



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

Katedra techniky a kybernetiky

Diplomová práce

Využití infračervené termografie v managementu zdraví dojníc

Autorka práce: Bc. Barbora Beránková

Vedoucí práce: Ing. Luboš Smutný, Ph.D.

České Budějovice
2024

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím infračervené termografie v managementu zdraví dojníc. V rešeršní části se práce zaměřuje na fyziologii mléčné žlázy, termoregulaci a zvládání tepelného stresu. Dále nastíní problematiku nejčastějších onemocnění skotu s hlavním zaměřením na mastitidu.

Druhá část pojednává o infračervené termografii. Rozebírá její význam a uplatnění v provozu. Následující kapitoly se zabývají termografickými kamerami, termogramem a charakteristikou měření živých objektů. Poslední kapitola teoretické části se zaměřuje na robotické systémy a jejich využití v chovu dojníc.

Praktická část se zabývá využitím termokamer pro rozpoznávání mastitid u dojníc. Do experimentu bylo v průměru zařazeno 800 dojníc a sledované údaje byly shromažďovány od května roku 2023 do března roku 2024. K vyhodnocení dat byly vybrány termogramy vemen od dojníc s nejvyšším a nejnižším počtem somatických buněk, a ty byly mezi sebou porovnávány a statisticky vyhodnoceny.

Z výsledků pokusu se ukázalo, že v případě kamery FLIR E96 s lepším rozlišením byla kumulativní úspěšnost větší, a to 71,43 %, což lze považovat za statisticky významné. Cohenovo Kappa má hodnotu 0,407, což poukazuje na dobrou shodu. V případě kamery E6 byla kumulativní úspěšnost vyhodnocení 57,43 %. Cohenovo Kappa má hodnotu 0,132, což poukazuje na velmi malou shodu.

Klíčová slova: dojnice, počet somatických buněk, infračervená termografie, termokamera, termogram

Abstract

The thesis deals with the use of infrared thermography in dairy cow health management. The research part of the thesis focuses on mammary physiology, thermoregulation, and heat stress management. It also outlines the issues of the most common disease in cattle with a focus on mastitis.

The second part focuses on infrared thermography. It discusses its importance and application in operation. Subsequent chapters deal with thermographic cameras, the thermogram and the characteristics of live object measurements. The last chapter of the theoretical part focuses on robotic systems and their use in dairy farming.

The practical part deals with the use of thermal cameras for mastitis recognition in dairy cows. On average, 800 dairy cows were included in the experiment and the observed data were collected from May 2023 to March 2024. For data evaluation, udder thermograms from dairy cows with the highest and lowest somatic cell counts were selected and compared with each other and statistically evaluated.

The results of the experiment showed that the FLIR E96 camera with better resolution had a higher cumulative success rate of 71,43 %, which can already be considered statistically significant. Cohen's Kappa has a value of 0,407, which indicates a good correlation. In the case of the E6 camera, the cumulative success rate of the evaluation was 57,43 %. Cohen's Kappa has a value of 0,132, indicating very little agreement.

Keywords: dairy cow, somatic cell count, infrared thermography, thermocamera, thermogram

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Luboši Smutnému, Ph.D. za ochotu, vedení a odborné rady. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Janu Zichovi za vyhodnocení statistické analýzy. Velké poděkování patří mému příteli a celé mé rodině za pomoc, podporu a trpělivost během celého studia.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Literární část.....	9
	Organismus a prostředí	9
	Anatomie a fyziologie mléčné žlázy	9
	Termoregulace.....	10
	Tepelný stres	11
	Welfare.....	13
	Stájové prostředí.....	13
	Choroby skotu a jejich diagnostika	15
	Onemocnění mléčné žlázy.....	15
	Onemocnění končetin.....	18
	Reprodukční onemocnění	19
	Metabolické poruchy.....	19
	Infračervená termografie.....	21
	Mechanismy přenosu tepla.....	22
	Termografická kamera	23
	Termogram.....	24
	Specifika měření zvířat	24
	Využití robotických systémů v chovu dojnic.....	27
	Historie dojících robotů.....	27
	Roboty Lely.....	27
3	Cíle kvalifikační práce	29
4	Materiál a metodika pokusu.....	30
	Materiál	30
	Farma A.....	30
	Farma B.....	31

Farma C	32
IR kamery použité při měření	33
IR kamera FLIR E96	33
IR kamery FLIR E6	35
IR kamera Workswell WIC	36
Metodika	39
5 Výsledky a diskuse	42
6 Závěr	52
7 Přínos pro chovatelskou praxi	53
8 Seznam použité literatury	54
9 Přílohy	60
Seznam obrázků	60
Seznam tabulek	61
Seznam grafů	62
Seznam použitých zkratk	63

1 Úvod

Chov skotu je v našich podmínkách nenahraditelným odvětvím zemědělské prvovýroby. Současně je však také nejnáročnějším odvětvím živočišné výroby vzhledem ke své investiční a organizační náročnosti, pracovní vytíženosti a vysokým materiálovým nákladům.

Pro úspěšný a rentabilní chov není podstatná jen technologie ustájení a výživa, ale také veterinární péče a pohoda zvířat. Snahou chovatelů je stále zintenzivňovat výrobu a dosahovat maximálních biologických a ekonomických cílů s využitím genetického potenciálu zvířat. Tato skutečnost se však projevuje na zhoršení zdravotního stavu zvířat. Onemocnění v chovech skotu jsou často dávana do souvislosti s intenzivními systémy chovu vysokoprodukčních zvířat. Příčinu nemoci je možné hledat ve výživě, zoohygieně nebo infekci.

Nejběžnější infekce v chovu skotu je mastitida – zánět vemene, který chovatelům způsobuje velké ekonomické ztráty vyvolané snížením množství produkovaného mléka a jeho kvality. Tento stav negativně ovlivňuje také následující laktaci, délku produkčního života dojnice, reprodukci a zdravotní stav pohybového aparátu.

Zánět mléčné žlázy vzniká v důsledku proniknutí cizorodého patogenu do organismu dojnice a je indikován nárůstem počtu somatických buněk, což je jeden ze znaků mastitidy. Včasná detekce je pro chovatele klíčová. Z technologického hlediska je mléko od nemocných jedinců vyřazeno z řetězce pro výrobu potravin pro lidskou spotřebu.

Metody precizního zemědělství chovu hospodářských zvířat používají přesné měření a sledování různých veličin u individuálních zvířat. Zároveň využívají informační a komunikační technologie pro zpracování získaných dat.

Cílem diplomové práce je za pomoci moderních technologií (infračervených kamer) rychle a efektivně odhalit zdravotní problémy vemene ještě dříve, než se začnou projevovat (jiná konzistence mléka, vločky nebo otoky vemene). V důsledku včasného odhalení a rychlého zásahu chovatele je možné minimalizovat ztráty na mléčné užitkovosti a náklady na léčbu.

2 Literární část

Organismus a prostředí

Anatomie a fyziologie mléčné žlázy

Mléčná žláza skotu neboli vemeno je polokulovitý orgán, který se nachází v krajině stydké a pupeční. Vznikl přeměnou mohutně zbytnělé a rozvětvené kožní žlázy. U savců dochází k jejímu vývoji již v raném embryonálním období u obou pohlaví. Hlavní funkcí mléčné žlázy je sekrece, shromažďování a spouštění mléka (Marvan, 2017).

U skotu bylo vemeno výběrem vyšlechtěno v mohutný orgán dosahující u mléčných plemen hmotnosti 20-25 kg. Mléčná žláza se skládá ze čtyř samostatných čtvrtí, které jsou odděleny vazy upínajícími vemeno k břišní stěně. Každá čtvrt' obsahuje jednu mléčnou žlázu, která ústí do vlastního struku (Reece, 2011).

Podstatu každé čtvrtky vemene tvoří žláznaté těleso uložené nad základnou struku. Hlavní částí tohoto tělesa je žláznatý parenchym, který se skládá z velkého množství drobných lalůček spojených intersticiálním vazivem. Každý lalůček žláznatého tělesa se dále dělí na menší primární lalůčky. Středem každého primárního lalůčku prochází úzký nitrolalůčkový kanálek. Do tohoto kanálku ústí mnoho sekrečních tubulů napojených na základní jednotku mléčné žlázy – sekreční alveol (Marvan, 2017).

Syntéza mléka probíhá v alveolárních buňkách mléčné žlázy přeměnou organických látek, které jsou těmito buňkami odebírány z krve. Intenzita tvorby mléka je podmíněna dokonalým zásobováním žlázy krví, neboť na tvorbu 1 litru mléka musí vemeno krávy protéct asi 500 litrů krve (Jelínek & Koudela, 2003).

Na laktaci se však podílí celý organismus. Přeměna látek potravy na prekurzory mléka se děje převážně mimo mléčnou žlázu. Podstatná část této přeměny se odehrává v játrech a u přežvýkavců také v předžaludku, kde v důsledku kvasných procesů vznikají některé specifické prekurzory. Tyto látky se pak krví dostávají do vemene a v něm se přeměňují na složky mléka. Specifičnost syntézy v mléčné žláze je v rozdílnosti fyzikálně chemických vlastností mléka, krve, ale také přítomnosti některých látek v mléce, které v krvi nejsou obsaženy (např. kasein a laktóza) (Jelínek & Koudela, 2003).

Spouštění mléka

Uvolňování mléka je předpokladem pro docílení bezproblémové laktace. Jedná se o reflexní složitý děj vyvolávaný jak podmíněnými podmínkami, jako jsou zrakové, čichové a sluchové vjemy, tak i nepodmíněnými podmínkami, jako je stimulace struků a vemene. Reakce na všechny tyto podmínky vzniká náhle a nezávisle na tom, jak rozsáhlá část vemene byla podrážděna (Jelínek & Koudela, 2003).

