelerometer data and location data. PloS one, *13*(9), e0203546.

Wang, J., Si, Y., Wang, J., Li, X., Zhao, K., Liu, B., & Zhou, Y. (2023). Discrimination strategy using machine learning technique for oestrus detection in dairy cows by a dual-channel-based acoustic tag. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107949.

Wang, R., Bai, Q., Gao, R., Li, Q., Zhao, C., Li, S., & Zhang, H. (2022). Oestrus detection in dairy cows by using atrous spatial pyramid and attention mechanism. *Biosystems Engineering*, 223, 259-276.

Wang, Y., Mücher, S., Wang, W., Guo, L., & Kooistra, L. (2023). A review of three-dimensional computer vision used in precision livestock farming for cattle growth management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 206, 107687.

Webster, J. R., Stewart, M., Rogers, A. R., & Verkerk, G. A. (2008). Assessment of welfare from physiological and behavioural responses of New Zealand dairy cows exposed to cold and wet conditions. *Animal Welfare*, 17(1), 19-26.

Wemelsfelder, F., Hunter, E. A., Mendl, M. T., & Lawrence, A. B. (2000). The spontaneous qualitative assessment of behavioural expressions in pigs: first explorations of a novel methodology for integrative animal welfare measurement. *Applied animal behaviour science*, 67(3), 193-215.

Westin, R., Vaughan, A., de Passillé, A. M., DeVries, T. J., Pajor, E. A., Pellerin, D., Siegford, J. M., Vasseur, E., & Rushen, J. (2016). Lying times of lactating cows on dairy farms with automatic milking systems and the relation to lameness, leg lesions, and body condition score. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 551-561.

Wiener, P. (2015). Genetics of behaviour in cattle. In The Genetics of Cattle (pp. 598). *Edinburg: Academic Press*. doi: 10.1079/9781780642215.0598.

Williamson, N. B., Morris, R. S., Blood, D. C., Cannon, C. M., & Wright, P. J. (1972). A study of oestrous behaviour and oestrus detection methods in a large commercial dairy herd. II. Oestrous signs and behaviour patterns. *The Veterinary Record*, 91(3), 58-62.

Winckler, C., Capdeville, J., Gebresenbet, G., Hörning, B., Roiha, U., Tosi, M., & Waiblinger, S. (2003). Selection of parameters for on-farm welfare-assessment protocols in cattle and buffalo. *Animal Welfare*, 12(4), 619-624.

Windschnurer, I., Boivin, X., & Waiblinger, S. (2009). Reliability of an avoidance distance test for the assessment of animals' responsiveness to humans and a preliminary investigation of its association with farmers' attitudes on bull fattening farms. *Applied Animal Behaviour Science*, 117(3-4), 117-127.

Xu, R., Zhou, S., & Li, W. J. (2011). MEMS accelerometer based nonspecific-user hand gesture recognition. *IEEE sensors journal*, 12(5), 1166-1173.

Yajuvendra, S., Lathwal, S. S., Rajput, N., Raja, T. V., Gupta, A. K., Mohanty, T. K., Ruhil, A. P., Chakravarty, A. K., Sharma, P. C., Sharma, V., & Chandra, G. (2013). Effective and accurate discrimination of individual dairy cattle through acoustic sensing. *Applied Animal Behaviour Science, 146*(1-4), 11-18.

Yaniz, J. L., Murugavel, K., & López-Gatius, F. (2004). Recent developments in oestrous synchronization of postpartum dairy cows with and without ovarian disorders. *Reproduction in domestic animals*, 39(2), 86-93.

Yeates, J. W., & Main, D. C. (2008). Assessment of positive welfare: A review. *The Veterinary Journal*, 175(3), 293-300.

Yilma, T. (2020). Recent development on potential use of intravaginal electrical impedance in female farm animal reproduction-a review. *International Journal of Veterinary Science*, 9(1), 10-15.

Zebari, H. M., Rutter, S. M., & Bleach, E. C. (2022). The relationship between milk oestradiol concentrations and oestrus activity in lactating Holstein–Friesian cows. *Animal Production Science*, 63(5), 441-449.

Zhang, M., Xu, X., Wan, H., Ruan, X., Zhou, D., & He, Z. (2022). Failure Analysis of Accelerometer Servo Circuit Caused by Electrical Damage to Differential Capacitance Detector. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22(3), 926-933.

Zhuang, X., & Zhang, T. (2019). Detection of sick broilers by digital image processing and deep learning. *Biosystems Engineering*, 179, 106-116.

Zuluaga, J. F., Saldarriaga, J. P., Cooper, D. A., Cartmill, J. A., & Williams, G. L. (2010). Presynchronization with gonadotropin-releasing hormone increases the proportion of Bos indicu s-influenced females ovulating at initiation of synchronization but fails to improve synchronized new follicular wave emergence or fixed-time artificial insemination conception rates using intravaginal progesterone, gonadotropin-releasing hormone, and prostaglandin F2α. *Journal of animal science*, 88(5), 1663-1671.

Citace webových zdrojů

- **Bez uvedeného autora**

ČTU (2019), Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/01.2019-1 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. [on line]
Dostupné z: https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne opravneni-c.vo-r/10/01.2019-1/obrazky/vo-r10-012019-1.pdf

Hope (2006), RFM95/96/98(W) - Low Power Long Range Transceiver Module [on line]
Dostupné z: https://www.hoperf.com/api/downfile?title=&uid=1E586A68-2232-4F5A-8F93-64ACBABB559A

LoRa Alliance (2024), LoRaWan informations [online]
Dostupné z: https://lora-alliance.org/

NXP (2017), MMA8453Q, 3-axis, 10-bit/8-bit digital accelerometer [online]
Dostupné z: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA8453Q.pdf

NXP (2011), LPC2141/42/44/46/48 Single-chip 16-bit/32-bit microcontrollers; up to 512 kB flash with ISP/IAP, USB 2.0 full-speed device, 10-bit ADC and DAC [online]
Dostupné z: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/ LPC2141_42_44_46_48.pdf

SAFT (2024), 3.6 V Primary lithium-thionyl chloride (Li-SOCl2) High energy density AA-size bobbin cell [online]
Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/ 675bc13462a8c9578549ecf09cc4c465/SAFT-LS14500.pdf

Texas Instruments (2024), MSP430G2402 16 MHz MCU with 8KB Flash, 256B SRAM, SPI/I2C, timer [online]
Dostupné z: https://www.ti.com/product/MSP430G2402#support-training

