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

Autoreferát 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

Autoreferát disertační práce

Doktorand:	Ing. Petr Smolík
Studijní program:	Zootechnika
Studijní obor:	Obecná zootechnika
Název práce:	Technické parametry systémů sledování pohybové aktivity dojnic a jejich využití ke kontrole životních projevů.
Školitel:	prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
Oponenti:	doc. Dr. Ing. Zdeněk Havlíček Ing. Luboš Smutný, Ph.D. doc. MVDr. Pavel Novák, CSc.

Obhajoba disertační práce se koná dne 26.4.2024 v 9,00 hod. v areálu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, pavilon B, Katedra zootechnických věd.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské a technologické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

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

Obsah

1 Úvod....7

2 Cíl práce....9

3 MATERIÁL A METODIKA....10

3.1 Snímací zařízení EROS....10

3.1.1 Sestavení prototypu EROS....12

3.1.2 EROS na krku....12

3.1.3 EROS na noze....13

3.2 Přijímací anténa....14

3.3 Přenos dat z antény do počítače....15

3.4 Sběr vstupních dat....17

3.4.1 Měření dat pomocí systému sledování pohybové aktivity....18

3.4.2 Etologické sledování....19

3.5 Vyhodnocení naměřených dat....20

3.5.1 Vyhodnocení naměřených dat na krku....20

3.5.2 Vyhodnocení naměřených dat na noze....26

3.5.3 Kritéria algoritmu pro odhad chování krav....27

3.5.4 Octave – psaní vyhodnocovacího algoritmu....29

3.5.5 Statistické hodnocení....30

4 Výsledky a diskuze práce....31

4.1 Snímací zařízení EROS....31

4.2 Algoritmu snímající životní projevy zvířat....32

4.3 Hodnocení výsledků....34

4.3.1 Statistické hodnocení inseminací v závislosti na HOR....34

4.3.2 Statistické hodnocení úspěšnosti detekce říjí dle inseminací....36

4.3.3 Statistické hodnocení detekce žraní a přežvykování....37

4.4 Integrace do Farmsoftu....48

4.4.1 Systém denního hlášení....48
4.4.2 Systém sledování odchylek životních projevů zvířat....49
5 Závěr....54
6 Seznam použité literatury....56
7 Životopis....59
8 Seznam vlastních publikovaných prací....61

1 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.

2 Cíl 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 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. Každé 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 programu Famsoft.

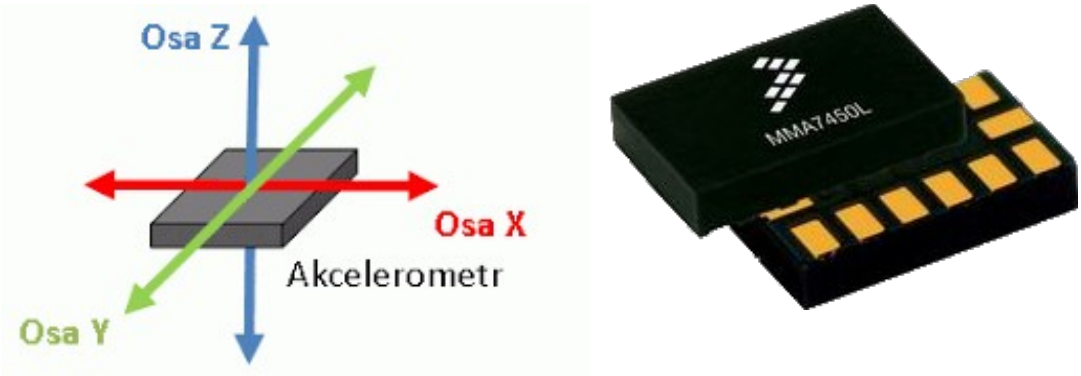
Nedílnou součástí práce je i vyhodnocení správné detekce činnosti zařízení z dlouhodobějšího časového horizontu a konfrontace se záznamy činnosti evidovaných u chovatelé v papírové nebo elektronické podobě.

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 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. V současnosti je komerčně dostupná celá řada akcelerometrů vhodných 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). Uvedený 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 krku 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. Oproti tomu 10bitové rozlišení nebylo nutné z důvodu vyšší energetické náročnosti na zpracování údajů.



Obrázek 1: Akcelerometr, zdroj: www.nxp.com

Mikroprocesor zajišťuje zpracování dat z akcelerometru, přičemž provádí jejich čtení, předzpracování a následně je přepošle pro další analýzu do hlavního počítače. V kontextu výběru mikroprocesoru je kritická minimální spotřeba energie a rozměry zařízení. Odpovídající komerčně dostupná řešení nabízí například společnost Texas

Instruments, která uvádí široké spektrum mikroprocesorů, zejména v kategorii 16bitových RISC procesorů. Po důkladné evaluaci různých modelů a s ohledem na specifické požadavky aplikace byl vybrán integrovaný obvod MSP430G2402IPW20 od Texas Instruments, rok 2024, jako nejvhodnější řešení (Texas Instruments, 2024).

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 (Raychowdhury & Pramanik, 2020). 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 (Lee et al., 2021).

Komerčně dostupná je také možnost využití radiových vln pomocí společnosti HOPERF Micro-electronics, kteří se specializující na RF moduly a bezdrátový přenos signálů. V oblasti komunikačního standardu LoRa nabízí modul s označením RFM95W (Hope, 2006).

Obrázek 2: Rádiový modul RFM95W, zdroj: www.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 plošné-

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

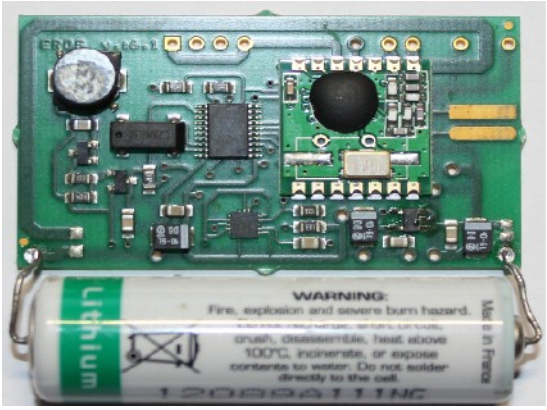
Tyto servisní úkony jsou:

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

3.1.1 Sestavení prototypu EROS

Z navrženého schématu EROSu bylo nutné vytvořit plošný spoj a ten následně si nechat vyrobit. Výrobu zajistila firma Pragoboard 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 3: 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 do plastové krabičky a připevní na zvíře.

3.1.2 EROS na krku

Snímací zařízení EROS jsem nejprve umístil na krk (obrázek 4). Zde je možné zaznamenávat vibrace a z nich následně odhadnout tyto druhy chování zvířete:

- pohyb

- doba žraní
- doba přežvykování

Obrázek 4: 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 (Brown et al., 2013).

3.1.3 EROS na noze

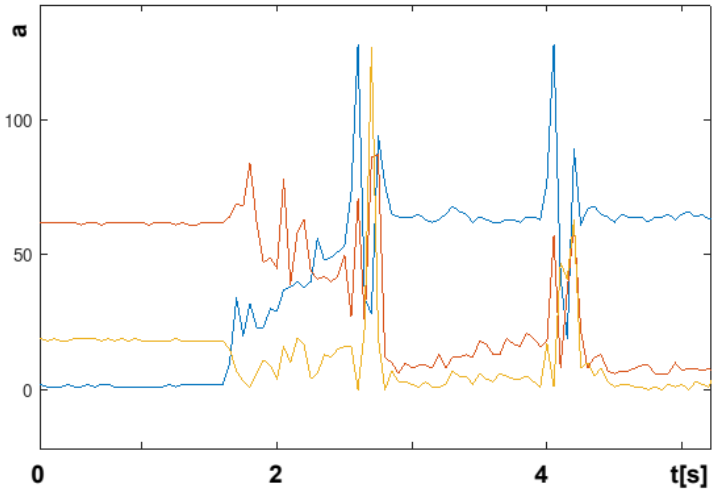
Podobně jako na krku jsem umístil snímací zařízení EROS na nohu (obrázek 6). Zde je možné odhadnout druhy chování:

- pohyb
- dobu ležení
- dobu stání
- počet vstání
- počet 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 (s) 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 5: 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 6: Snímací zařízení EROS na noze, zdroj: vlastní

3.2 Přijímací anténa

Data vyslaná pomocí snímacího zařízení EROS je nutno přijmout a následně přeposlat do počítače ke zpracování. Za tímto účelem byla navrhnuta jednotka, která plní funkci přijímače zpráv s komunikačním rozhraním. Pracuje na shodné frekvenci jako vysílací strana 868,4-868,65Mhz. Přijatá data jsou zpracována vlastním mikroproce-

sorem 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.