Nervové impulzy vzniklé při podráždění vedou nervovými drahami přes hypotalamus do neurohypofýzy, kde dojde k vyplavení oxytocinu do krve. Hormon se přes krevní řečiště dostane do mléčné žlázy, kde vyvolá smrštění myoepitelových buněk. Tyto buňky obklopují alveoly a způsobují zvýšení tlaku, který vypuzuje mléko z alveolů přes mlékovody, mlékojemy a strukový kanálek (Reece, 1998).

Termoregulace

Hospodářská zvířata jsou homoiotermové. To znamená, že udržují stálou teplotu těla i při značných změnách teploty prostředí. Termoregulací se u skotu rozumí řízení tělesné teploty s cílem udržení její hodnoty v mezích tzv. fyziologického rozpětí. To se děje za pomoci produkce tepla (chemická termoregulace) a výdeje tepla (fyzikální termoregulace), které mohou být velmi pohotové. Produkce tepla je výsledkem metabolických procesů, při kterých dochází k výměně tepla uvnitř těla (přes buněčné a vaskulární membrány) a mezi tělem a prostředím (Taylor et al., 2014). Kromě toho se při dlouhodobém pobytu v určitých teplotních podmínkách organismus přizpůsobuje a vzniká tzv. adaptační termoregulace, kam spadá například změna tloušťky kůže, změny srsti, cévní reakce nebo úroveň metabolismu (Jelínek & Koudela, 2003).

Jednotlivé části těla mají odlišnou teplotu. Tento fakt je dán průtokem krve v dané části, vzdáleností od povrchu těla nebo úrovní metabolických aktivit. Například teplota mozku a jater je vyšší než protékající krve a ty jsou proto protékající krví zchlazovány. Naproti tomu je u končetin teplota o něco nižší. Stálý teplotní stav představuje teplota rekta, jelikož její kolísání je velmi pomalé, a proto se nejčastěji využívá k měření teplot hospodářských zvířat (Reece, 2011).

Termoneutrální zóna

Termoneutrální zóna je rozsah teplot prostředí, při kterých není nezbytné, aby byly aktivovány termoregulační mechanismy v těle zvířete. U dojnic někteří autoři udávají rozmezí teplot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Jelínek & Koudela, 2003). West (2003) ve své studii zmiňuje, že teplota prostředí se pro dojnice pohybuje mezi $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost se pohybuje mezi 40 % a 60 %. Jakmile se okolní teplota posune mimo termoneutrální zónu, musí zvíře využít svou metabolickou energii na produkci nebo výdej tepla. Tímto si však ubírá energii, která je jinak využívána pro ostatní tělesné funkce (Jelínek & Koudela, 2003).

Skot patří mezi živočichy, kteří nemají dobře vyvinutou termoregulaci, proto jsou u nich výkyvy teplot problematické. Vysoké teploty snášejí hůře než nízké. S ohledem na vystavení skotu tepelným extrémům byly pozorovány fyziologické reakce, jako je větší průtok krve kůži (rozšíření krevních cév), stimulace potních žláz a zvýšení ztrát tepla odpařováním (Godyń et al., 2019). Skot se příliš nepotí a většinu tepla odvádí zrychleným povrchovým dýcháním, tzv. termickou polypnoí. Přezvýkavci jsou navíc znevýhodněni nadměrnou produkcí tepla, které vzniká při fermentačních procesech v bachoru (Jelínek & Koudela, 2003).

Tepelný stres

Pojem stres byl poprvé použit v roce 1936 objevitelem stresové reakce Hansem Selyem, který dělal pokusy s krysami. Selye v jedné ze svých prací definuje stres jako stav projevující se specifickým syndromem, do něhož spadají všechny nespecificky vyvolané změny biologického systému (Šoch, 2005).

Podle současného fyziologického pojetí je stres definován jako souhrn obecných stereotypních zpětných reakcí organismu na působení silných dráždivých podnětů různého původu. Podle svého charakteru je stres specifickým syndromem, zatímco podle původu nespecifickým (Pljaščenko & Sidorov, 1986).

Frigeri et al. (2023) definuje tepelný stres jako biofyzikální stav, který přímo ovlivňuje biologický systém dojnic. Ke zmírnění účinků tepelného stresu se tedy používají behaviorální, fyziologické a endokrinní mechanismy. To však zvyšuje rychlost metabolismu krávy a následně má za následek ztráty produkce. Podmínky prostředí

mohou mít za následek nedostatečné mechanismy přijaté pro odvod tělesného tepla u dojnic. Podmínky tepelného stresu mají za následek akutní a chronické reakce. Akutní odpověď je realizována pomocí homeostatických regulátorů endokrinního a nervového systému a chronická odpověď vychází z endokrinního systému. Obě reakce tedy ovlivňují metabolismus dojnic.

Šoch (2005) uvádí, že stres u živočichů je tzv. dynamický stav, v němž organismus mobilizuje své obranné nebo nápravné hormonální a nervové mechanismy, jejichž prostřednictvím odpovídá na působení různých stresorů.

Stres je možno prokázat různými způsoby:

- změnami v krevním systému
- změnami hormonální produkce
- zvýšením činnosti orgánů a tím i změnou fyziologických funkcí (frekvence dechu, tepu, krevního tlaku, rektální teploty a pocení).

Vystoupí-li teplota prostředí nad hranici termoneutrální zóny, dochází u zvířat k tepelnému stresu (Pljaščenko & Sidorov, 1986). Tepelný stres je jednou z hlavních překážek pro dosažení efektivní mléčné produkce skotu. Tento stres obecně zvyšuje tělesnou teplotu a aktivuje osu hypotalamu a hypofýzy, což má za následek zvýšenou spotřebu vody a také následně snížení příjmu sušiny. Dalšími projevy je snížení mléčné produkce a zvýšení počtu somatických buněk, ztráta hmotnosti nebo opožděný růst. V extrémních případech může tepelný stres vést i k úhynu (Kamal et al., 2018).

Rozsah tepelného stresu, kterému je skot vystaven, závisí na jeho individuálních vlastnostech a faktorech prostředí, ale i strategiích managementu chovu (Brown-Brandl, 2018). V posledních desetiletích se jako indikátor tepelného stresu používá rychlost a charakter dýchání (Chapman et al., 2023).

V dnešní době je obrovský výběr možností, jak tepelný stres zmírnit, nebo ho úplně eliminovat. V první řadě je velmi podstatné správné zvolení konstrukce stáje o dostatečné kubatuře a vhodné orientaci vzhledem ke světovým stranám. Stáj by měla být dostatečně vzdušná a měla by umožnit neustálou cirkulaci vzduchu. Jedním z řešení je střecha

přesahující přes půdorys budovy (zastínění před sluncem) a boční stěny s možností zatažení a vytažení dle potřeby (Polsky & von Keyserlingk, 2017).

Pro ochlazení jsou využívány ventilátory, často v kombinaci s dalšími systémy. Jednou z možností je evaporační ochlazení, které lze rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé ochlazování funguje tak, že ochlazuje povrch těla dojnice částicemi vody (0,05-0,15 mm) pronikajícími přes srst zvířete (skrápění neboli „sprinkling“). U nepřímého ochlazení se ochlazuje vzduch okolo těla dojnice. To mohou zajistit již zmíněné ventilátory v kombinaci např. se zmlžovači (Becker et al., 2020).

Welfare

Jedním ze základních předpokladů konkurenceschopného chovu je respektování životních potřeb hospodářských zvířat. Nezbytnou součástí chovu je dodržování zásad ochrany hospodářských zvířat, poskytování pohody a optimálního životního prostředí. To vše je předpoklad pro dosažení vysoké užitkovosti (Šoch, 2005).

Cílem vědy o dobrých životních podmínkách zvířat je podle některých názorů určit, které aspekty přirozeného života jsou pro zvířata důležitá, a jak je mohou chovatelé začlenit do managementu stáda. O této složce welfare se hodně diskutuje, jelikož někteří považují přirozený způsob života za zrcadlení „evolučního“ prostředí zvířete, například matky s telaty na pastvě. Jiní naopak tvrdí, že tato interpretace a aplikace přirozeného způsobu života do způsobu hospodaření může negativně ovlivnit welfare například tím, že vystavujeme zvíře nemocem, parazitům a extrémnímu počasí (Polsky & von Keyserlingk, 2017).

Pozornost si welfare hospodářských zvířat získal už v šedesátých letech, kdy vyšla kniha Ruth Harrisonové *Animal Machines* (Harrison, 1964) a vznikla Technical Committee (Brambell, 1965). V dnešní době čím dál více roste zájem o blaho dojnic a ochranu životního prostředí ze strany spotřebitelů a zákonodárců (Logue & Mayne, 2014).

Stájové prostředí

Stájové prostředí lze definovat jako stav vzdušného prostředí ve stáji. Ten je charakterizovaný souborem fyzikálních vlastností spolu s přítomnými chemickými a

biologickými složkami. Jednotlivé faktory prostředí působí na organismus nejen přímo, ale i nepřímo na základě imunologických změn. Vzájemné působení těchto vlivů se dá jen těžko ohraničit. Některé mají pouze sezónní charakter. Například vliv překročení horních a dolních kritických teplot prostředí na organismus (Novák et al., 2000).

Dobytěk chovaný ve stájích se musí přizpůsobovat celé řadě změn souvisejících s organizací, technologií a technikou chovu. Je zcela pochopitelné, že zvířata v těchto podmínkách intenzivně reagují na veškeré nedostatky stájového prostředí, které se negativně projeví na zdravotním stavu i dané užitkovosti (Šoch, 2005).