– **S uvedeným autorem**

Píša, P. (2019), Komunikační protokol uLan. [on line]

Dostupné z: http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/dipl_kom.html

7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Akcelerometr, zdroj: Internet - freescale.com.....59
Obrázek 2: Blokové schéma MSP430G2x32, zdroj: Internet - ti.com.....60
Obrázek 3: Rádiový modul RFM95W, zdroj: Internet - hoperf.com.....61
Obrázek 4: Elektronika snímací zařízení EROS, zdroj: vlastní.....62
Obrázek 5: Snímací zařízení EROS na krk, zdroj: vlastní.....63
Obrázek 6: Hodnoty zrychlení v osách X, Y, Z během ležení a stání, zdroj: vlastní....64
Obrázek 7: Snímací zařízení EROS na noze, zdroj: vlastní.....64
Obrázek 8: Přijímací anténa EROS 868MHz, zdroj: vlastní.....65
Obrázek 9: uLan2USB adapter, zdroj: vlastní.....66
Obrázek 10: Snímání dat na Farmě A, zdroj: vlastní.....68
Obrázek 11: struktura snímání dat, zdroj: vlastní.....69
Obrázek 12: hodnoty změn zrychlení v čase – na krku, zdroj: vlastní.....73
Obrázek 13: hodnoty změn zrychlení během přežvykování – na krku, zdroj: vlastní 74
Obrázek 14: hodnoty změn zrychlení v čase – na krku, zdroj: vlastní.....75
Obrázek 15: hodnoty zrychlení v čase během chůze – na noze, zdroj: vlastní.....77
Obrázek 16: GNU Octave – ukázka kódu detekčního algoritmu, zdroj: vlastní.....79
Obrázek 17: Farmsoft – úvodní obrazovka, zdroj: vlastní.....81
Obrázek 18: FCS – architektura komunikačního programu Farmsoft, zdroj: vlastní..82
Obrázek 19: Graf vyhodnocovacího algoritmu žraní a přežvykování, zdroj: vlastní. .87
Obrázek 20: Graf počtu březích inseminací v závislosti na HOR, zdroj: vlastní.....88
Obrázek 21: Graf procentuální úspěšnost zabřez. v závislosti na HOR, zdroj: vlastní89
Obrázek 22: Vyplněný etogram a předený do Excelu, zdroj: vlastní.....92
Obrázek 23: Grafická podoba etogramu, zdroj: vlastní.....93
Obrázek 24: Grafická podoba etogramu přežvykování, zdroj: vlastní.....93
Obrázek 25: Grafická podoba etogramu žraní, zdroj: vlastní.....94
Obrázek 26: Grafy korelací pro pohyb, žraní, přežvykování, zdroj: vlastní.....96
Obrázek 27: Grafy distribuce absolutní chyby žraní, zdroj: vlastní.....98
Obrázek 28: Grafy distribuce absolutní chyby přežvykování, zdroj: vlastní.....99
Obrázek 29: Farmsoft – denní hlášení, zdroj: vlastní.....101
Obrázek 30: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní.....102

Obrázek 31: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní.....103
Obrázek 32: Farmsoft – indikátor fáze říje, zdroj: vlastní.....104
Obrázek 33: Farmsoft – grafy aktivity, žraní, přežvykování, zdroj: vlastní.....105
Obrázek 34: Farmsoft – hodinový grafy aktivity, žraní, přežvyk., zdroj: vlastní.....106
Obrázek 35: Farma A, zdroj: Internet.....141
Obrázek 36: Farma B před rekonstrukcí, zdroj: Internet.....141
Obrázek 37: Farma B po rekonstrukci, zdroj: vlastní.....142
Obrázek 38: Farma C, zdroj: Internet.....142
Obrázek 39: EROS na krk – produkční verze, zdroj: https://www.farmtec.cz.....143
Obrázek 40: EROS na krku – produkční verze, zdroj: https://www.farmtec.cz.....143
Obrázek 41: Farma B - EROS na noze, zdroj: vlastní.....144
Obrázek 42: Farma B - EROS na noze, zdroj: vlastní.....144
Obrázek 43: Farmsoft – hodinový grafy aktivity na noze, zdroj: vlastní.....145
Obrázek 44: Ocenění v soutěži GRAND PRIX TECHAGRO 2016, zdroj: vlastní.....146
Obrázek 45: Schéma zapojení snímacího zařízení EROS, zdroj: vlastní.....147
Obrázek 46: Plošný spoj - SMT, zdroj: vlastní.....148
Obrázek 47: Plošný spoj - SST, zdroj: vlastní.....148
Obrázek 48: Schéma zapojení přijímací antény EROS, zdroj: vlastní.....149
Obrázek 49: Schéma zapojení převodníku uLan2USB, zdroj: vlastní.....150
Obrázek 50: Etogram – papírová verze, zdroj: vlastní.....151
Obrázek 51: Etogram – elektronická verze, zdroj: vlastní.....152

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Struktura přenášených dat na sběrnici uLan, zdroj: vlastní.....66
Tabulka 2: Etologické sledování Farma A, zkrácena varianta, zdroj: vlastní.....71
Tabulka 3: Ohodnocení činnosti zvířete na základě délky doby klidu, zdroj: vlastní. 76
Tabulka 4: Statistika závislosti HOR pro Farmu B, zdroj: vlastní.....88
Tabulka 5: Hodnocení úspěšnosti detekce říjí dle inseminací, zdroj: vlastní.....90
Tabulka 6: Hodnoty sledované etologickým sledováním, zdroj: vlastní.....91
Tabulka 7: Vyhodnocení odchylek dat z EROSu a etologického sledování pro jedno zvíře, zdroj: vlastní.....95
Tabulka 8: Korelace pomocí t-testu, zdroj: vlastní.....97
Tabulka 9: Korelace pomocí párového t-testu, zdroj: vlastní.....97
Tabulka 10: Vyhodnocení odchylek dat z EROSu a etologického sledování, zdroj: vlastní.....99
Tabulka 11: Tabulka TECH_EROS pro ukládání dat ve Farmsoftu, zdroj: vlastní.....101