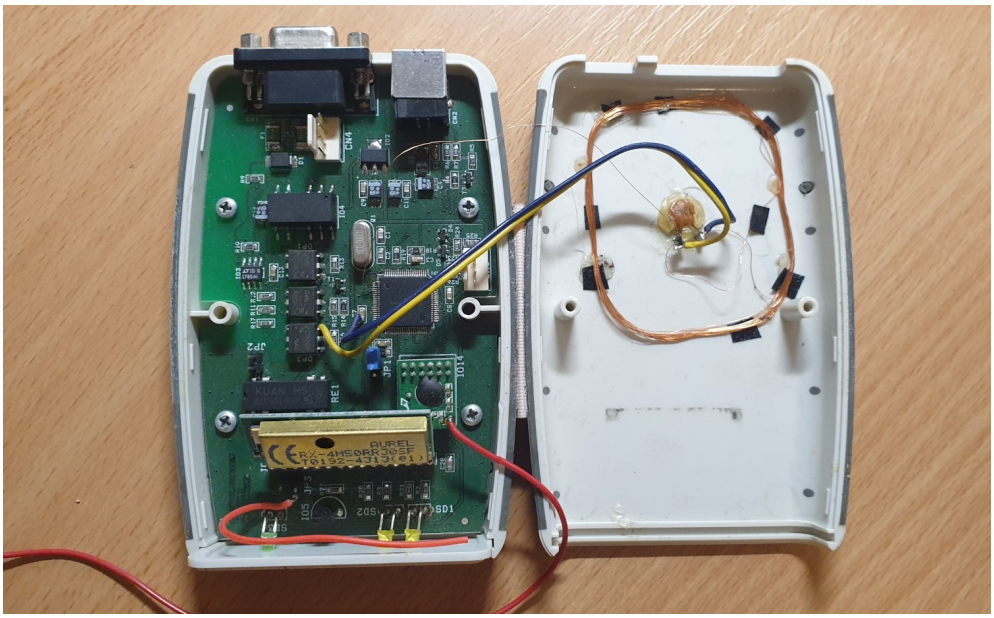
Mikroprocesor pro příjem dat byl vybrán 32bitový ARM LPC2148 od firmy NXP Semiconductors (NXP, 2011).

Napájení je zajištěno pomocí stabilizovaného zdroje 15V.

Obrázek 7: Přijímací anténa EROS 868MHz, zdroj: vlastní

3.3 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 8: 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 an-

tény. 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 byl použit 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.

3.4 Sběr vstupních dat

Data se vzorkovací periodou 12Hz byla uložena do souboru. Jednotlivé hodnoty zrychlení v osách X, Y, Z byly zaznamenávány 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 (Eaton et al., 2019).

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.

3.4.1 Měření dat pomocí systému sledování pohybové aktivity

Snímání surových dat pro následné analýzy chování zvířat probíhal v červnu 2015. Sběr dat probíhal v produkční stáji, jak je patrné z obrázku 9. 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.

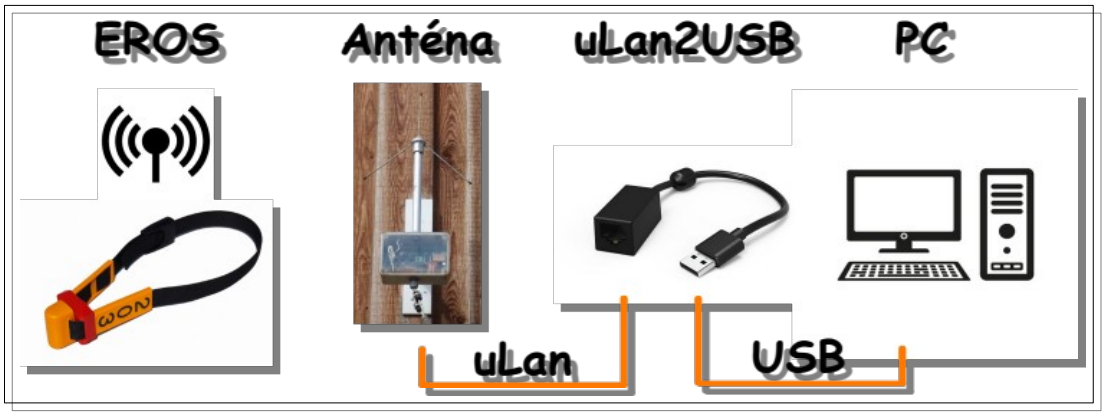
Obrázek 9: Snímání dat na Farmě A, zdroj: vlastní

Nasnímaná data z krku a nohy byly využity 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 přeposlala pomocí komunikačního rozhraní uLan převodníku uLan2USB. Tento druh rozhraní je nutný při následném nasazení ve provozních podmínkách, kdy bude instalováno

více přijímacích antén tak, aby se pokryl celý sledovaný prostor zvířat. Jedna anténa sbírá data v poloměru přibližně 50metrů.

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 10: struktura snímání dat, zdroj: vlastní

3.4.2 Etologické sledování

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

Byly definovány jednotlivé činnosti zvířete:

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

Dále byla vytvořena 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 etologické sledování. Nebyly tedy vždy zaznamenávány všechny činnosti zvířete, ale jen ty, které pro dané umístění senzoru dávaly smysl. Již v úvodu bylo zřejmé, že se senzorem umístěným na krku nepůjde detekovat stání/ležení, proto ne-

bylo 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.

3.5 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.

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

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.

Dalším způsobem, jakým lze analyzovat data, bylo vyhodnocení dob klidu. Nejdříve byla definována hodnotu zrychlení, pod kterou byl stanoven, že je „klidový režim“. Následně při zvětšení hodnoty na definovanou mez byl spuštěn 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 byly diskutovány níže.

3.5.1 Vyhodnocení naměřených dat na krku

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 2 jsou uvedeny výsledky etologického sledování chování. Jednotlivé minutové záznamy činnosti byly sloučeny tak, aby bylo možné vyhodnotit korelace mezi naměřenými daty. Barevně byly označeny významné činnosti dle jejich charakteru.

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 11 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.

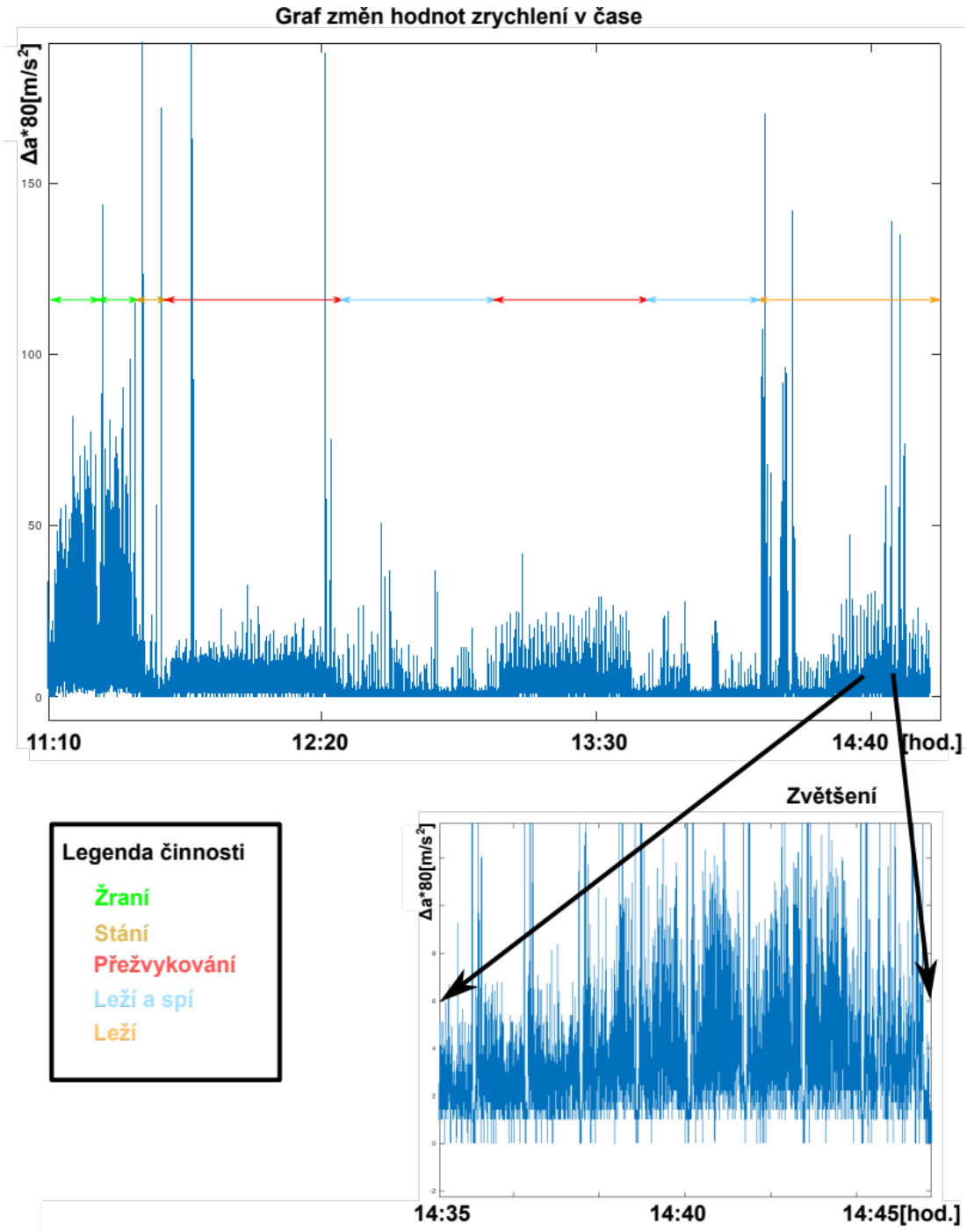
Podobně jako u etologického sledování, byly i zde v grafech změn hodnot zrychlení označeny barevně úseky tak, aby bylo možné provést visuální korelaci a konfrontovat, jaké vznikají vibrace u jednotlivých činností. Dále se zaměříme hlavně na dvě činnosti, a to žraní a přežvykování.