Choroby skotu a jejich diagnostika

Nemocná zvířata narušují a zpomalují chod stáje. Jejich léčba ve většině případů vyžaduje vysoké finanční výdaje, čas a starosti chovatelů. Období rekonvalescence trvá u každého zvířete různě dlouhou dobu, a jen málokdy se vrátí k původní produkci. Žádný chovatel nechce mít ve svém stádě nemocná zvířata a s tím související starosti. Předčasné vyřazování zvířat, v horším případě úhyn, je velmi neekonomické. Důraz by měl být kladen na prevenci, nikoliv na léčbu (Weerda et al., 2021).

Onemocnění mléčné žlázy

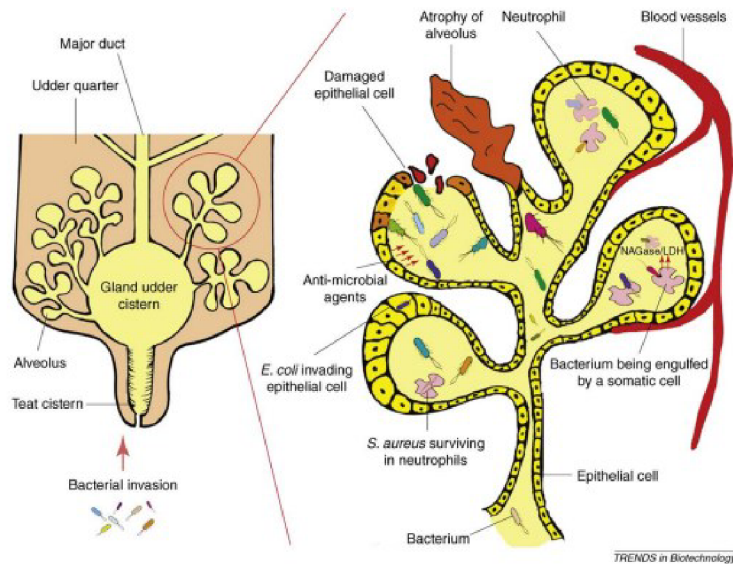
Pouze dojnice se zdravou mléčnou žlázou mohou mít vysokou užitkovost. Mastitida, infekce neboli zánět jedné nebo více čtvrtí mléčné žlázy, je jedním z nejčastějších a nejnákladnějších onemocnění dojného skotu (Green, 2012). Podle Webstera (2020) činí ekonomické náklady mastitidy 2,5 % ze zisku, pokud se zohlední všechny faktory, jako jsou náklady na veterinární ošetření, ztrátu prodeje mléka a pravděpodobnost, že kráva může být vyřazena. Strategie tlumení zánětů závisí na druhů patogenů.

Nejčastější původci mastitid:

- Nakažlivé patogeny = kontagiózní (př. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae* a další). Tyto organismy mohou přežívat a růst uvnitř mléčné žlázy. Jejich přenos může probíhat z infikované čtvrti na neinfikovanou, z krávy na krávu, při dojení prostřednictvím dojících strojů nebo rukou dojiče.
- Patogeny z prostředí = enviromentální (*Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* a další). Těmto organismům se daří v okolí krav a mléčné žlázy. Nejčastěji dojde k infekci přes strukový kanálek, přes znečištěnou a vlhkou podestýlku nebo matrace. Postižena jsou především zvířata se špatným stavem struků a s oslabenou imunitou.
- Nebakteriální původci = kvasinky a řasy (Hofírek, 2009).

Aby patogenní bakterie mohly způsobit onemocnění, musí vykazovat určité faktory virulence, což jsou mechanismy, které jim dovolují přežití a množení v různých tkání

hostitele. Bakteriální buňky produkují řadu enzymů a toxinů, které jim umožňují pronikat do hostitelských buněk, podílet se na rozvoji zánětlivé reakce, nebo se vyhnout zničení imunitním systémem (Rajagopal, 2009).



Obrázek 1: Schematické znázornění vývoje mastitidy infikovaného vemene (Viguiet et al., 2009)

Z diagnostického hlediska je třeba určit a kategoricky zařadit, zda se jedná o zánět ve formě subklinické nebo klinické mastitidy. Subklinická forma je infekce bez klinických příznaků, při které je mléko po smyslové stránce bez změn. Tento stav může být rozpoznán na základě zvýšeného počtu somatických buněk (PSB) a nálezů patogenů při mikrobiologickém vyšetření (Saila et al., 2023). Další změny se mohou projevit zvýšenou elektrickou vodivostí mléka.

Klinická mastitida se zobrazuje jako zánětlivá reakce na infekci. Projevuje se zvýšením PSB, přítomností původců mastitid v mléce a změnou smyslových vlastností mléka (Hofírek, 2009).

Podle stupně závažnosti se klinické mastitidy rozdělují na tři skupiny:

- U klinické mastitidy mírného stupně dochází ke smyslovým změnám sekretu mléčné žlázy (vločky, sraženiny v mléce, změna barvy a konzistence) a jeho vodivosti. Změny triasu jsou nevýrazné a celkový zdravotní stav není narušen.

-
- Při středním stupni závažnosti je postižená čtvrt vemene oteklá, zarudlá a bolestivá. To také může ovlivnit chování zvířete při dojení (změna postojů a kopání). Dojnice má zvýšenou teplotu a snížený příjem potravy a přežvykování.
 - Klinická mastitida vysokého stupně se projevuje vysokou horečkou a zvýšenou frekvencí dechu. Postižené čtvrtě vemene jsou výrazně oteklé, tuhé, zarudlé a bolestivé. Je narušen celkový zdravotní stav, hrozí anorexie, dehydratace a ulehnutí (Scott et al., 2011).

Vznik zánětu mléčné žlázy je kromě přítomnosti patogenů závislý také na faktorech ovlivňujících náchylnost zvířete k infekci. Častěji se mastitida objevuje u starších krav, které mají v důsledku častého dojení širší nebo dokonce stále otevřený strukový kanálek. Nejvyšší výskyt mastitid byl pozorován v rané fázi laktace, což souvisí s potlačením imunitního systému vyvolaném negativní energetickou bilancí, do které vstupuje většina krav v časně laktaci (Cheng & Han, 2020).

Detekce mastitid

Systémy detekce mastitid jsou stále sofistikovanější. Včasná diagnóza je velmi důležitá z důvodu vysokých nákladů. Právní předpisy Evropské unie nařizují, že mléko určené k lidské spotřebě musí pocházet výlučně od zdravých krav (nařízení ES č. 853/2004) (Viguier et al., 2009).

K posouzení kvality mléka se využívá řada metod. Jednou z nejrychlejší detekce je vizuální posouzení mléka oddojením na černou plochu a zhodnocení změn mléka. Ve stáji se rovněž využívají NK-testy, které po přidání roztoku a v přítomnosti vysokého PSB zgelovají. Pro zjištění PSB se také využívají speciální čidla či přístroje, které mohou být součástí dojících robotů nebo dojíren. Mléko od zdravých nebo neinfikovaných krav obsahuje do 100 000 somatických buněk v 1 ml mléka (Stuhr et al., 2013). Jako další kontrola se využívá měření vodivosti mléka. Zvýšená hodnota vodivosti je způsobena vyšší koncentrací iontů v mléce během zánětu, jako jsou sodík, draslík, vápník, hořčík a chlorid (Viguier et al., 2009). Stanovení pH mléka je také jedna z možností detekce mastitid. Provádí se pomocí indikátorových papírků nebo pH metrem. Mléko od zdravé dojnice má hodnoty pH 6,3 – 6,7 (Vasil et al., 2001). V poslední době je jednou

z nejčastěji používaných metod pro indikaci zánětu mikrobiologické vyšetření. Pro toto vyšetření se odebírají individuální nebo bazénové vzorky mléka. Přimo ve stáji lze provést kultivaci pomocí komerčních testů, které umožňují rozlišit G- a G+ bakterie. Identifikace patogenů je důležitá pro rozhodnutí o léčbě a výběru vhodných a účinných medikamentů (Saila et al., 2023).



Obrázek 2: NK-test (Scott et al., 2011)

Onemocnění končetin

Onemocnění paznehtů spadá spolu s poruchami reprodukce a mastitidami k nejčastějším příčinám předčasného vyřazení dojníc z chovu. Jde o celosvětový problém s různou intenzitou výskytu v chovech skotu. V první řadě je způsobeno technologií ustájení a četností odklizu výkalů (Hofírek, 2009). Trvale znečištěné a vlhké chodby ve stáji podporují rychlé šíření původců nemocí, kteří mohou snáze proniknout do změkčené rohoviny a kůže končetin. Tvrdá, úzká a nepohodlná lože způsobuje otlaky, vředy a vede tak ke zkrácení doby odpočinku. Paznehty jsou pak nadměrně zatěžovány a nemohou dostatečně oschnout. Dále může být zdravotní stav končetin ovlivněn genetickou predispozicí nebo výživou. Užiteklost kulhavých krav je zřetelně snížena, protože bolesti při stání a chůzi vedou k poklesu příjmu vody a krmiva, snížení projevů říje a úbytku na hmotnosti (Weerda et al., 2021).

Reprodukční onemocnění

Poruchy reprodukce a onemocnění pohlavního ústrojí limitují reprodukční výkonnost jednotlivých zvířat a ekonomickou rentabilitu chovu. Při narušení celkového zdravotního stavu nebo welfare dojnic může dojít k poruchám jejich reprodukční funkce. Samotné poruchy reprodukce ale výrazně neovlivňují celkový zdravotní stav dojnic (Hofírek, 2009).