9 Seznam použitých zkratek

EROS – Elektronický Rozpoznávač Oplodňovacího Stavu

HOR – Hodiny od říje

IoT – Internet of think

LoRa – Long Range

LoraWan - Long Range Wide Area Network

SMT – Solder mask top

SST – Silkscreen top

10 Seznam příloh

Obrázek 35: Farma A, zdroj: Internet

Obrázek 36: Farma B před rekonstrukcí, zdroj: Internet

Obrázek 37: Farma B po rekonstrukci, zdroj: vlastní

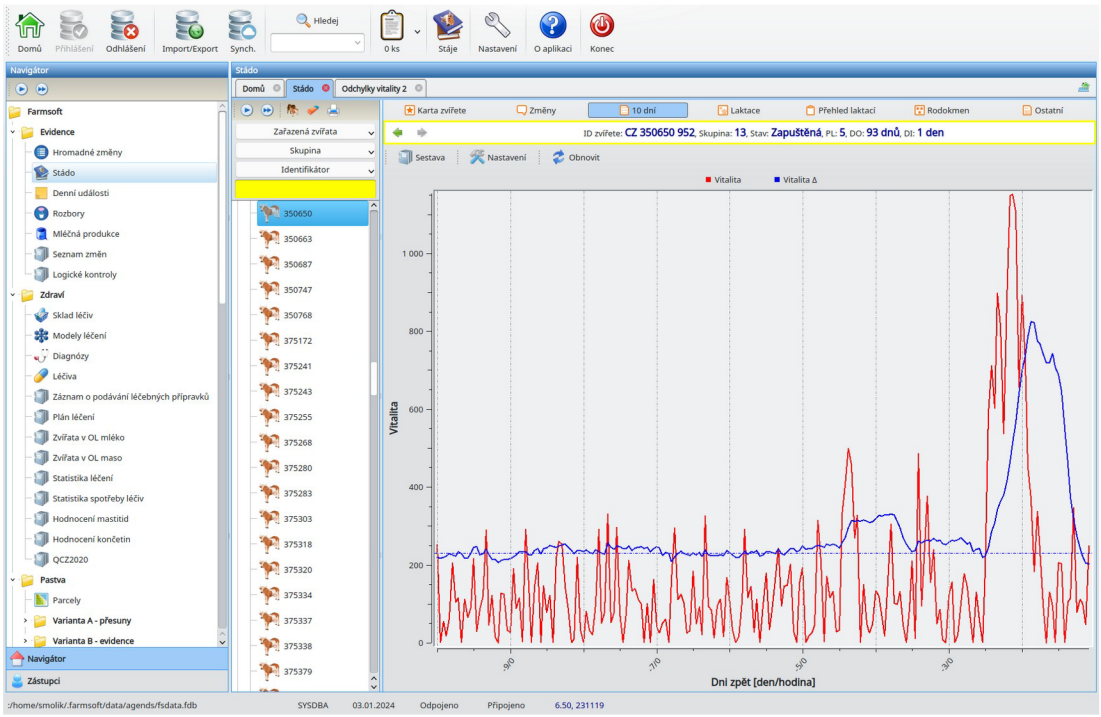
Obrázek 38: Farma C, zdroj: Internet

Obrázek 39: EROS na krk – produkční verze, zdroj: https://www.farmtec.cz

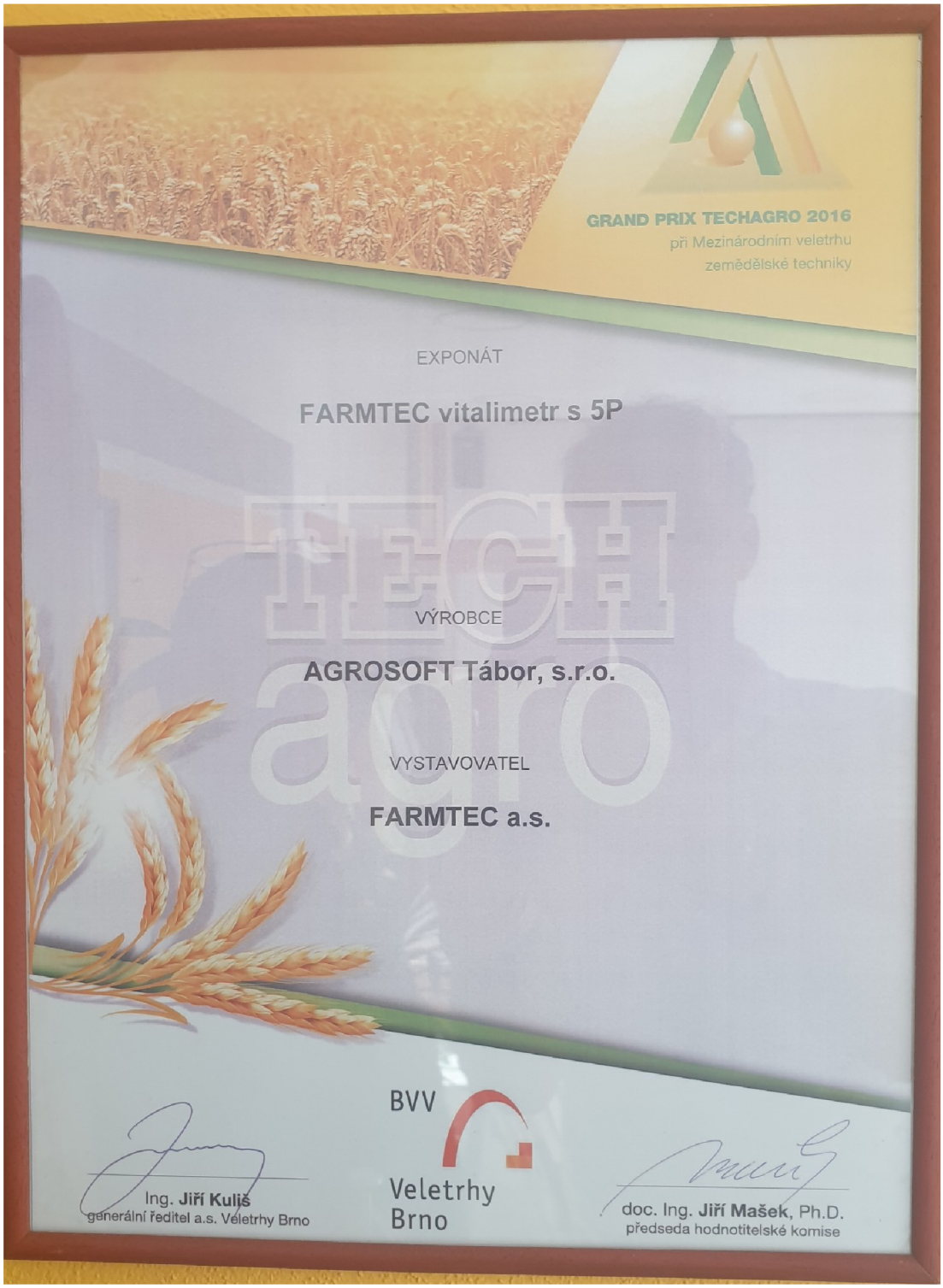
Obrázek 40: EROS na krku – produkční verze, zdroj: https://www.farmtec.cz