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 odpovídá rovněž i předpokladu, neboť obojek ve kterém je umístěna snímací elektronika během žraní se značně pohybuje 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.

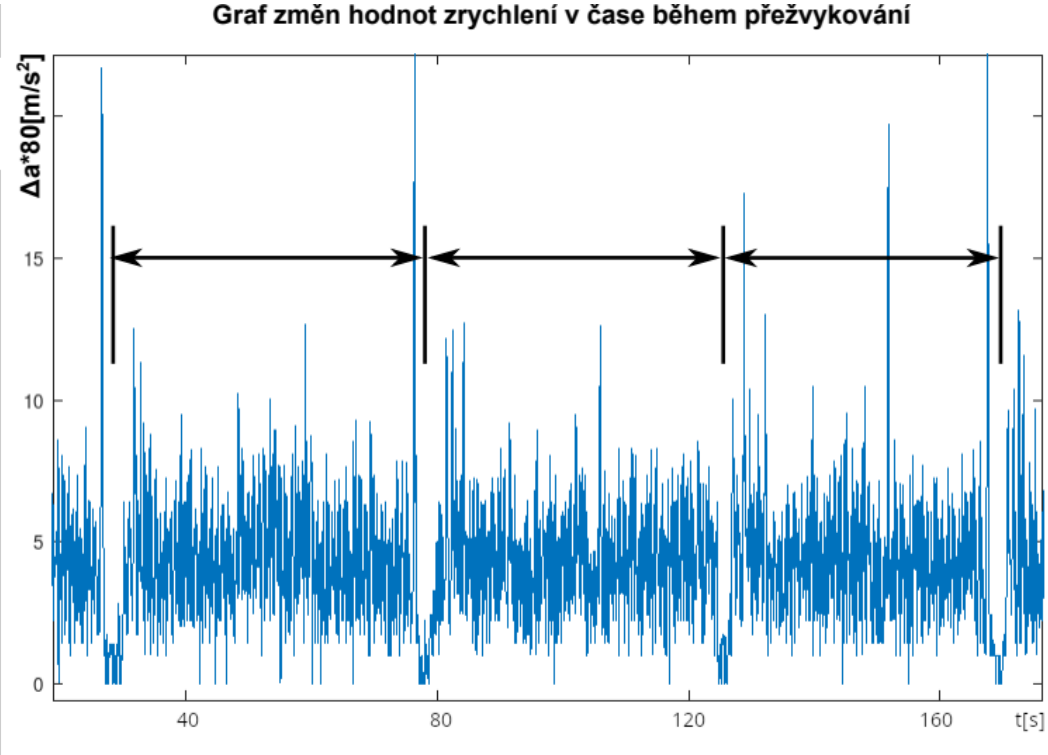
Klidové hodnoty změn zrychlení do 0,1g s delší dobu periody vibrací by mohly být interpretovány jako spaní. Tímto druhem činnosti jsem se však významně nezabýval.



Obrázek 11: hodnoty změn zrychlení v čase – na krku, zdroj: vlastní

Při větším zvětšení grafu během přežvykování, jak je ukázáno na obrázku 12 je možno rozpoznat zajímavé vibrace. Tyto vibrace pocházejí z období, kdy zvíře vyvrhuje sežrané krmivo, aby jej 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 rozpoznatelné 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).

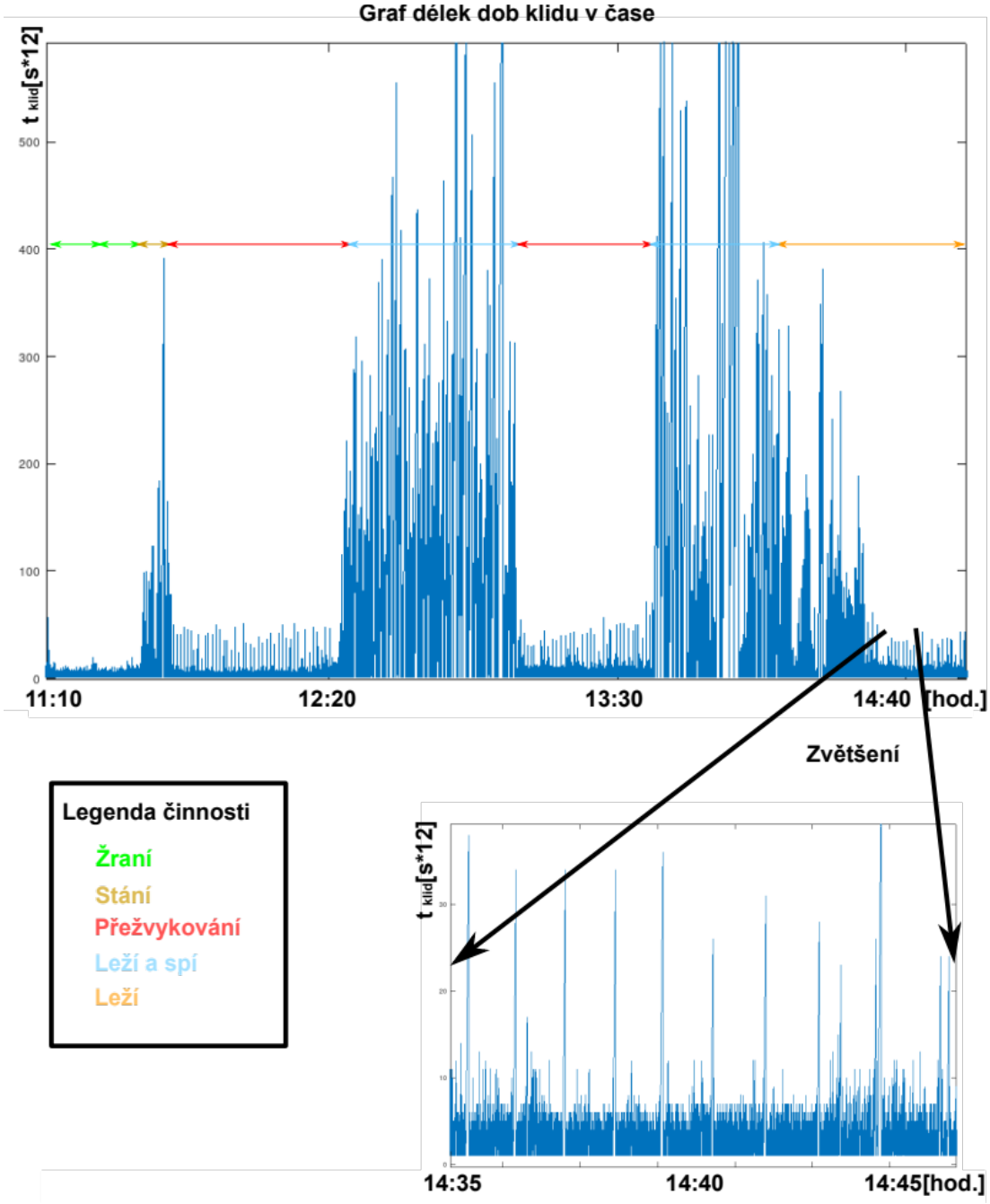


Obrázek 12: hodnoty změn zrychlení během přežvykování – na krku, zdroj: vlastní

Během etologického pozorování bylo povrzeno, že spolehlivé určení přesné činnosti zvířete je náročný proces. Mnohdy se stávalo například, že zvíře žralo, avšak najednou si spíše hrálo s krmením, převalovalo ho z jedné strany na druhou a jen občas krmení skutečně přijímalo. Není přesně definován pojem příjmu krmiva a rovněž i ohodnocení jednotlivých činnosti je spíše na pozornosti a zkušenostech 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. Toto pozorování potvrzuje předpoklad, že navržený algoritmus umožnuje efektivnější sledování potravního chování krav. Na obrázku 11 je zachycen tento stav ve spodní části. Ve zvětšeném detailu jsou patrné jednotlivé fáze přežvykování (přibližně 8), oddělené 5 ti vteřinovým zklidněním, které je charakteristické pro tuto činnost. Podrobněji přežvykování bylo popsáno na obrázku 12.