Nepřetržité sledování a hodnocení úrovně reprodukce je nezbytné z hlediska prevence, včasného řešení jednotlivých problémů a tím minimalizace ekonomických ztrát. Cílené zásahy do reprodukce nepředstavují pouze léčbu systémového onemocnění s cílem návratu patologického stavu do stavu fyziologického, ale i uměle navozené změny fyziologických procesů k vyššímu využití a případné modifikaci genetického potenciálu zvířat. (Weerda et al., 2021)

Mezi nejčastější poruchy plodnosti patří morfologické anomálie pohlavního aparátu, poruchy pohlavního cyklu, záněty pohlavních orgánů a pohlavní nákazy (Hofírek, 2009).

Metabolické poruchy

Metabolická onemocnění často probíhají subklinicky a jsou často způsobeny chybami ve výživě a krmení. Poruchy metabolismu skotu mohou mít vážný dopad na ekonomiku celého stáda, zejména pokud se jedná o skupinový (stádový) problém. Poruchy látkové výměny nejsou vždy považovány za onemocnění v klinickém nebo patologickém smyslu. Typické metabolické onemocnění jsou subklinické, tj. skryté nebo chronické (Hindman, 2023).

Dříve byly nemoci související s výživou často způsobeny nedostatkem konkrétní složky krmiva. V současné době jsou tato onemocnění způsobena především nevhodně sestavenou krmnou dávkou, krmnou dávkou neodpovídající kategorii či druhu nebo při náhlé změně krmiva. Kromě toho mohou být metabolické poruchy způsobeny i látkami obsaženými v krmivu, cizorodými látkami nebo kontaminací krmiva (Hofírek, 2009).

Objevují-li se metabolické problémy často nebo hromadně, je žádoucí přistupovat k problému systematicky a od základu. To zahrnuje shromáždění všech dostupných dat a informací o postižených zvířatech. Mezi nejdůležitější informace spadá pořadí a stadium laktace, průběh porodu, mléčná užitkovost a složky v mléce. Weerda et al., (2021) uvádí,

jaké ukazatele nemocnosti by neměly být překročeny a jak by měly některé cílové hodnoty ve stádě vypadat.

Rozmezí hodnot ukazatelů nemocnosti dojnic:

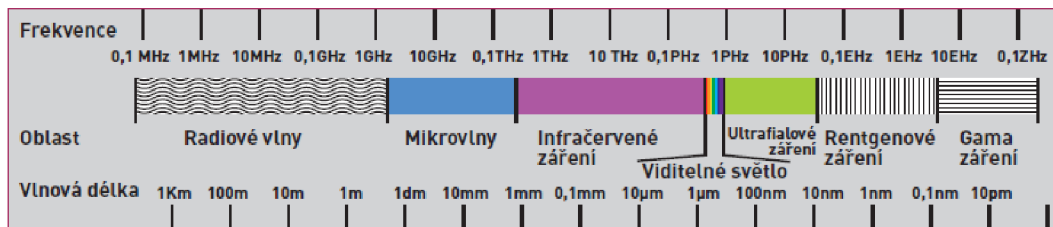
- ketóza < 10 %
- dislokace slezu < 3 %
- bachorová acidóza < 5 %
- poporodní paréza < 5 %

Infračervená termografie

Infračervená termografie (IRT) je neinvazní (neprodukuje žádné škodlivé záření) a bezpečnou metodou zobrazování teplotního profilu měřeného objektu. V současnosti je tato metoda považována za samostatný vědní obor. V důsledku technického vývoje našla tato metoda velké uplatnění v průmyslu, a to zejména strojírenství, stavebnictví, energetice, ale i u armády, policie či záchranných sborů. Další uplatnění našla tato metoda v humánní a veterinární medicíně a dnes již i v zemědělství (Diakides et al., 2012).

U živých organismů je IRT používána jako pomocná nespecifická metoda, která odhaduje tepelné rozdíly mezi symetrickými oblastmi těla. Zachycuje pouze přirozené záření vycházející z povrchu těla zvířete. Tento způsob měření umožňuje dálkové odečítání tepla, což nevyžaduje přímý fyzický kontakt s monitorovaným povrchem objektu. IRT je vhodným prostředkem pro studium podmínek welfare u zvířat a jejich adaptačních a termoregulačních systémech (Knížková & Kunc, 2021).

Je známo, že všechna tělesa, teplejší než absolutní nula (0 Kelvinů = $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) vysílají infračervené záření (IR). Tělesa o teplotě v oblasti desítek $^{\circ}\text{C}$ jsou dobře detekovatelná v infračervené části spektra.



Obrázek 3: Elektromagnetické záření – řazeno podle vlnové délky (Knížková a Kunc 2020)

Objevitelem infračerveného záření je Sir William Herschel (1738-1822), který proslul jako významný astronom a konstruktér zrcadlových dalekohledů.

Infračervené záření se v celkovém rozsahu (vlnové délky) dělí na jednotlivá pásma.

Oblasti infračerveného záření:

- blízké (0,76–5 μm)
- střední (5–30 μm)
- dlouhé (30–1000 μm) (Knížková & Kunc, 2021).

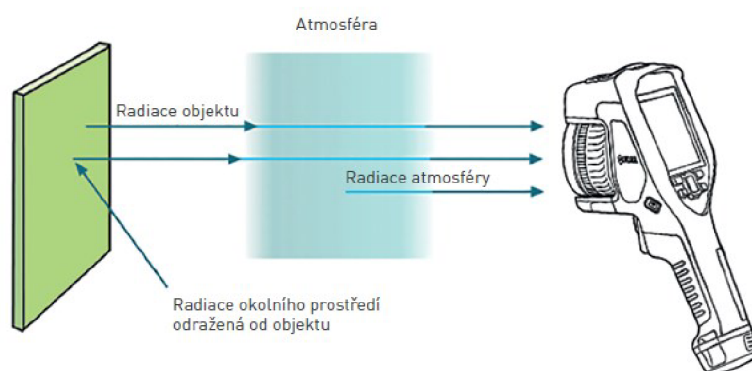
IRT lze dobře využít ve veterinární medicíně jako neinvazivní nástroj pro sledování zdraví v precizním chovu dobytka, který by mohl být počítačově automaticky zpracováván a mohl následně sloužit jako nástroj pro sledování nemocí (Godyń et al., 2019).

Mechanismy přenosu tepla

Přenos tepla lze chápat jako přenos energie z jednoho objektu na druhý. Tepelná energie vzniká z jiných druhů energie podle zachování energie (I. zákona termodynamiky). Druhý termodynamický zákon řídí přenos tepelné energie. Existují tři způsoby výměny tepla – vedení, konvekce a sálání. Tyto způsoby vždy přenášejí tepelnou energii z jednoho místa na druhé, z tělesa o vyšší teplotě na těleso o nižší teplotě. Fázové změny spojené s vodou, jako je vypařování, mohou tyto procesy zesílit (Havens & Sharp, 2016).

Termokamera měří vyzařované infračervené záření z měřicího objektu jen z jedné třetiny. Infračervené záření dopadající na snímač se skládá ze tří složek, jak můžeme vidět na obrázku č. 4. Záření vydávané atmosférou, záření od okolního prostředí (odražená zdánlivá teplota) a vlastní záření měřeného objektu (Knížková & Kunc, 2021).

Mezi termografickou kamerou a měřeným objektem je vždy vrstva vzduchu. Jelikož je vzduch teplejší než absolutní nula, tak i on vyzařuje tepelné záření. Z tohoto důvodu je potřebné mít údaje i o teplotě vzduchu, relativní vlhkosti a vzdálenosti mezi kamerou a měřeným objektem. Tyto údaje je vhodné do kamery či vyhodnocovacího software zadávat, aby byl získán reálný termogram (Knížková & Kunc, 2020).



Obrázek 4: Složky záření dopadající na snímač (Knížková & Kunc, 2021)

Termínem „odražená zdánlivá teplota“ označujeme záření vyzařované z objektů a následně odražené od měřeného objektu. Intenzitu odrazu určuje emisivita (Knížková &

Kunc, 2020). Emisivitu je dost obtížné určit, jelikož závisí na souboru neustále se měnících parametrů, včetně teploty, úhlu pohledu a povrchových vlastností (vady, nerovnosti, srst, peří) (Havens & Sharp, 2016).

Mimo správné posouzení určitých složek dopadajícího záření je nutné brát v potaz další faktory ovlivňující výsledný termogram. Záznamy sledovaných objektů není vhodné pořizovat při znečištění nebo výskytu vlhkých míst na objektu, při negativním podnebí (sněhové nebo dešťové srážky, přímé sluneční záření nebo zvýšené proudění vzduchu) nebo při pokrytím cizím materiálem (Schütz et al., 2010). Další činitel, který má vliv na měření, jsou biologické faktory, do kterých lze zařadit březost, fázi laktace, ležení, kvalitu a barvu srsti, biologické rytmy, fyzickou zátěž a podávání léků (D.S. et al., 2018).

Termografická kamera

Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné. Proto bylo snahou toto záření zviditelnit a využívat ho v různých oborech lidské činnosti. Po dlouhodobé snaze a vědeckému pokroku byly vyvinuty systémy, které jsou schopny nejen záření zaznamenat, ale i ho pro lidské oko zviditelnit. K zobrazení infračerveného záření se využívá speciální zařízení, které můžeme nelézt pod názvy termografická kamera, termokamera, infrakamera nebo i termovizní kamera (Knížková & Kunc, 2021).