Obrázek 41: Farma B - EROS na noze, zdroj: vlastní

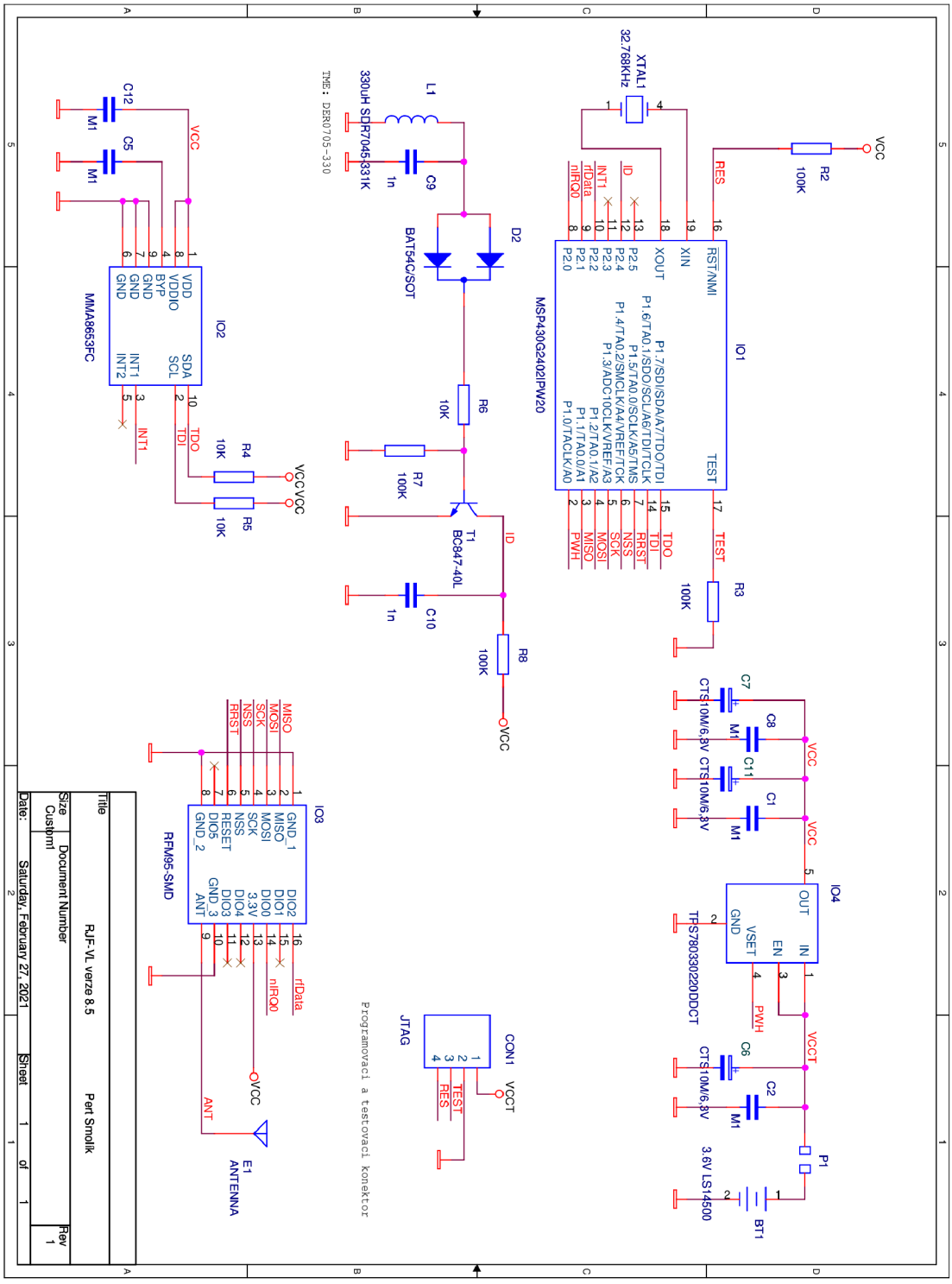
Obrázek 42: Farma B - EROS na noze, zdroj: vlastní



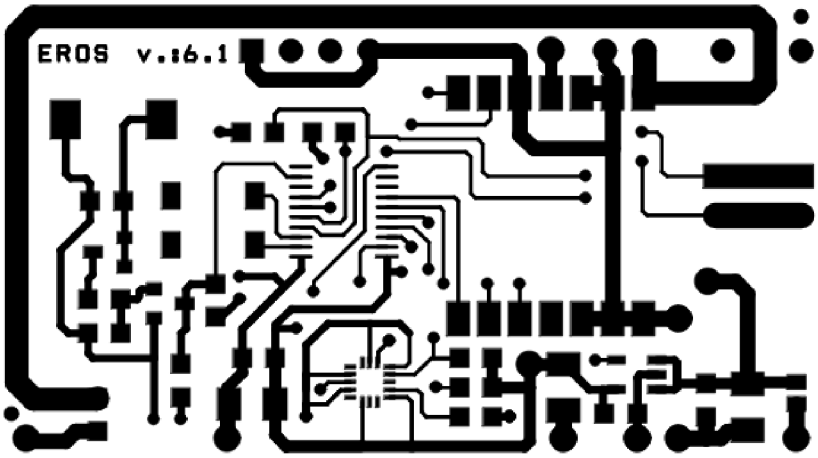
Obrázek 43: Farmsoft – hodinový grafy aktivity na noze, zdroj: vlastní