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



Obrázek 13: 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

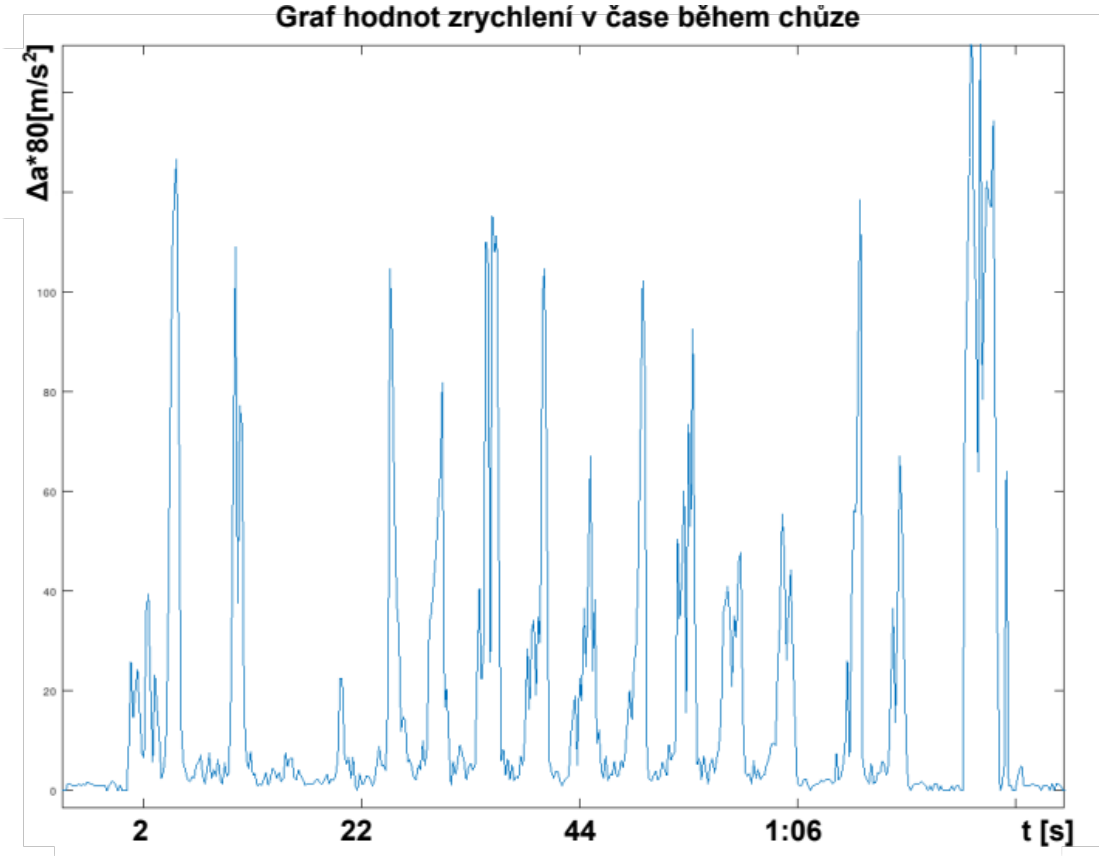
Tabulka 3: Ohodnocení činnosti zvířete na základě délky doby klidu, zdroj: vlastní

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.

3.5.2 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 14 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 14: 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 3.1.3 detekce stání a ležení bude realizována na základě změny statického gravitačního zrychlení 1g, detekovatelné v jedné ose. Po konzultaci se zootechniky byl doplněn 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.

3.5.3 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 se výrazně snížila životnost. 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 tyto podmínky:

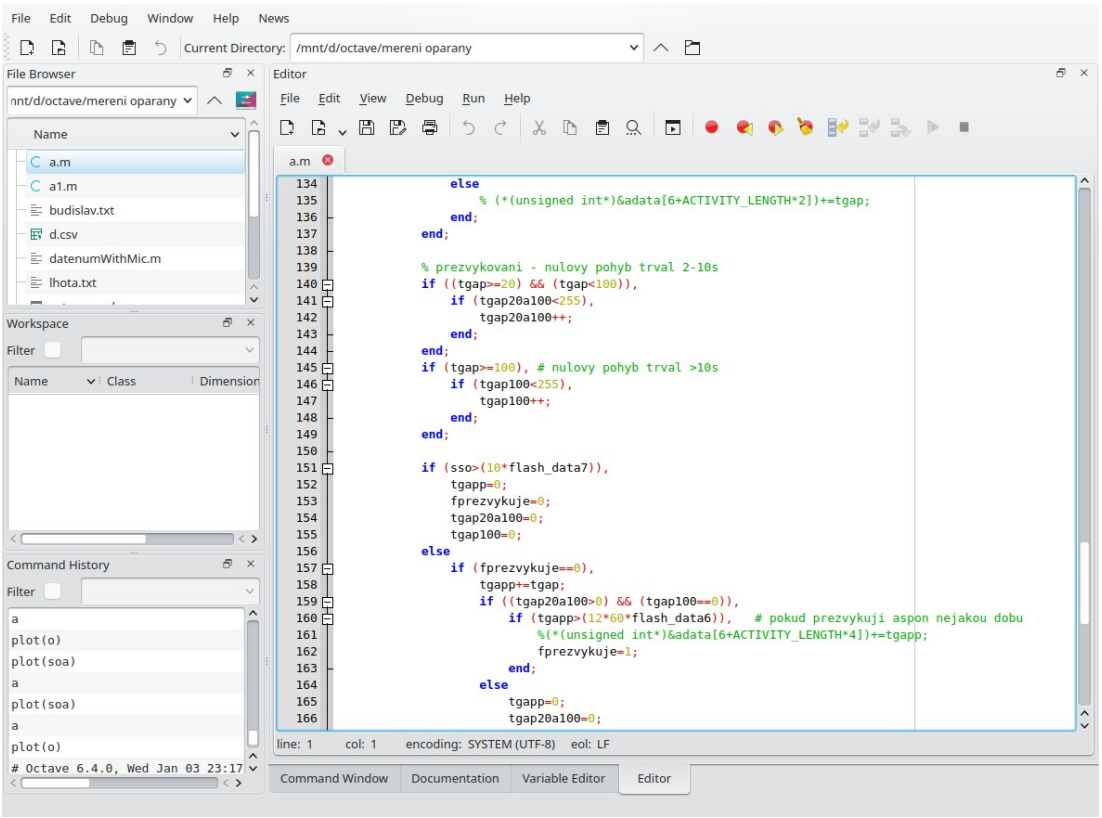
- dvě verze sledování na noze/krku
- data jsou předzpracována 1 hodinu a až následně odesílána jako jeden blok dat
- data jsou odesílána s historií 6 hodin z důvodu arbitrace
- parametrický detekční algoritmus – důležité parametry detekčního algoritmu budou moci být upravovány v průběhu provozu

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 (Cha & Kim, 2005).

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.

3.5.4 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 využit 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 15: 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 udělat konfigurovatelné pomocí servisního programovacího kanálů tak, aby je bylo možné upravovat během celé doby provozu.

3.5.5 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 systémem 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.

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. Pravděpodobně 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 500 metrů. 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 založen na kritériu, jehož základní rozhodování bude na základě měření intenzity pohybů a měření dob zklidnění jak bylo popsáno v kapitole 3.5.1.

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:

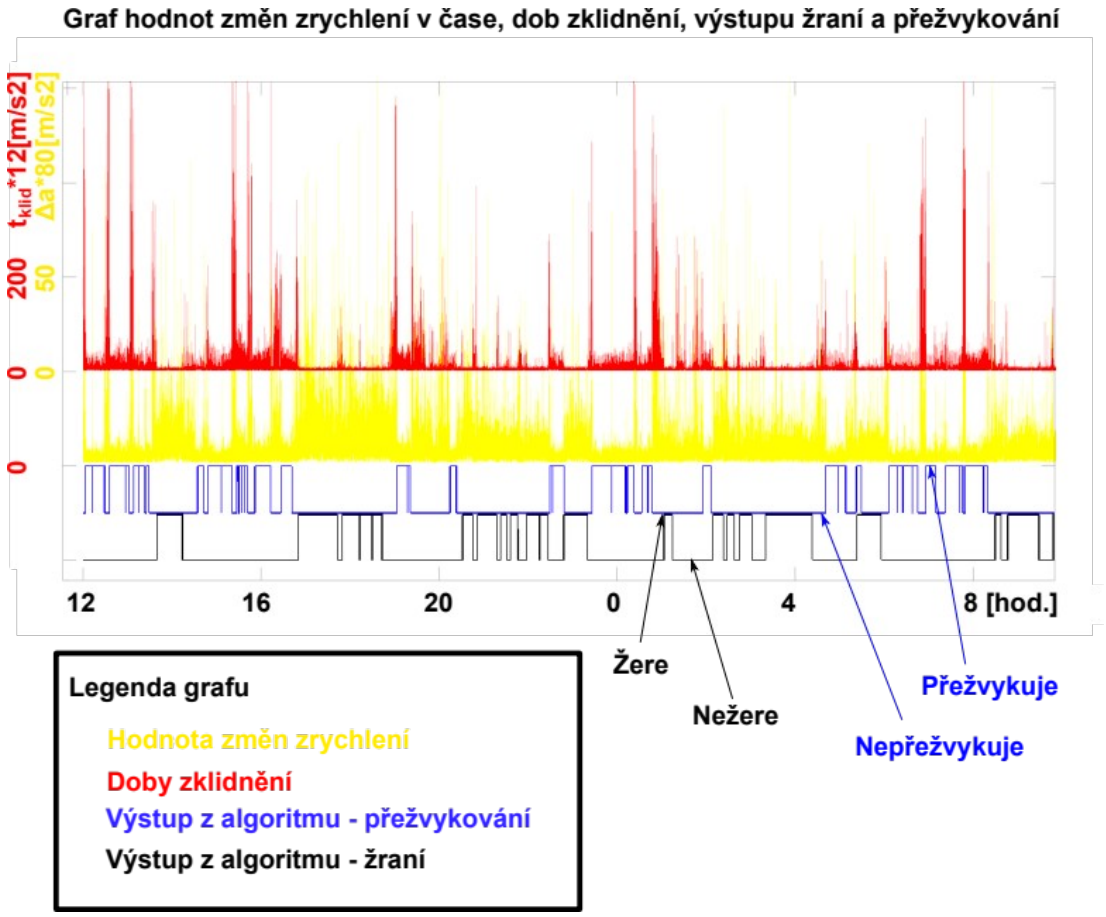
- intenzita změn pohybu nad 0.2g na krku a 0.4g na noze
- minimální časové měřítko pro měření pohybu 1s

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 budou uvedeny příklady, 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 16 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 krmení. Etologické sledování bylo vždy ještě konfrontováno

s naměřenými daty, kde podle vibrací je možné rovněž stanovit, o jaký druh pohybu se jedná.