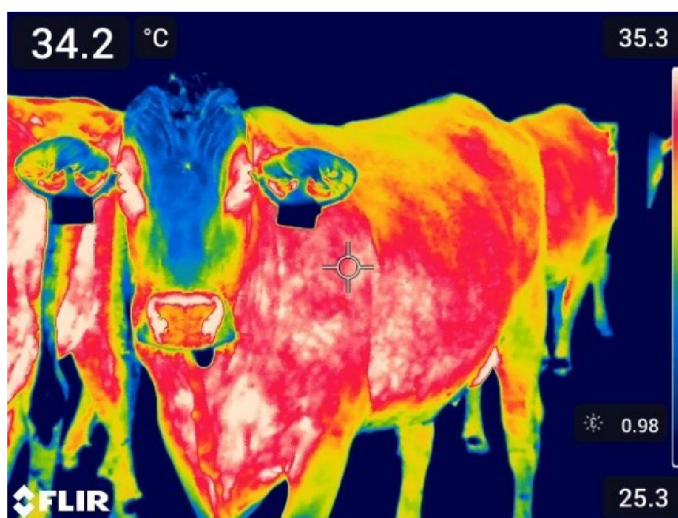
Systémy zobrazování podle rozlišovací schopnosti detektoru termografické kamery:

- NIR (Near Infrared) – blízké infračervené spektrum 0,9-2,5 μm
- SWIR (Short Wave) – krátkovlnný systém 2,5-5 μm
- MWIR (Mid Wave) – středněvlnný systém 3-5,5 μm
- LWIR (Long Wave) – dlouhovlnný systém 7,5-14 μm (Knížková & Kunc, 2021).

Uživatelé termokamer se musí předem rozhodnout, k jakému účelu si je pořídí. Poté mohou posoudit nabízené parametry. Základem je rozlišení snímače. Podle Knížkové a Kunce (2020) spočívá princip v tom, že pro správnou interpretaci teplotního stavu měřeného objektu musí být tento objekt pokryt plochou 3x3 měřícími body (pixely).

Termogram

Termogram, nebo také termovizní snímek či tepelný obraz, je infračervený snímek pořízený termografickou kamerou. Takovýto snímek zobrazuje intenzitu tepelného záření z povrchu sledovaného objektu. IR záření je na snímku „vizualizováno“ pomocí barevné palety, kde je ke každé teplotě přiřazena jedna barva nebo barevný odstín. Termovizní snímek obvykle zobrazuje stupnici těchto barev a jejich odstínů. Existuje několik typů barevných palet. Ke standartním patří barvy železa (iron), barvy duhy (rainbow) a odstíny šedi (grey) (Havens & Sharp, 2016).



Obrázek 5: Termogram – barvy duhy (vlastní)

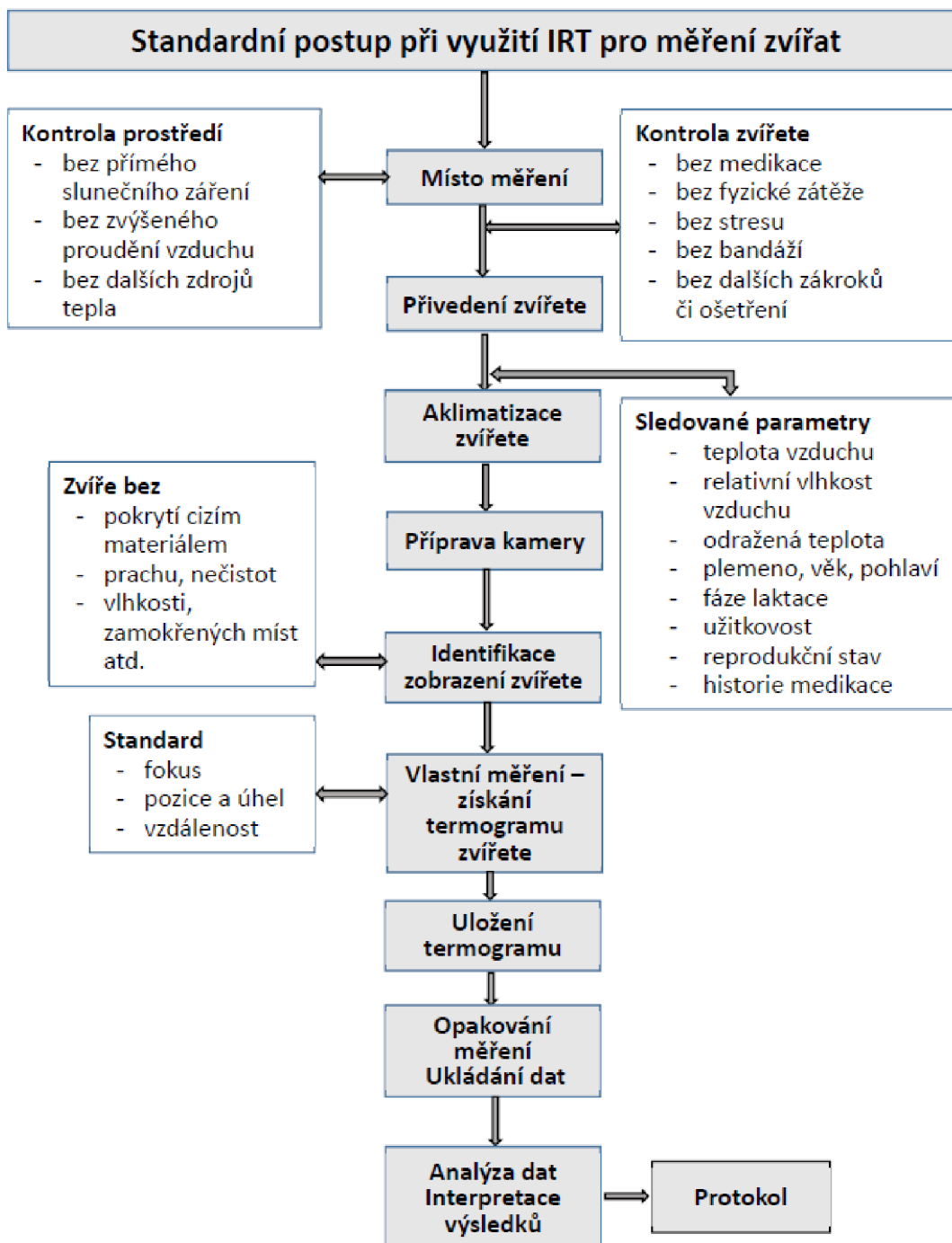
Termogramy lze rozdělit na radiometrické a neradiometrické podle způsobu obsahu dat. Radiometrickými termogramy lze určit povrchovou teplotu zkoumaného objektu (např. určit teplotu vybraných bodů apod.), snímky lze dále zpracovávat a vyhodnocovat pomocí speciálních počítačových programů a parametry lze měnit i po uložení snímku. Neradiometrické termogramy takové možnosti nenabízejí a zobrazují pouze stav snímku v době uložení (Knížková & Kunc, 2020).

Specifika měření zvířat

Před měřením je nutné si určit, jaké informace se očekávají. Má-li být sledován akutní stav (např. úraz), lze jej měřit okamžitě, ale informace nelze zobecnit. Nebo je třeba získat přesnou informaci o stavu měřeného zvířete (např. úspěšná léčba), pak je potřeba na měření zvíře připravit (Knížková & Kunc, 2021).

Základní příprava spočívá v jeho uklidnění, minimalizaci změn mikroklimatu, omezení pohybu a stresových situací. Je také důležité dodržovat zásadu nedotýkat se zvířete, tj. omezení fyzického kontaktu. Před měřením se doporučuje aklimatizace v délce alespoň 15 až 20 minut. Před měřením je rovněž nutné si přesně zaznamenat stav zvířete (např. zdravotní stav, příjem vody a potravy a podávání léků). Dobrým pravidlem je pořídit několik opakovaných snímků, zejména na krátkou vzdálenost, jelikož hrozí riziko rozostření v důsledku pohybu zvířete. Ve velkochovech je velice obtížné tyto podmínky dodržovat a monitorování pomocí IR kamery tak naráží na mnohé limity (Knížková & Kunc, 2021).

Použití IRT u hospodářských zvířat nebylo v minulosti tak běžné, nicméně v poslední době se dostává do popředí zájmu v oblasti chovu. Zpočátku se infračervené záření používalo především ke studiu termoregulačních a adaptačních schopností zvířat nebo k diagnostickým účelům. V poslední době, s příchodem nových aktuálních problémů se IRT používá také pro výzkum a hodnocení tepelné pohody, hodnocení kvality prostředí, a také v souvislosti s omezováním stájových plynů v atmosféře (Knížková & Kunc, 2020).



Obrázek 6: Standardní postup měření (Knížková & Kunc, 2021)

Využití robotických systémů v chovu dojnic

Historie dojících robotů

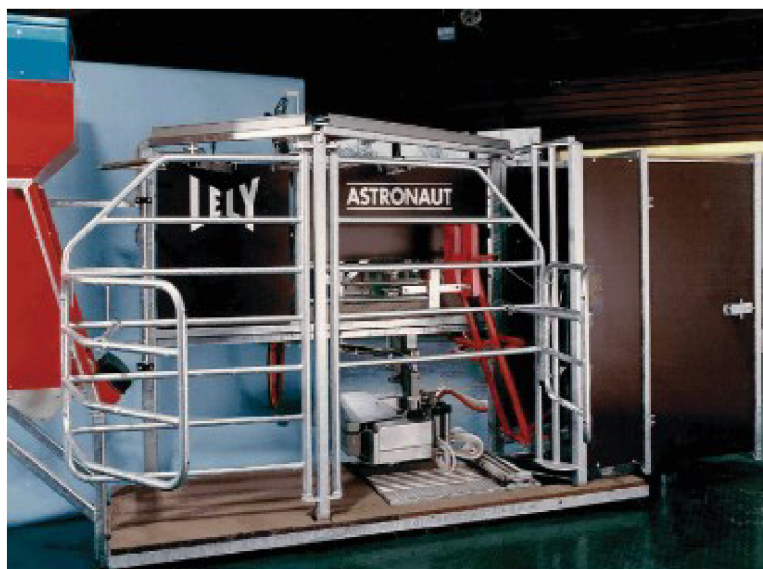
Jedním z nejvýznamnějších vynálezů 20. století pro farmy s dojným skotem je bezprostředně představení dojícího robotu. Úplně první pokusy automatického dojení vznikaly v 70. letech 20. století, když vzrostla cena práce dojičů a atraktivita zaměstnání v zemědělství klesla (Machálek, 2009).