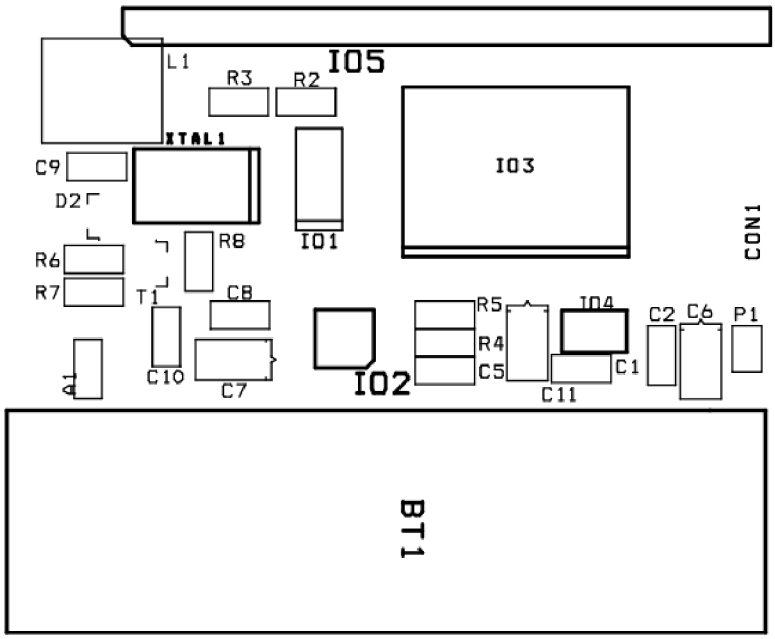
Obrázek 44: Ocenění v soutěži GRAND PRIX TECHAGRO 2016, zdroj: vlastní



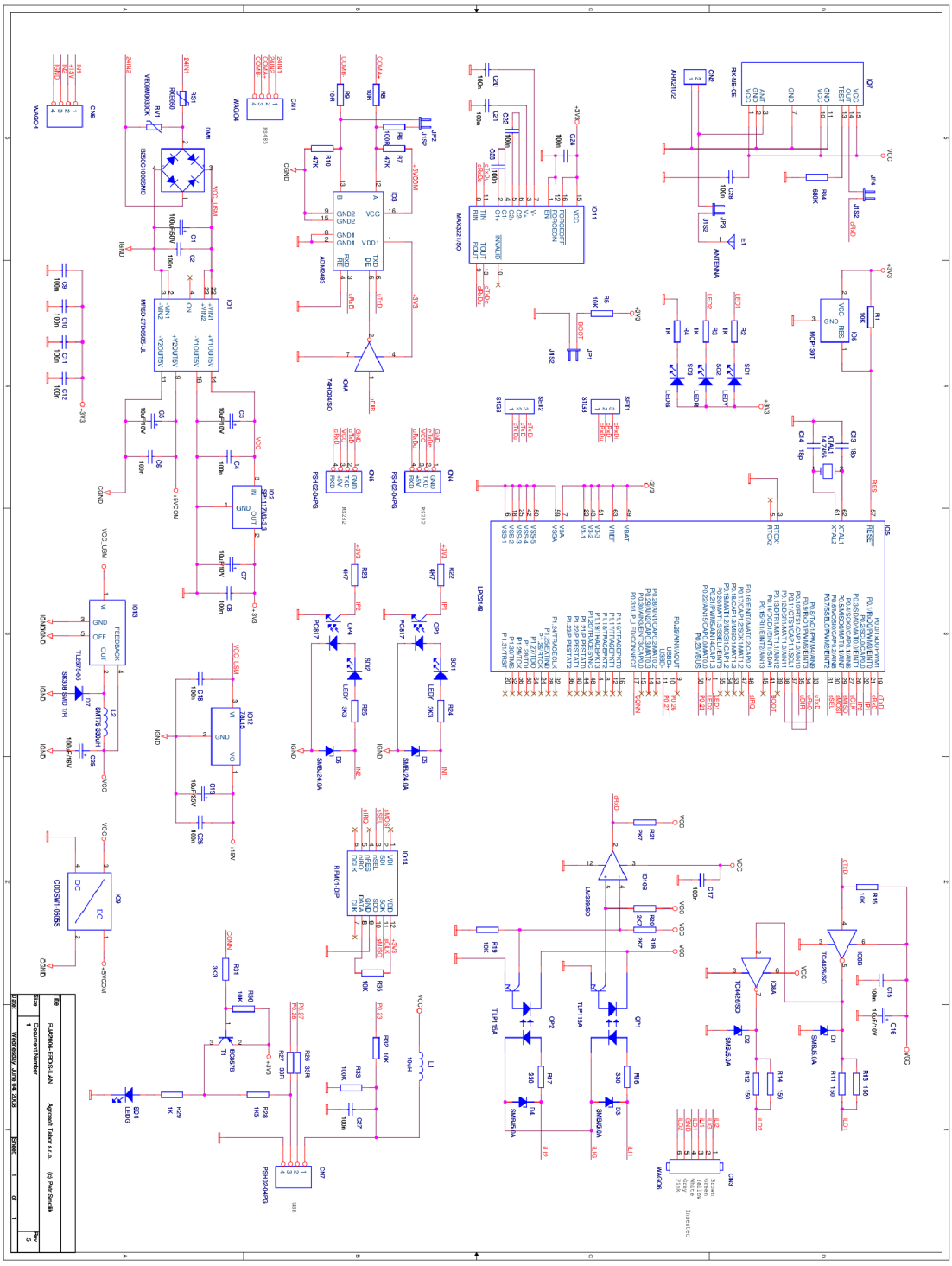
Obrázek 45: Schéma zapojení snímacího zařízení EROS, zdroj: vlastní