Obrázek 16: 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

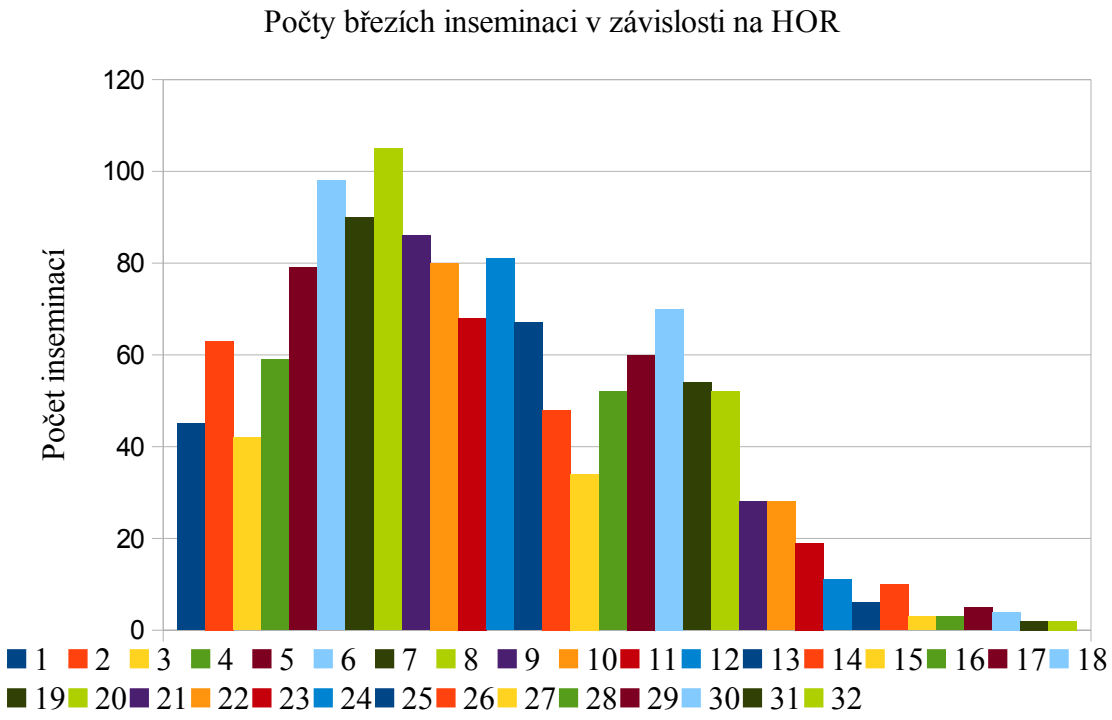
Na Farmě B v období mezi roky 2018 a 2022 probíhalo zaznamenávání údaje počtu hodin od začátku říje do inseminace (dále HOR). Pro většinu inseminaci byl tento údaj HOR visuálně odečten z hodinového grafu. Začátek říje se přitom považuje hodnota, kdy dojde k růstu pohybové aktivity. To bylo odečteno ve Farmsoftu z 10 ti denního grafu – obrázek 31. 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

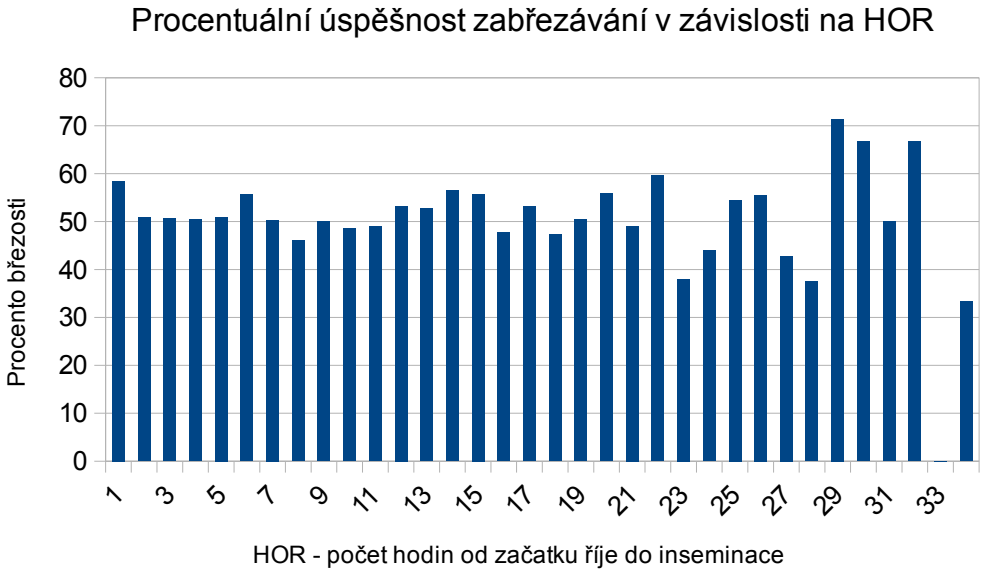
Ze statistického hodnocení HOR nám vychází, že inseminaci probíhaly s největší pravděpodobnosti v rozmezí 11-12 hodin od začátku říje.

Vedle tabulkového hodnocení HOR je uvedeno ještě grafické hodnocení jednotlivých hodinových četnosti připouštění – obrázek 17. Do grafického hodnocení byly zahrnuty pouze inseminace, které byly označeny jako březí.



Obrázek 17: Graf počtu březích inseminací v závislosti na HOR, zdroj: vlastní

V další části práce byla hodnocena závislost 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 18. 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 naznčují 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 18: 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 byly shrnuty do následující tabulky:

Údaje	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, byla vyhledána informace 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 stanove-

na 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. Je obtížné přesně validovat interní rozhodovací algoritmus v procesoru, jakým způsobem byly ohodnoceny jednotlivé vibrace, z tohoto důvodu se hodnoty porovnaly a sečetly. Za stejné visuálně sledované období v rámci dat z EROSu se stanovila určitá odchylka.

Etologickým pozorováním byly zaznamenávany 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
Skoky (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 vzájemný vztah. Každá má však jinou jednotku a proto jsou těžko mezi sebou matematicky porovnatelné.

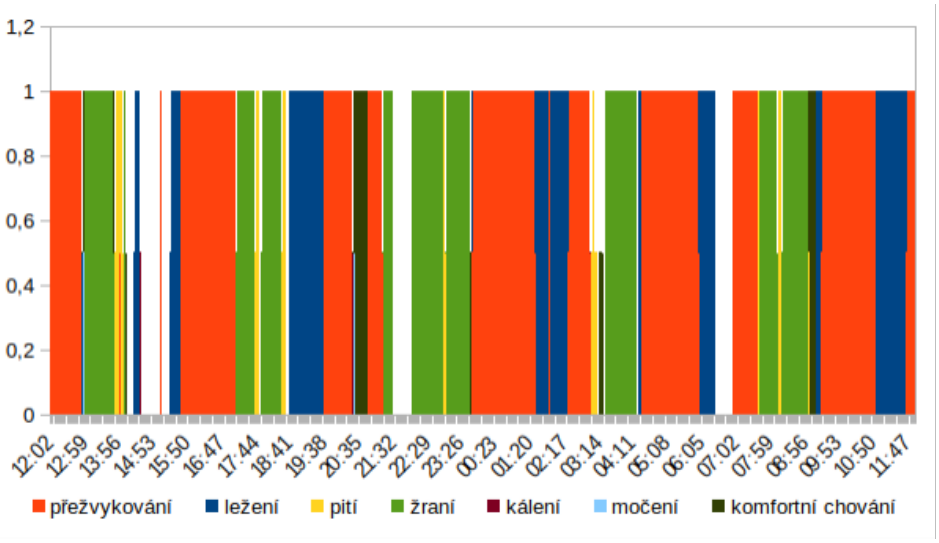
Na obrázku 19 je uvedený část etogramu z pozorování jednoho zvířete převedený do elektronické podoby v Excelu. Na závěr byla provedena sumarizace jednotlivých sledovaných veličin.