Nejrychlejší vývoj byl v Nizozemsku. Vůbec první průmyslově vyrobený dojící robot byl uveden do provozu v roce 1992. Na jeho uvedení do provozu se podílelo několik vyspělých průmyslových firem a výzkumných pracovišť. Od tohoto roku velice rychle roste počet farem s dojícími roboty. V roce 2003 se AMS (automatic milking systems) vyskytoval více než na 2200 farmách (De Koning, 2004).

V České republice byl první dojící robot (Lely Astronaut A2) nainstalován na farmě v Pacově (Selekta Pacov, a.s.) a uveden do provozu na podzim roku 2003. V dalším roce byl na farmu v Polici nad Metují (ZD Ostaš) pořízen dojící tandemový vícemístný robot s dojícím stáním 2x4 (Zenith). V následujících letech se přidávaly další instalace. Další vysoký nárůst instalací dojících robotů byl zaznamenán v letech 2006 a 2007, kdy bylo shodně nainstalováno 28 robotizovaných dojících stání. Od roku 2008 se v České republice začaly montovat roboty VMS (firmy DeLaval) a Galaxy (firmy Insentec). Tento významný nárůst byl způsoben relativně stabilní výkupní cenou mléka, příznivou zemědělskou a dotační politikou státu a nedostatkem kvalifikovaných dojičů. Důležitou roli také hrálo úsilí a snaha menších farmářů zachovat rodinný charakter farmy, získat více času pro rodinu a kvalitnější život (Machálek, 2009).

Roboty Lely

Firma Lely byla založena v roce 1948 v Nizozemí bratry Arijem a Cornelisem van der Lely. Jako jejich první vynález byl paprskový shrnovač. Přes shrnovače, rozmetadla, žací lišty a rotační brány se firma začala soustředit na živočišnou výrobu a následně na robotické dojení. V roce 1992 společnost Lely představila prototyp dojícího robota LeLy Astronaut (Lely, 2024).



Obrázek 7: Prototyp dojícího robota Lely Astronaut (Lely.com)

Pro chovatele mléčného skotu to byl jeden z nejdůležitějších vynálezů 20. století. V roce 1995 společnost Lely přinesla na trh revoluci robotického dojícího systému a oficiálně představila dojící robot Lely Astronaut. Na přelomu 21. století firma spustila do provozu další generaci robotů Lely Astronaut A2 Evolution, včetně statistického systému detekce struků a obnoveného vakuového systému. V roce 2005 se začal vyrábět dojící robot Lely Astronaut A3, který nabízel modernější design, pokročilejší technologii, větší spolehlivost a flexibilitu. Jako další model byl robot Lely astronaut A4 z roku 2010. V současné době je nejmodernějším model Lely Astronaut A5 z roku 2018, který je úspornější, má vylepšenou detekci struků a tišší provoz než jeho předchůdce. Aktuálně je v provozu přes 40 000 dojících robotů Lely po celém světě, 19 000 z nich jsou roboty modelu A4.

Kromě robotického dojení se společnost zabývá i automatizací technologie stáje, do které spadá mobilní čistič a sběrač Lely Discovery, přihrnovač krmení Lely Juno nebo krmný automat Lely Vector (Lely, 2024).

3 Cíle kvalifikační práce

Cílem diplomové práce bylo detailní sledování stáda dojnic s různou technologií dojení se zaměřením na zdravotní stav, především vemene a struků s využitím infračervené termografie.

4 Materiál a metodika pokusu

Materiál

Do sledování byly zahrnuty tři farmy. Každá farma má jiný způsob dojení. Farma A má dojícího robota. Na farmě B jsou krávy dojeny v rybinové dojárně. Na Farmě C k dojení využívají robotickou dojírnu.

Farma A

Farma se nachází v bramborářsko-obilné oblasti, nedaleko Havlíčkova Brodu v nadmořské výšce 422–450 m n.m. Celková výměra půdy činí 165 ha, z toho je 40 ha trvale travních porostů. Zbytek je orná půda, která slouží jako zdroj krmivové základny pro chovaný skot. Z této základny je průměrně 35 ha kukuřice, 42 ha jetelovin a GPS a zbylých 48 ha obilovin. Podnik si nevyrobí vlastní šrot ani granule, ale spolupracuje s nedalekou mísírnou krmiv, kde má krmný fond.

Na farmě se chová celkem 160 kusů holštýnského skotu, z toho 60 krav dojených, 8 zaprahých a před otelením, zbytek tvoří mladý dobytek s telaty. Užítkovost v roce 2023 byla 10 920 kg mléka na laktaci s obsahem tuku 4,28 % a bílkovin 3,64 %. V roce 2012 byl do stáje nainstalován dojící robot Lely Astronaut A4, který farmu posunul kupředu a majitelům ulehčil spoustu práce. Krávy přicházejí do dojícího automatu v průměru 3,3x za den. Počet návštěv je individuální a úzce souvisí s nádojem dojnice. Jako motivace pro zvířata navštěvovat robot slouží jaderné krmivo, které dostávají v průběhu dojení. Jádru je přidáváno v závislosti na užítkovosti a jako doplněk krmné dávky pro zvýšení produkce.

Směsná krmná dávka je zakládána 1x denně krmným vozem. K přihrnování slouží přihrnovač Lely Juno, který denně jezdí cca 7x, což vede k vyššímu příjmu krmiva u všech krav. Napájení je z napájecích žlabů.

Ustájení dojníc je řešeno ve volné prosvětlené stáji, která kdysi sloužila jako odchovna mladého dobytka (pod označením K 102). V roce 2012 byla stáj rekonstruována a zvětšena o jednu chodbu a krmný stůl. Doprostřed stáje byl umístěn dojící robot. Kravín má tři hnojné chodby. Podlaha i postýlky jsou betonové se slámou a stlaným provozem. Vyhrnování exkrementů a přistýlání probíhá denně malým, obratným manipulátorem.

Ventilace je zajištěna bočními shrnovacími plachtami, které chovatel ovládá manuálně. Ve stáji je nainstalováno rotační drbadlo s elektrickým pohonem.

Dojnice mají obojky s respondéry, které slouží k identifikaci v dojícím robotu. Přes obojky se také sleduje aktivita krav a vyhodnocuje se optimální moment k inseminaci. Systém Lely používá program Lely Horizon, který dále o dojnících zaznamenává řadu údajů, jako například vodivost a teplotu mléka, přežvykování a spoustu dalšího. Program díky těmto datům dokáže predikovat vývoj laktace i výskyt zdravotních problémů.

Astronaut A4 disponuje mnoha funkcemi. Po vstupu do robota se dojnici očistí vemeno včetně základny a všech struků. Kartáčky zároveň provádějí účinnou dotekovou stimulaci důležitou pro uvolnění oxytocinu. V robotickém rameni jsou uložena čidla, která snímají u každé čtvrti základní parametry (barvu mléka, konduktivitu, dobu dojení, čas rozdojení, rychlost dojení a teplotu). K hygieně dojení jsou využívány tři čisticí produkty. První dva se využívají k dennímu automatickému čištění, které probíhá třikrát denně. Dvě z těchto čištění probíhají za využití zásaditého přípravku a jedno probíhá s použitím kyselého přípravku. Třetí přípravek je využíván na čištění kartáčků, jejichž čištění probíhá po každém dojení. Pro ochranu strukového kanálku po dojení se využívá speciální sprej na bázi PVP jodu. Jednotka M4Use slouží pro separaci mléka. Pro mlezivo, mléko neodpovídající parametrům kvality, nebo pro mléko od léčených krav, lze nastavit individuální separaci. Dalším pomocníkem je Shuttle, zařízení pro odběr vzorků. Shuttle automaticky odebírá jeden vzorek z každého dojení, např. během kontroly užitkovosti. V průběhu každého dojícího cyklu lze efektivně monitorovat hmotnost dojnice, jelikož kráva po celou dobu stojí v robotu na váze.

Farma B

Farma B je školní statek sloužící jako účelové hospodářství pro výuku praxe žáků zemědělské školy. Statek obhospodařuje pozemky v Jihočeském kraji s nadmořskou výškou pozemků mezi 350–400 m n. m. Půdy jsou převážně střední, středně hluboké a skeletovité. V současné době hospodaří na výměře cca 330 ha.

Rostlinná výroba je zaměřena na zajištění krmivové základny pro živočišnou výrobu a na pěstování tržních plodin (potravinářská pšenice, řepka ozimá a brambory konzumní).

Živočišná výroba je zaměřena na chov českých plemen hospodářských zvířat. Převážná část je soustředěna na chov skotu s produkcí mléka a hovězího masa. Chovaná plemena jsou Český strakatý skot, Normandský skot a Holštýnský skot. Na statku je v průměru 123 krav, mladý dobytek a telata. Užitek se pohybuje okolo 8 400 kg mléka za laktaci s obsahem tuku 4,02 % a bílkovin 3,61 %.

Z důvodu praktické výuky jsou na statku chovány formou malochovu i další druhy hospodářských zvířat. Na statku se chovají 3 plemena koní, 7 plemen prasat, 4 plemena ovčí, 2 plemena koz a 5 druhů drůbeže.