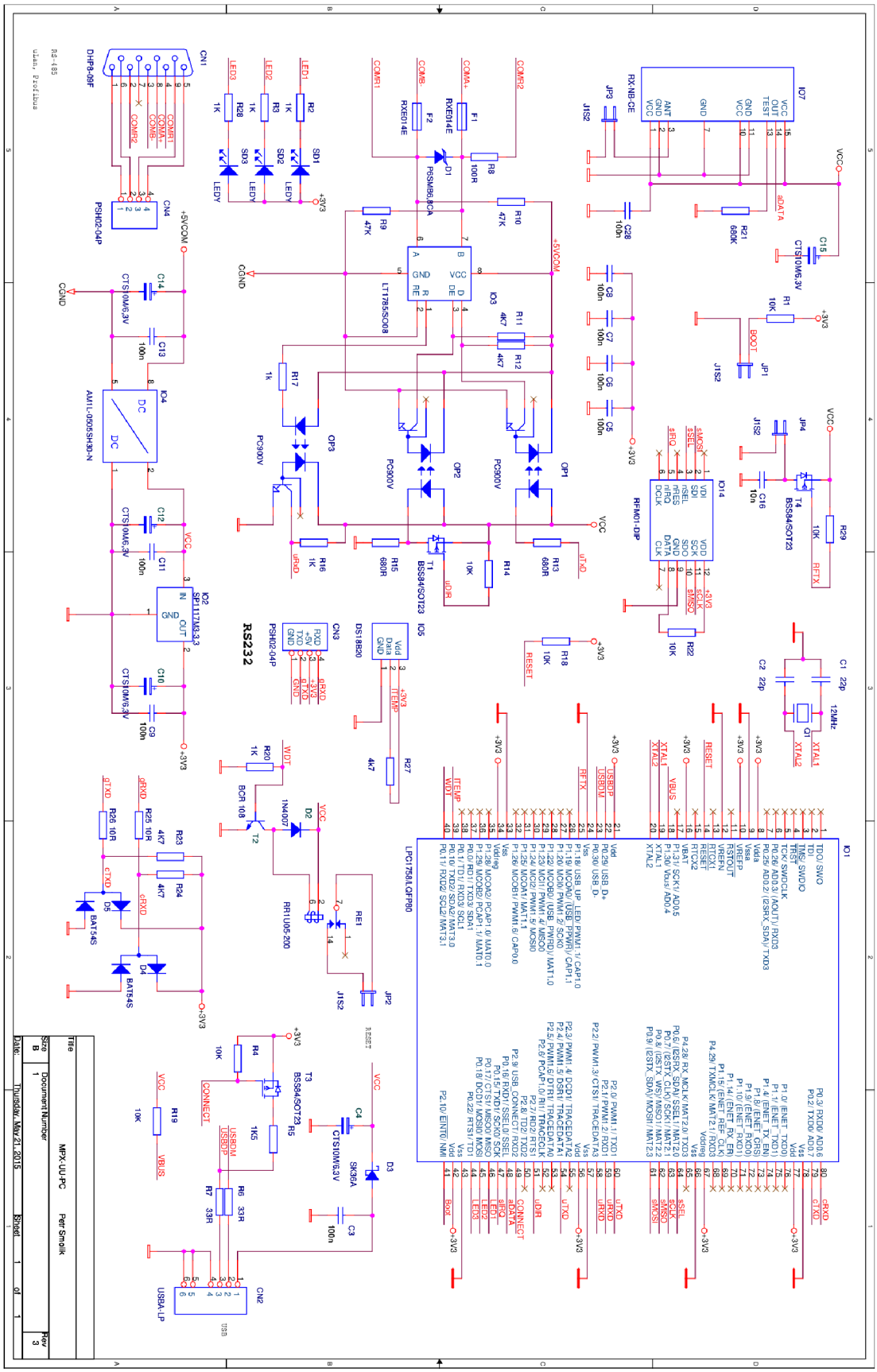
Obrázek 46: Plošný spoj - SMT, zdroj: vlastní



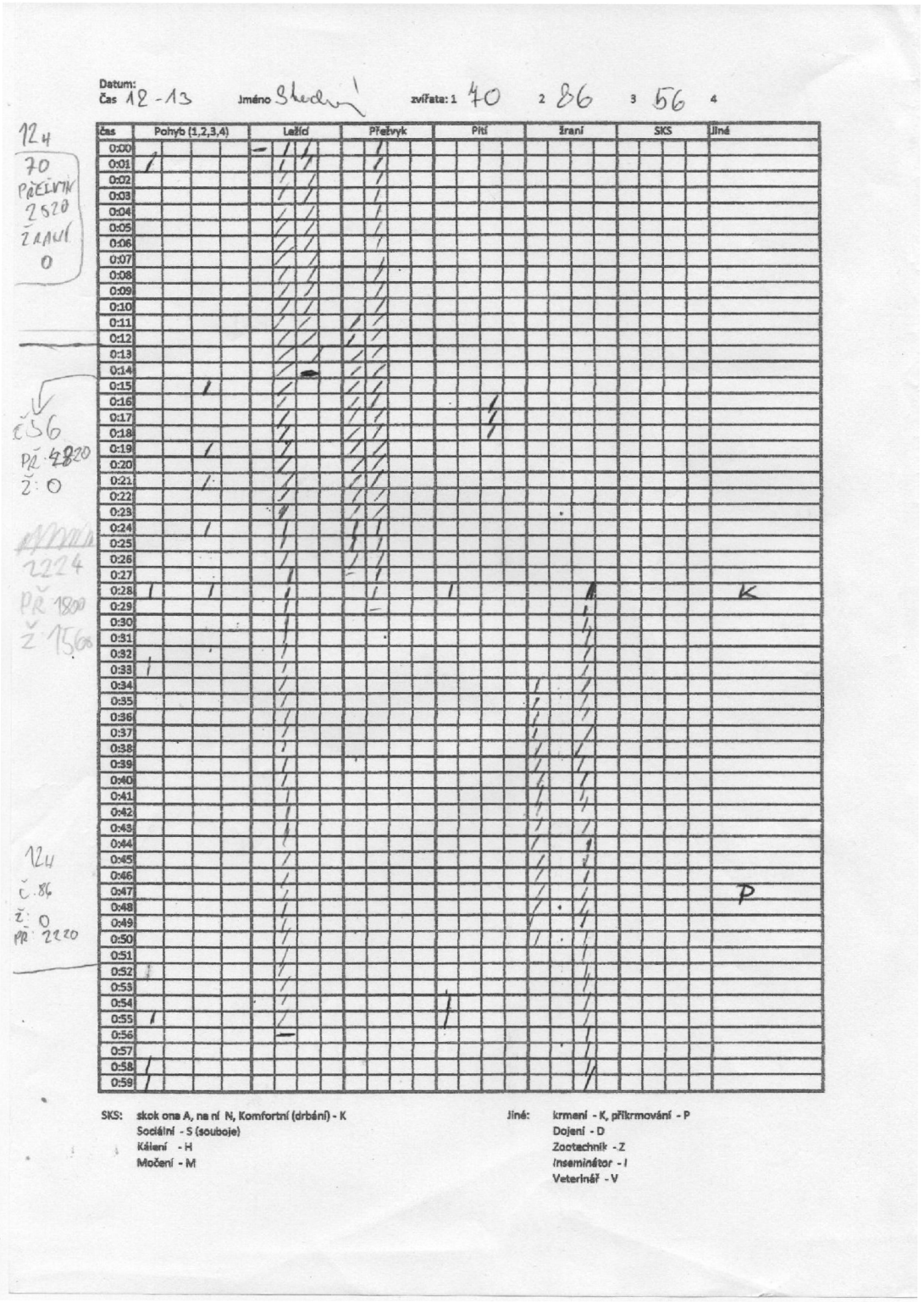
Obrázek 47: Plošný spoj - SST, zdroj: vlastní