2	**Kráva 2**												
3													
4	Záznam etologické sledování:												
5													
7	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	

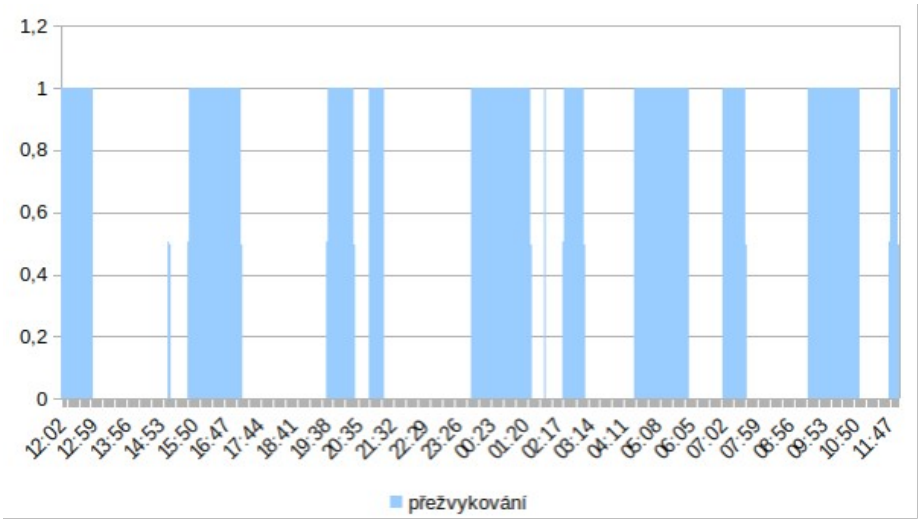
Obrázek 19: Vyplněný etogram a převedený do Excelu, zdroj: vlastní

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 20.

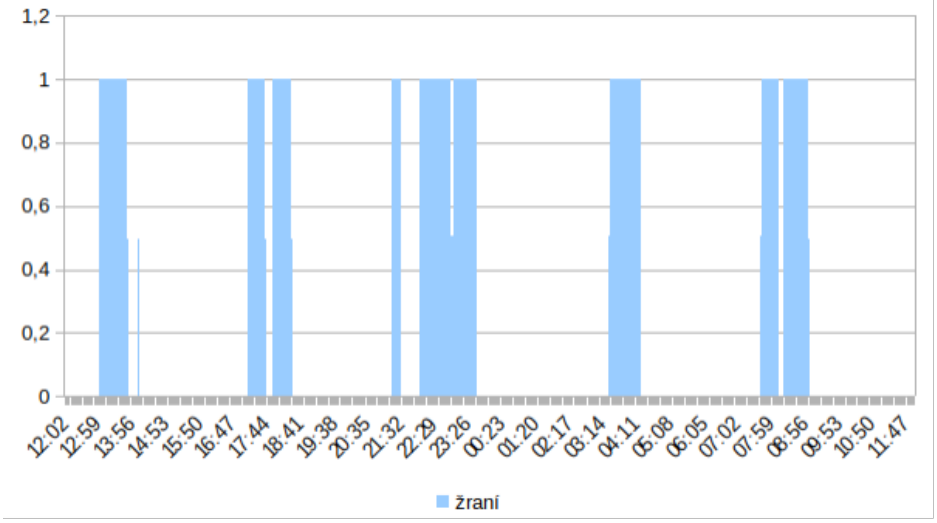
Kromě celkového grafu činností jsou uvedeny i další dva grafy (obrázek 21 a 22) pro žraní a přežvykování, na kterých je přehledně zobrazeno, kdy a jak dlouho se zvíře 2 zabývalo jednotlivými činnostmi.



Obrázek 20: Grafická podoba etogramu, zdroj: vlastní



Obrázek 21: Grafická podoba etogramu přežvykování, zdroj: vlastní



Obrázek 22: 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.

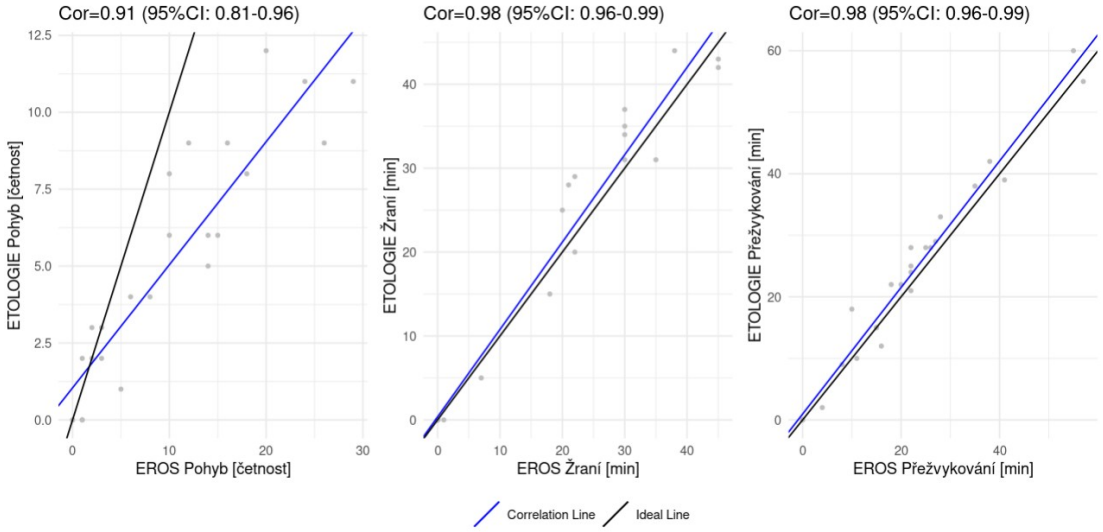
	Data z EROSu			**Data z etologie**			**Odchylka**	
Hodina	**Pohyb [četnost]**	**Žraní [min]**	**Přežvykování**	**Pohyb [kroky]**	**Žraní [min]**	**Přežvykování**	**Δ Žraní [%]**	**Δ Přežvykování**
12	3	30	10	3	34	18	12	44
13	0	0	35	0	0	38		8
14	5	0	22	1	0	28		21
15	26	35	0	9	31	0	-13	
16	10	38	11	8	44	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 Error: Reference source not found 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 23: 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

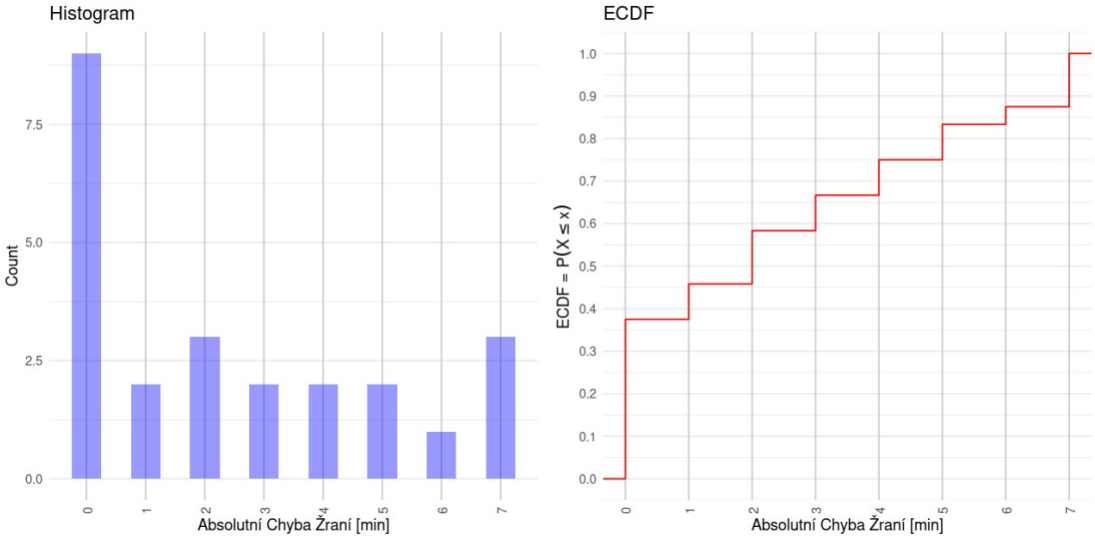
Tabulka 8 prezentuje výsledky párového t-testu provedeného s cílem určit, zda existoval statisticky významný rozdíl mezi průměrnými chybami měření pomocí EROS a ETOL. V tabulce jsou uvedeny průměrné rozdíly (AVG-DIFF), 95 % interval spolehlivosti a hodnoty P pro pohyb, žraní a přežvykování. Parametr 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