Stávající stavba je volná stáj s jednou průjezdnou krmnou chodbou a dvěma řadami lehacích boxů na obou polovinách stáje. Provoz je stlaný, jako stelivo slouží sláma s každodenním vyhrnováním a nastýláním.

V poslední době došlo k modernizaci stájové technologie v odchovně mladého dobytka a ke zpevnění hnojiště. V produkční stáji pro dojnice je rybinová dojírna Fullwood, kterou ale v budoucnu nahradí dojící robot. Dojírna je poloautomatizovaná, osazena elektronikou AfiMilk s automatickým ukončením dojení a identifikací pomocí pedometrů AfiTag. Dojírna je dále vybavena systémem PeraSPRAY pro mezidezinfekci strukových návleček.

Farma C

Farma se nachází v okrese Pelhřimov. Podnik se specializuje převážně na živočišnou výrobu, přičemž polovinu svých příjmů získává z produkce mléka. Dalším významným zdrojem příjmů je bioplynová stanice s výkonem 1 200 kW, která zpracovává vedlejší produkty ze živočišné výroby, jako je hnůj, kejda, nezkrmené a nezkrmitelné zbytky krmiva, travní senáže a kukuřičná siláž. Vedlejším produktem bioplynové stanice je digestát, který se využívá jako hnojivo a pomáhá tak snižovat náklady na průmyslová hnojiva. Z rostlinné výroby se firma zaměřuje především na pěstování krmných plodin pro živočišnou výrobu, jako je jetel a kukuřice. Celkem hospodaří na 850 hektarech orné půdy a 570 hektarech trvalých travních porostů. V chovu má 550 dojnic a 540 telat holštýnského plemene.

Společnost provedla modernizaci výměnou staré kruhové dojírny za robotickou kruhovou dojírnu DairyProQ od firmy GEA. Společnost GEA také dodala obojky

CowScout, které jsou vybaveny pokročilými senzory pro sledování dojnic. Obojky slouží k identifikaci dojnic a mají v sobě pedometr, který sleduje aktivitu skotu, přežvykování a dokáže rozeznávat říji v reálném čase. Díky těmto informacím můžeme lépe kontrolovat zdravotní stav. Identifikace krav spolupracuje s robotickou dojírnou, zaznamenává například průměrnou dojivost nebo rozložení struků na vemeni. Díky tomu dokáže 3D kamera lépe nasazovat strukové návlečky při samotném dojení, což vede k efektivnějšímu a šetrnějšímu postupu při manipulaci se zvířaty. Robotická dojírna DairyProQ má 28 míst na stání, což je dostačující pro dojení 550 kusů dobytka třikrát denně.

Zařízení pro odběr vzorků umožňuje odběr vzorku mléka na dojícím místě, aniž by docházelo k přerušení dojení na ostatních místech. Nádrž má kapacitu 0,75 litrů a je snadno připojitelná k měřicí nádobě Metatron, která zaznamenává data. Automatický odběr vzorku probíhá po celou dobu dojení. Získané vzorky slouží k analýze kvality mléka.

Každé místo vybavené DairyProQ je opatřeno jednou anténou, což zaručuje maximální přesnost identifikace. Pro dosažení vysoké přesnosti jsou využívány FDX/HDX vysílače. Data jsou přenášena pomocí zesilovače a procesy jsou řízeny na základě těchto informací. Identifikace probíhá rychle a aktivita zvířat je okamžitě načítána.

IR kamery použité při měření

Ke snímání vemen a vyobrazování dat byly použity tři odlišné termografické kamery, dvě ruční termografické kamery FLIR E96 a FLIR E6 a jedna stacionární kamera Workswell WIC, která byla napevno umístěna na farmě A.

IR kamera FLIR E96

FLIR E96 je jednou z prvních IRT kamer s pistolovou rukojetí a tepelným rozlišením 640x480 pixelu, což umožňuje pohodlné zacházení a rychlou a spolehlivou diagnostiku. Kamera nabízí kompletní pokrytí blízkých i vzdálených cílů prostřednictvím řady výměnných čoček. Kamera také nabízí možnost spárování s objektivem FLIR FlexView s duálním zorným polem.

Vyjímatelná SD karta umožňuje rychlé a jednoduché nahrání fotek do počítače, které jsou vykresleny pomocí širokého množství volitelných barevných palet (Iron, Rainbow, Rainbow HC, White hot, Black hot, Arctic, Lava). Kamera má dotykový LCD displej s automatickým otáčením.



Obrázek 8: Termografická kamera FLIR E96 (Flir.eu, 2023)

Tabulka 1: Technické parametry termografické kamery FLIR E96

Hmotnost	1,030 kg
Rozlišení displeje	640x480 pixel
Max. hodnota emisivity	1
Max. teplotní rozsah	1500 °C
Min. teplotní rozsah	-20 °C
Rozhraní	USB 2.0, Bluetooth
Krytí	IP54
Kalibrováno dle	Výrobce s certifikátem
Ostření	Manuál/automatika
Vlastnosti IRT kamery	MSX®, MeterLink, Wi-Fi
Typ	E96
Základní přesnost	2 %
Základní přesnost měření	2 °C
Minimální zaostřovací vzdálenost	0,15 m

Optika	24x18 °C
Teplotní citlivost	50 mK
Digitální zoom	8x
Certifikace	RoHS
Počet barevných palet	6
Frekvence obrazu	30 Hz
Zorné pole	14 °C, 24 °C, 42 °C

IR kamery FLIR E6

FLIR E6 je profesionální a zároveň cenově dostupná termokamera pro tepelnou kontrolu, která vyniká svojí jednoduchou a časově nenáročnou manipulací. Tato automatická kamera s intuitivním rozhraním a fixním fokusem nabízí rozlišení 43 200 pixelů (240x180) s přesností určení teploty $\pm 2\%$ a citlivostí 60mK.



Obrázek 9: Termografická kamera FLIR E6 (W.technica.cz, 2023)

Tabulka 2: Technické parametry termografické kamery FLIR E6

Hmotnost	0,591 kg
Rozlišení displeje	320x240 pixel
Max. hodnota emisivity	1
Max. teplotní rozsah	550 °C

Min. teplotní rozsah	-20 °C
Rozhraní	MicroUSB
Krytí	IP54
Kalibrováno dle	Bez certifikátu
Ostření	Pevné zaostření
Vlastnosti IRT kamery	Wi-Fi, MSX®
Typ	E6XT
Základní přesnost	2 %
Základní přesnost měření	2 °C
Minimální zaostřovací vzdálenost	50 cm
Teplotní citlivost	60 mK
Rozlišení senzoru	240x180 px
Rozlišení teploty	0,06 °C
Zorný úhel	45 °C
Frekvence obrazu	9 Hz

IR kamera Workswell WIC

Workswell WIC je stacionární LWIR termovizní kamera pro přesné bezkontaktní měření teploty. Workswell WIC má několik modelů s různým rozlišením snímače a citlivostí až $\leq 0,03$ °C (30 mK). Všechny termokamery WIC jsou zkalibrovány během výrobního procesu a dodávány s kalibračním certifikátem. Verze Workswell WIC USB3 má velmi nízkou spotřebu energie, snadné připojení k notebooku a nevyžaduje externí napájení. Stupeň krytí IP65 zajišťuje vysokou odolnost kamery vůči vnějším faktorům (voděodolná, prachotěsná).



Obrázek 10: Pouzdro na IRT kameru (Workswell.eu, 2023)



Obrázek 11: Termografická kamera Workswell WIC (Workswell.eu, 2023)

Tabulka 3: Technické parametry termografické kamery Workswell WIC

Hmotnost	0,360 kg
Rozlišení displeje	640x512 px
Max. hodnota emisivity	1
Max. teplotní rozsah	-25 °C
Min. teplotní rozsah	1500 °C
Rozhraní	Ethernet, USB3.0 analogový video výstup
Krytí	IP65
Kalibrováno dle	Výrobce s certifikátem
Spektrální rozsah	7,5-13,5 μm
Volitelné čočky	7,5-100 mm
Typ	WIC
Základní přesnost	2 %

Základní přesnost měření	2 °C
Minimální zaostřovací vzdálenost	5 cm
Teplotní citlivost	30 mK
Zoom	Digitální zoom
Frekvence obrazu	9 Hz a 30 Hz
Zaměření	manuální

Metodika

Měření probíhalo od května 2023 do března 2024 na třech farmách. Celkem bylo vyfoceno přes 800 krav a 4 200 snímků vemen z různých úhlů. Fotky byly pořizovány vždy v den kontroly užitkovosti, aby mohly být porovnány s počtem somatických buněk. Pro správné fungování byla při používání IR kamery FLIR E96 před focením zadána relativní vlhkost a okolní teplota.

Největší počet termogramů byl pořízen na farmě A, kde hlavní měření probíhalo v srpnu, září a říjnu roku 2023 a v lednu, únoru a březnu roku 2024. Na farmě A byly použity všechny tři typy termokamer. Nejvíce snímků bylo pořízeno termokamerou FLIR E6. Kamera FLIR E96 měla vyšší rozlišení, ale při používání se začala zahřívat a musela být poslána na reklamaci, proto je s ní pořízen menší počet snímků. Videá a snímky ze stacionární kamery Workswell WIC nebyly v této práci použity a budou sloužit pro další výzkum. Focení na farmě A probíhalo v dojícím robotu nebo při přirozeném pohybu ve stáji.