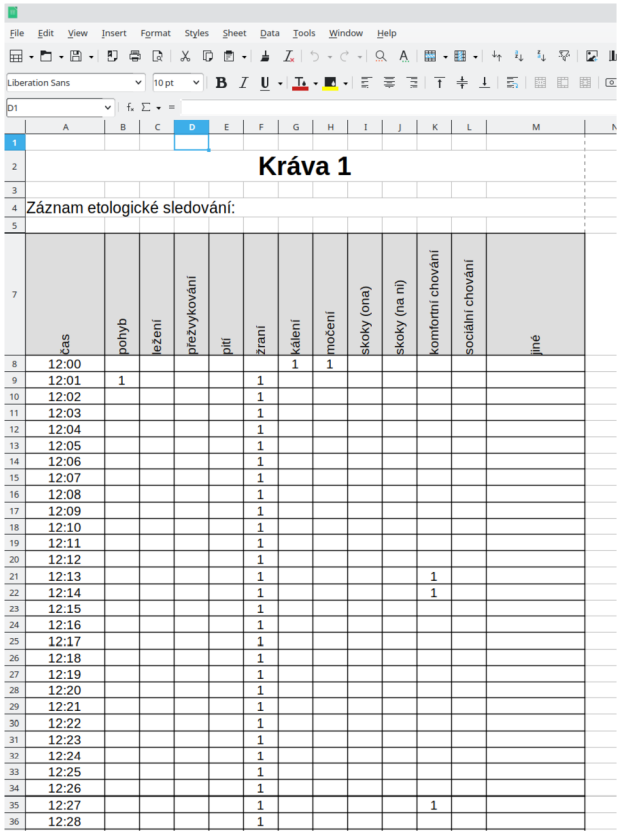
Obrázek 48: Schéma zapojení přijímací antény EROS, zdroj: vlastní



Obrázek 49: Schéma zapojení převodníku uLan2USB, zdroj: vlastní



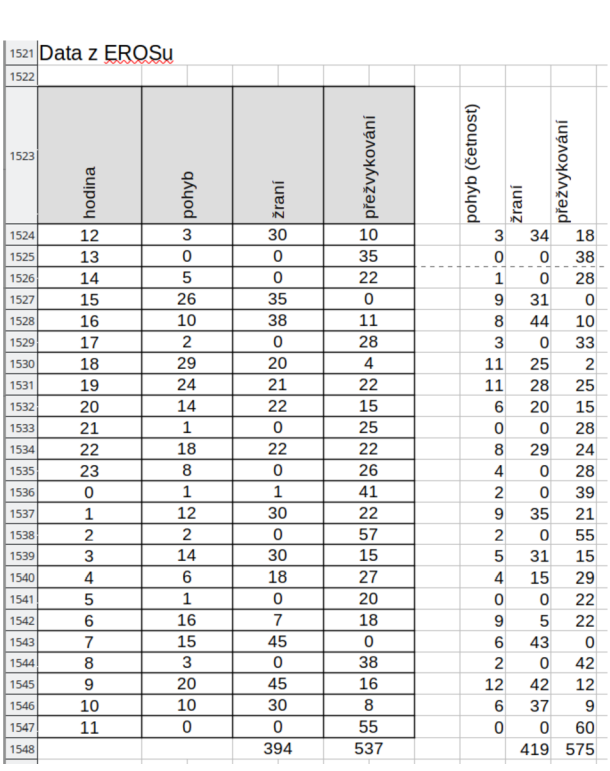
Obrázek 50: Etogram – papírová verze, zdroj: vlastní



Kráva 1

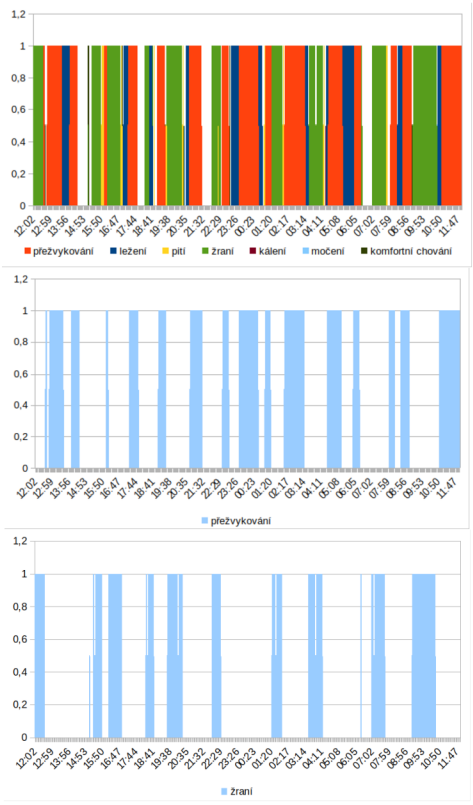
Záznam etologické sledování:

čas	pohyb	ležení	přežvykování	pití	žraní	kálení	močení	skoky (ona)	skoky (na ni)	komfortní chování	sociální chování	jiné
12:00						1	1					
12:01	1				1							
12:02					1							
12:03					1							
12:04					1							
12:05					1							
12:06					1							
12:07					1							
12:08					1							
12:09					1							
12:10					1							
12:11					1							
12:12					1							
12:13					1					1		
12:14					1					1		
12:15					1							
12:16					1							
12:17					1							
12:18					1							
12:19					1							
12:20					1							
12:21					1							
12:22					1							
12:23					1							
12:24					1							
12:25					1							
12:26					1							
12:27					1					1		
12:28					1							