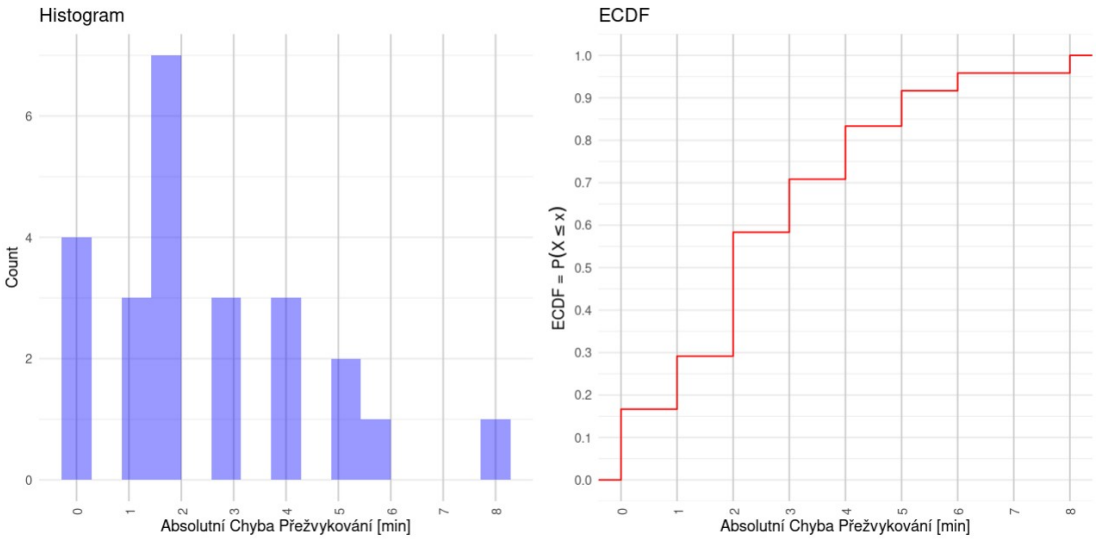
Z výsledků je patrné, že parametry žraní a přežvykování jsou v rámci hodnocení validní. Závěrem lze uvést, že údaje z EROSu lineárně asociují s referenčními hodnotami (ETOL).

Obrázek 24 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 24: Grafy distribuce absolutní chyby žraní, zdroj: vlastní

V případě přežvykování byly výsledky uvedeny na obrázku 25, 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 25: 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	∑ Pohyb [kroky]	∑ Žraní [min]	∑ Přežvykování	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 Farmsoftu představovala dokončení programu 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 jsou tato data 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. Na straně komunikačního programu byl definován výpočet odchylek aktuálního stavu od hodnoty 7denního průměru pro jednotlivé veličiny. Odchylky začínají s názvem SH (Střední hodnota). 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 uživatele sestavy, které pomáhají v každodenní práci řízení stáda. Byly navrhnuty reprodukční sestavy v programu Farmsoft, které na základě přednastaveného reprodukčního kalendáře, ve

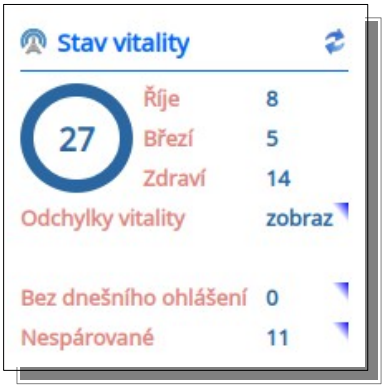
kterém se stanoví, kdy se provádějí jednotlivé pracovní úkony a výběry zvířat, tak aby uživatel dostal přehledný výstup, co má aktuálně dělat.

Obrázek 26: Farmsoft – denní hlášení, zdroj: vlastní

Na Obrázku 27 je například patrná sestava „Zaprahování“. 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

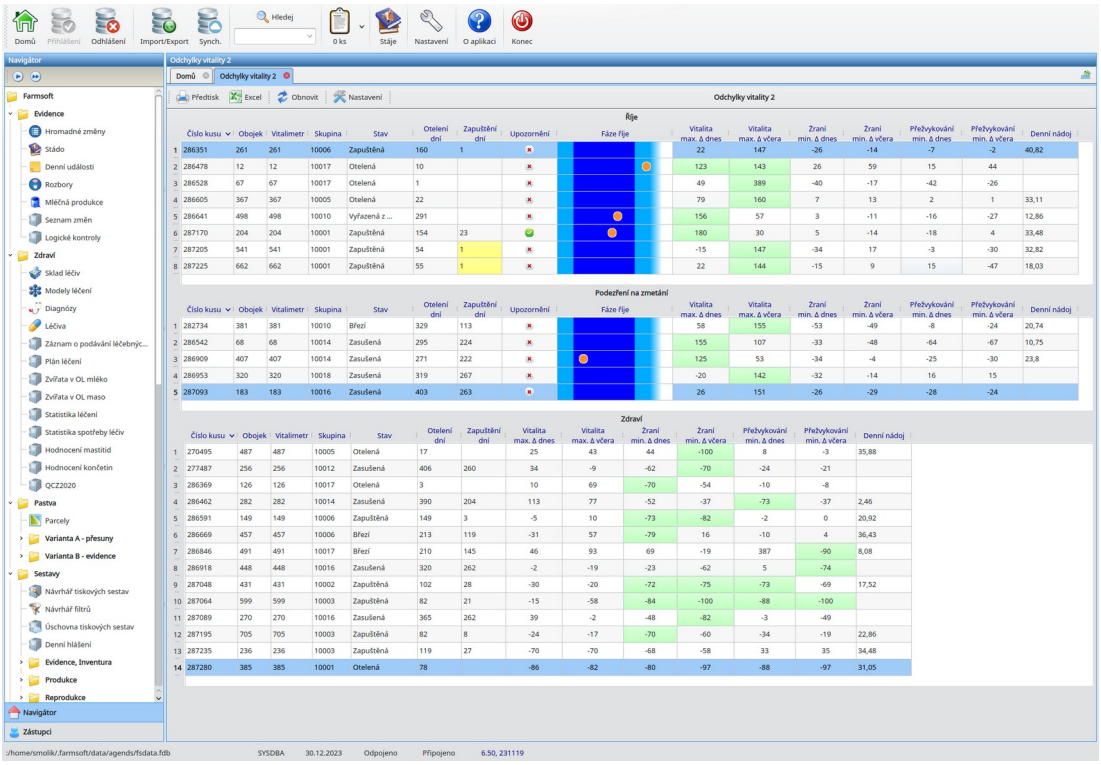
Důležitým výstupem je systém sledování odchylek životních projevů. Na úvodní stránce programu Farmsoft byl navržen panel, který přehledně ukazuje aktuální stav odchylek zdravotních stavů.



Obrázek 27: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní

Vyhodnocení bylo rozděleno na tři nezávislé sestavy, které slouží k určitému způsobu podle využití - obrázek 28. Čísla, která zobrazuje panel odchylek zdravotních

stavů říkají, kolika kusů zvířat se daná problematika týká. Sumární počet je potom zobrazen v kruhu.

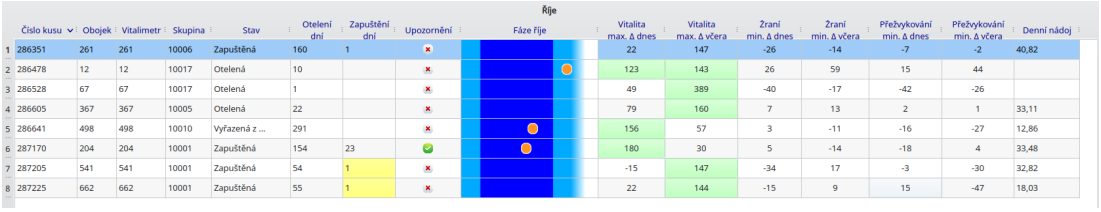


Obrázek 28: Farmsoft – sledování odchylek, zdroj: vlastní

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. Z výsledků práce Pahl et al. (2015) vyplývá, že 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, což potvrdili také Codl et al. (2022).

Důležitým pomocníkem při vyhledávání říjí jsou indikátory fází říjí – obrázek 29, 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 nachází-

me. Předpokládá se, že optimální doba pro připuštění by se měla pohybovat v rozmezí 6-18hodin, což koresponduje s výsledky práce López-Gatius (2022), přičemž rozsah zobrazovacího prvku je 0-36 hodin.