Data z EROSu

hodina	pohyb	žraní	přežvykování	pohyb (četnost)	žraní	přežvykování
12	3	30	10	3	34	18
13	0	0	35	0	0	38
14	5	0	22	1	0	28
15	26	35	0	9	31	0
16	10	38	11	8	44	10
17	2	0	28	3	0	33
18	29	20	4	11	25	2
19	24	21	22	11	28	25
20	14	22	15	6	20	15
21	1	0	25	0	0	28
22	18	22	22	8	29	24
23	8	0	26	4	0	28
0	1	1	41	2	0	39
1	12	30	22	9	35	21
2	2	0	57	2	0	55
3	14	30	15	5	31	15
4	6	18	27	4	15	29
5	1	0	20	0	0	22
6	16	7	18	9	5	22
7	15	45	0	6	43	0
8	3	0	38	2	0	42
9	20	45	16	12	42	12
10	10	30	8	6	37	9
11	0	0	55	0	0	60
		394	537		419	575



Obrázek 51: Etogram – elektronická verze, zdroj: vlastní

11 Seznam vlastních publikovaných prací

Impaktované vědecké články

Dolejs, O., **Smolík, P.**, & Hanzalek, Z. (2004). On the Ethernet use for real-time publish-subscribe based applications. *In Proceedings of the IEEE International Workshop on Factory Communication Systems.* (pp. 39-44). IEEE.

Smolík, P., Vrhel, M., Smutný, L., Šoch. M. (2023). Modern systems for monitoring the movement activity of cows and their use for checking vital functions. In: a review. *Journal of Central European Agriculture*.

Užitný vzor

Smutný, L., **Smolík, P.**: Informační panel, zapsáno: 20. 4. 2015.

Odborné publikace a ostatní příspěvky

Smolík, P. (2001). Použití sítě Ethernet pro řízení v reálném čase – NDDS. *Automa,* 11/2001.

Smolík, P., Šebek, Z., & Hanzálek, Z. (2003). ORTE—Open source implementation of real-time publish-subscribe protocol. *In Proceedings of the 2nd International Workshop on Real-Time LANs in the Internet Age.* (pp. 68-72). Porto: Universidade de Porto.

Tran, D. K., Pisa, P., & **Smolík, P.** (2009). An open implementation of PROFIBUS DP. *In Proceedings of the Real Time Linux Workshops*.

Novotná, I., **Smolík, P.**, & Smutný, L. (2015). Sledování pohybové aktivity hospodářských zvířat. *Automa*, (7), 16-18.

Novotná, I., **Smolík, P.**, Šoch, M., Smutná, Š., Smutný, L., & Krupka, F. (2015). Vliv teplot na etologické projevy skotu. *In Mezinárodná fyziologická konference* (pp. 4-8). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-535-0.

Smutný, L., Smutná, Š., **Smolík, P.**, Novotná, I., Šoch, M., & Zábranský, L. (2015). Welsoft – programové vybavení k hodnocení welfare. *In Mezinárodná fyziologická konference* (pp. 58-61). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-535-0.

Novotná, I., **Smolík, P.**, Šoch, M., Smutná, Š., Smutný, L., & Krupka, F. (2015). Vliv technologií na vnitřní prostředí stájových objektů. *In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat.* (pp. 49-51). Praha Uhříněves: VÚŽV, v.v.i. ISBN 978-80-7403-145-8.

Smolík, P., Novotná, I., Šoch, M., Zábranský, L., Novák, P., Smutný, L., & Krupka, F. (2015). Snímací technika pro vyhodnocování pohybové aktivity zvířat. *In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat*. (pp. 61-64). Praha Uhříněves: VÚŽV, v.v.i. ISBN 978-80-7403-145-8.

Smutná, Š., **Smolík, P.**, Novotná, I., Šoch, M., Zábranský, L., Novák, P., & Smutný, L. (2015). Vyhodnocení etologických sledování na stájích s dojírnou a s dojícím robotem. *In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat.* (pp. 65-67). Praha Uhříněves: VÚŽV, v.v.i. ISBN 978-80-7403-145-8.

Smutný, L., Smutná, Š., **Smolík, P.**, Novotná, I., Šoch, M., Zábranský, L., Škeřík, V., & Novák, P. (2015). Hodnocení welfare s využitím programového vybavení. *In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat.* (pp. 68-69). Praha Uhříněves: VÚŽV, v.v.i. ISBN 978-80-7403-145-8.

Poborská, A., Šoch, M., Zábranský, L., Smutný, L., Novotná, I., **Smolík, P.**, Frejlach, T., Křížová, Z., Šimková, A., Švejdová, K., Smutná, Š., & Vacek, M. (2016). Monitoring lameness in cattle using the Vitalimeter. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 49(2), 246-252.

Zábranský, L., Šoch, M., Hadačová, V., Poborská, A., Smutný, L., Novotná, I., **Smolík, P.**, Frejlach, T., Šimková, A., Švejdová, K., Lád, K., Čermák, B., Novák, P., (2016). Influence of probiotic feed additives on rumen microflora of cattle. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 49(2), 246-248.

Novotná, I., & **Smolík, P.** (2016). Development of Czech Software for Managing of Cattle Breeding. *Scientific Papers: Animal Science & Biotechnologies/Lucrari Stiintifice: Zootehnie si Biotehnologii*, 49(2).

Janda, P., Šoch, M., Smutný, L., **Smolík, P.**, Krupka, F., Brůžková, M., Provazníková, I., & Smutná, Š. (2017). Regulace stájového mikroklimatu pro optimální pohodu zvířat. *In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat* (pp. 23-26). Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7403-170-0.

Provazníková, I., Šoch, M., **Smolík, P.**, Smutná, Š., Smutný, L., Janda, P., Roztočil, D., & Brůžková, M. (2017). Vliv teplot na organismus hospodářských zvířat.

In Aktuální otázky bioklimatologie zvířat. (pp. 61-64). Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7403-170-0.

Smutný, L., Zábranský, L., Provazníková, I., **Smolík, P.**, Dudák, P., Smutná, Š., & Pátek, J. (2019). Use of software to monitor the health of dairy cows. *In Animal Physiology, Nutrition and Welfare.* (pp. 207-212). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-771-2.

Příspěvky na konferenci a ostatní prezentace

Smolík, P. (2005). Real-Time Publish-Subscribe komunikace. *In Identcon-Industrial Ethernet Conference.* (Praha).

Píša, P., & **Smolík, P.** (2005). uLan communication protocol for laboratory instruments, home automation and field applications. *In Process Control* [Conference Proceedings], Štrbské Pleso, Slovensko.

Píša, P., **Smolík P.**, (2023): Otevřený protokol uLAN RS-485, 30 let služby v laboratořích, zdravotnictví a zemědělství., In: *LinuxDays*, Praha.