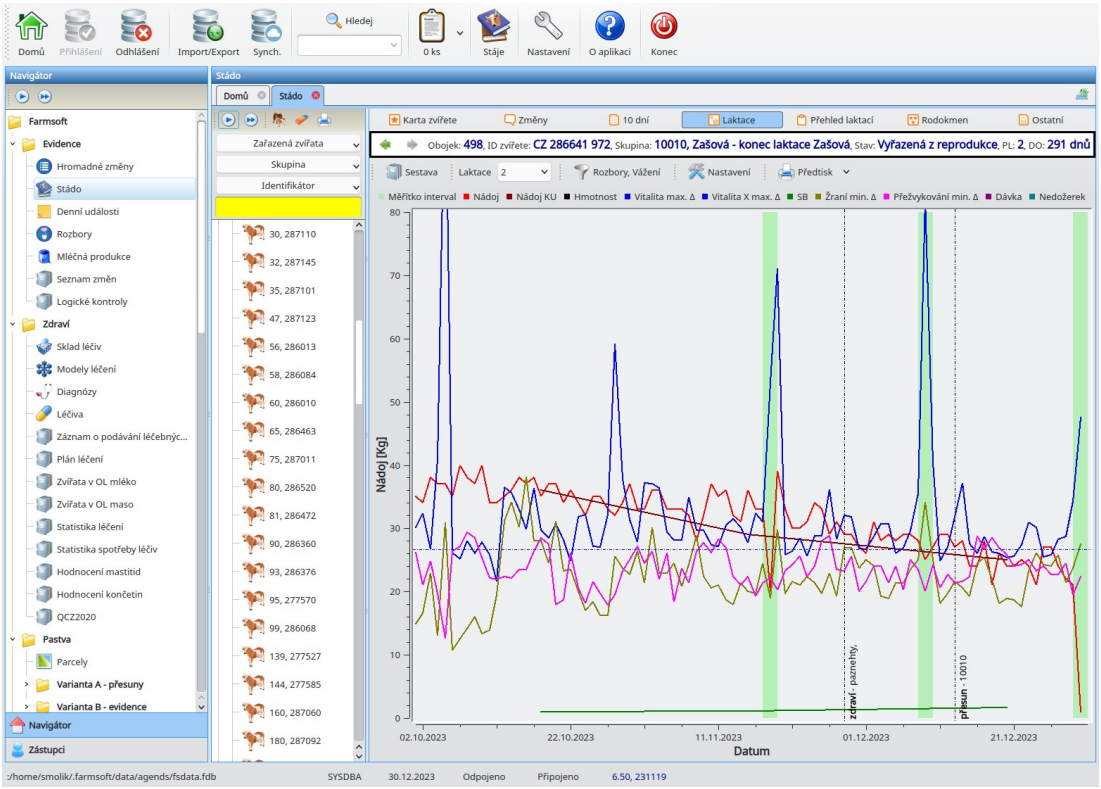


	Číslo kusu	Obojek	Vitalimetr	Skupina	Stav	Otelení dní	Zapuštění dní	Upozornění	Říje: Fáze říje	Vitalita max. Δ dnes	Vitalita max. Δ včera	Žraní min. Δ dnes	Žraní min. Δ včera	Přežvykování min. Δ dnes	Přežvykování min. Δ včera	Denní nádoj
1	286351	261	261	10006	Zapuštěná	160	1			22	147	-26	-14	-7	-2	40,82
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 29: 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 dní) 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 30) 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, což naznačuje také Rasyid et al. (2024)).

Poslední zobrazovací prvek, který je umístěn na sestavu je nazván – Upozornění. Ten se snaží shrnout zootechnikovi všechny upozornění do jednoho indikátoru, který při kladném označení (zelená fajfka) 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 30: 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 30. 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, což koresponduje s výsledky práce u prvotelek, kterou provedli Rasmussen et al (2023).

Z denního grafu je možno se překliknout na 10 ti denní hodinový graf. Zde uživatel dokáže odečíst přesnou hodinu, kdy se začala projevovat říje změnou životních projevů. Tento graf je možno vidět na obrázku 31. 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, což také potvrdili Venjakob et al. (2023).

Obrázek 31: Farmsoft – hodinové grafy aktivity, žraní, přežvyk., zdroj: vlastní

Druhá sestava z panelu odchylek zdravotních stavů slouží pro **vyhodnocování podezření na zmetání**. Sestava funguje analogicky jako sestava na upozornění na říje. Očekává se, že tato březí zvířata nebudou projevovat estrální aktivitu, ani změny v chování Ke změně v 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 byla věnována teoretickému rozboru, ve kterém byly postupně popisována témata, která mají souvislost s vlastní prací. Nejprve jsem se věnoval etologii, následně reprodukci skotu v jednotlivých životních obdobích, welfare, druhům onemocnění a reprodukčním ukazatelům. Následně v teoretickém rozboru byly popisovány systémy sledování chování pomocí pedometrů a aktivometrů s různými způsoby umístění – noze, krku, uchu a ocasu.

V praktické části práce byl nejprve popsán, postup vývoje 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 zvířat byla stanovena míra odchylky 10 %, mezi etologickým sledováním a systémem ohodnocování žraní a přežvykování pomocí navrženého algoritmu.

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 do programu Farmsoft 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.

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.

Brown, D. D., Kays, R., Wikelski, M., Wilson, R., & Klimley, A. P. (2013). Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Animal Biotelemetry*, 1, 1-16.

Cha, J. R., & Kim, J. H. (2005, July). Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system. *In 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'05)* (Vol. 2, pp. 63-67). IEEE.

Codl, R., Ducháček, J., Vacek, M., Pytlík, J., Stádník, L., & Vrhel, M. (2022). Relationship between daily activities duration and oestrus in dairy cows over the year. *Acta Veterinaria Brno*, 91(1), 11-16.

Eaton, J. W., Bateman, D., Hauberg, S., & Wehbring, R. (2019). GNU Octave version 5.2.0 manual: A high-level interactive language for numerical computations. Dostupné z: https://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/.

Kamphuis, C., Sherlock, R., Jago, J., Mein, G., & Hogeveen, H. (2008). Automatic detection of clinical mastitis is improved by in-line monitoring of somatic cell count. *Journal of Dairy Science,* 91(12), 4560-4570.

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.

Lee, M., Kim, H. K., & Yoe, H. (2021). Smart Cattle Shed Monitoring System in LoRa Network. *Software Engineering in IoT, Big Data, Cloud and Mobile Computing*, 141-152.

López-Gatius, F. (2022). Revisiting the Timing of Insemination at Spontaneous Estrus in Dairy Cattle. *Animals*, 12(24), 3565.

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.

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.

Pahl, C., Hartung, E., Mahlkow-Nerge, K., & Haeussermann, A. (2015). Feeding characteristics and rumination time of dairy cows around estrus. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 148-154.

Rasmussen, A. E., Båge, R., Holtenius, K., Strandberg, E., von Brömssen, C., Åkerlind, M., & Kronqvist, C. (2023). A randomized study on the effect of an extended voluntary waiting period in primiparous dairy cows on fertility, health, and culling during first and second lactation. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8897-8909.

Rasyid, T. G., ST Rohani, M. H., Sirajuddin, S. N., Darwis, M., & Kurniawan, M. E. (2022). Evaluation of the initial approach strategy of animal husbandry service officers on the characteristics of beef cattle farmers as determinants of the sustainability of the artificial insemination program. *Journal of Positive School Psychology*, 6(2), 1028-1037.

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.

Raychowdhury, A., & Pramanik, A. (2020). Survey on LoRa technology: solution for internet of things. *Intelligent Systems, Technologies and Applications: Proceedings of Fifth ISTA* 2019, India, 259-271.

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.

Venjakob, P. L., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2023). Associations between days in the close-up group and milk production, transition cow diseases, reproductive performance, culling and behavior, around calving of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*.

Citace webových zdrojů

ČTU (2019), Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/01.2019-1k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. [on line]. Dostupné z: https://ctu.gov.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-%202232-4F5A-8F93-64ACBABB559A .

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

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 .

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

Píša, P. (2019), Komunikační protokol uLan. [on line]. Dostupné z: http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/dipl_kom.html.

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.

7 Životopis

Ing. Petr Smolík

Narozen:	18.7.1975 v Českých Budějovicích
Adresa:	Nad Chmelnicí 641, 39181 Veselí nad Lužnicí
Telefon:	+420 777 270 950
email:	petr@smoliku.cz

Vzdělání:

Od 2015	Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích, Zemědělská fakulta, doktorské studium Obor: **Obecná zootechnika** (Disertační práce: Technické parametry systémů sledování pohybové aktivity dojnic a jejich využití ke kontrole životních projevů)
1996 – 2001	České vysoké učení technické v Praze (ČVUT) Obor: **Technická kybernetika** – Ing. (Diplomová práce: Průmyslová sběrnice Profibus DP-Extended)
1993 – 1994	SOU Chemické v Sezimově Ústí Obor: **Elektrotechnika** 26-75-4
1989 – 1992	SŠ Vimperk Obor: **Mechanik elektronických zařízení** 26-86-02

Pracovní zkušenosti

od 2020	Farmtec a.s. Manažer vývoje HW a SW
1993 – 2020	Agrosoft Tábor s.r.o. Vývojových pracovník HW a SW
2001 – 2010	České vysoké učení technické v Praze Vědeckovýzkumný pracovník – zahraniční projekty

1995 – 1996 Armáda ČR
základní vojenská služba

1993 – 1993 Kovosvit Sezimovo Ústí
Brusič obráběcích strojů

Jazykové znalosti:

anglický jazyk – pokročilý
německý jazyk – zakladní

Počítačové schopnosti:

- Operační systém Linux a Unixové deriváty
- Stavba serverů – doménový řadič SAMBA, EXIM4, Spamassas-sin, DHCP, DNS, Apache, PHP, MySQL
- Programovací jazyk Assembler, C, C++, PHP
- Návrhy embedded zařízení s architekturou MSC51, RISC a ARM
- Návrhy databázových programu, SQL relační databáze MySQL, Firebird, PostgreSQL
- Programování v QT library
- Průmyslové komunikační sběrnice – Profibus, CAN, uLan, RS 485
- Real-time komunikační protokoly publisher-subscriber
- Návrhy elektronických schématu – OrCAD
- Návrhy desek plošných spojů - OrCAD

8 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.