Obrázek 12: Měření ve stáji (vlastní)

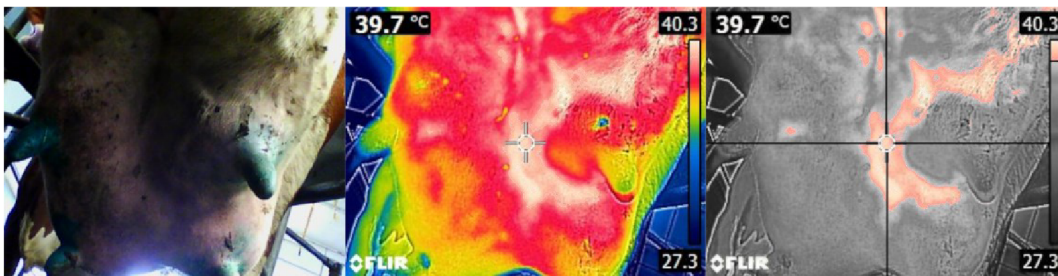
Na farmě B probíhalo měření v červenci a v září v roce 2023. Během července byly použity obě ruční kamery, v září byla použita pouze FLIR E6. Měření probíhalo v rybinové dojárně před a po dojení. Vždy byly pořízeny alespoň dvě fotografie před dojením a dvě po dojení.

Na farmě C probíhalo měření v červnu v roce 2023 a byla použita pouze ruční termokamera FLIR E6. Krávy byly měřeny v kruhové robotické dojárně před nasazením dojícího stroje.



Obrázek 13: Umístění stacionární kamery na farmě A (vlastní)

V době vyhodnocování dat nebyl hotový software pro automatické vyhodnocení snímků z termokamery. Pro potřeby této práce byly proto snímky vyhodnocovány pomocí porovnání maximální teploty a lokálních tepelných změn na vemeni v programu ImageJ a pluginu IRimage a programu GIMP v kombinaci s okometrickým porovnáním IR a VIS (viditelná oblast záření) snímku s cílem minimalizovat možné negativní vlivy prostředí.



Obrázek 14: Vyhodnocení snímku pomocí ImageJ a GIMP pro zvýraznění teplotních variací vemene, průměrná teplota zvýrazněné části 39.9 °C

K vyhodnocení dat byly vybrány fotky od dojnic s nejvyšším a nejnižším PSB, a ty byly mezi sebou porovnávány a statisticky vyhodnoceny. Pro statistické vyhodnocení byla použita metoda Cohenovo kappa (κ), která vyjadřuje míru shody dvou kategorizovaných proměnných (ano, ne). Výpočet Cohenova kappa vychází ze čtvercové kontingenční tabulky. Cohenovo kappa je vhodné pro porovnání zánětu dle PSB a IRT, protože bere v úvahu také pravděpodobnost náhodné shody.

Matematicky je založen na porovnání odhadu pravděpodobnosti relativní shody (součet celkových procent diagonálních prvků) a očekávané pravděpodobnosti shody za předpokladu nezávislosti daných dvou hodnotitelů (tj. pravděpodobnosti náhodné shody).

Cohenovo kappa κ je dáno vztahem:

$$\kappa = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)},$$

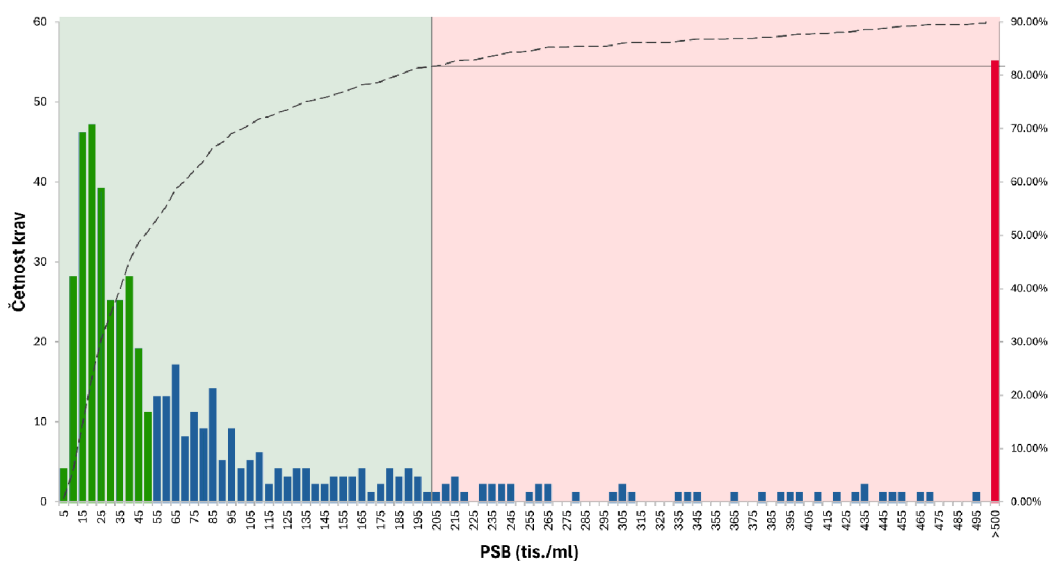
kde $\text{Pr}(a)$ je relativní shoda mezi hodnotiteli a $\text{Pr}(e)$ je odhad pravděpodobnosti náhodné shody.

Pokud se hodnotitelé shodli v hodnocení všech jedinců, pak $\kappa = 1$. Pokud je celkové procento shody rovno pravděpodobnosti očekávané shody při náhodném rozhodování, je $\kappa = 0$. Pokud je dokonce procento shody menší, je κ záporné. Interpretace hodnot κ je obvykle následující: Hodnotu $\kappa > 0,75$ považujeme za výbornou shodu, κ mezi 0,40 a 0,75 za dobrou shodu a $\kappa < 0,40$ považujeme za velmi malou shodu.

5 Výsledky a diskuse

Před samotným statistickým zpracováním dat byla nejprve otestována jejich distribuce a vybrány testovací skupiny. Histogram na grafu č. 1 znázorňuje četnost krav v určitém rozmezí PSB. Hodnoty PSB jsou vizuálně rozděleny do dvou kategorií na zákonem přijatelné úrovni (zelená zóna) a úrovně překračující zákonný práh (červená zóna). Většina krav vykazuje PSB v přijatelném rozmezí – přibližně 85 % krav má PSB do 200 tisíc buněk/ml, což poukazuje na zdravou laktaci. Naopak výrazná menšina, asi 10 % krav, má PSB vyšší než 500 tisíc buněk/ml, což ukazuje na potenciální zdravotní problémy, jako je mastitida.

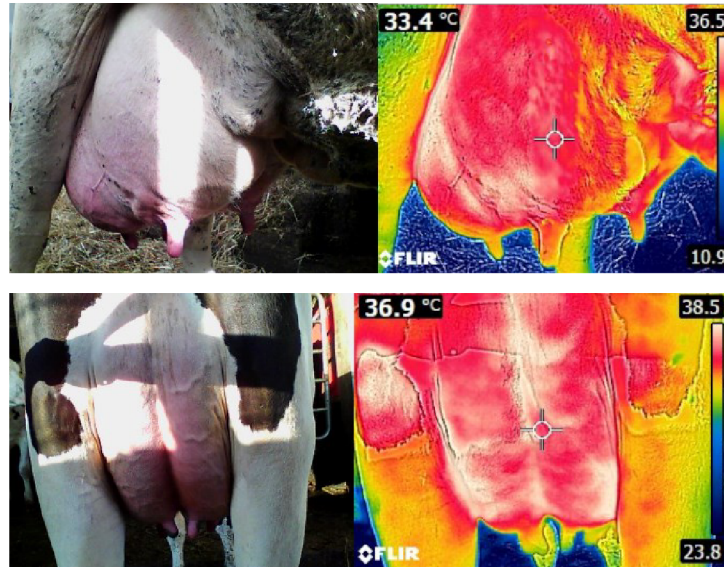
Pro vyhodnocení pomocí IRT jako možnosti určení přítomnosti mastitidy byly vybrány krávy s nejnižšími hodnotami PSB (do 50 tisíc buněk/ml, zelené sloupce) s těmi s nejvyššími hodnotami PSB (od 500 tisíc buněk/ml, červený sloupec). Pro názornost byly všechny krávy nad hodnotu 500 tisíc buněk/ml uvedeny do jednoho sloupce.



Graf 1: Histogram rozložení hodnot PSB u krav na farmě A (soubor měsíčních měření říjen 2023–březen 2024)

V rámci probíhajícího výzkumu byla detekována komplikace související s procesem pořizování termálních snímků. Před a během fotografování mohou být krávy vystaveny slunečnímu záření. To vede k dočasnému zvýšení povrchové teploty exponovaných částí těla krav, které se následně ukáže na termokameře. Toto představuje značný problém při

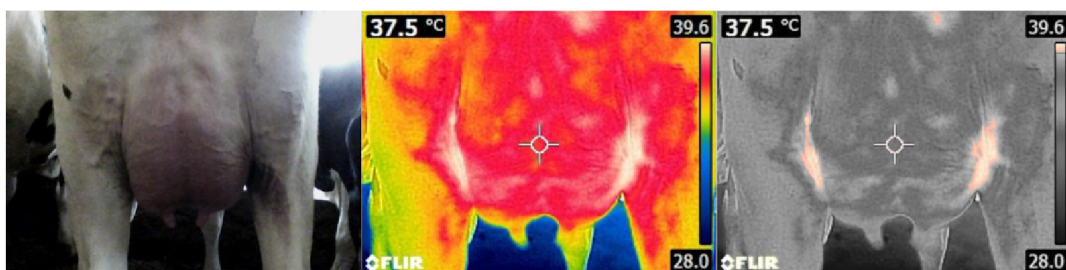
interpretaci termovizních snímků, protože takovéto zvýšení teploty může být mylně vyhodnoceno jako příznaky zánětu.



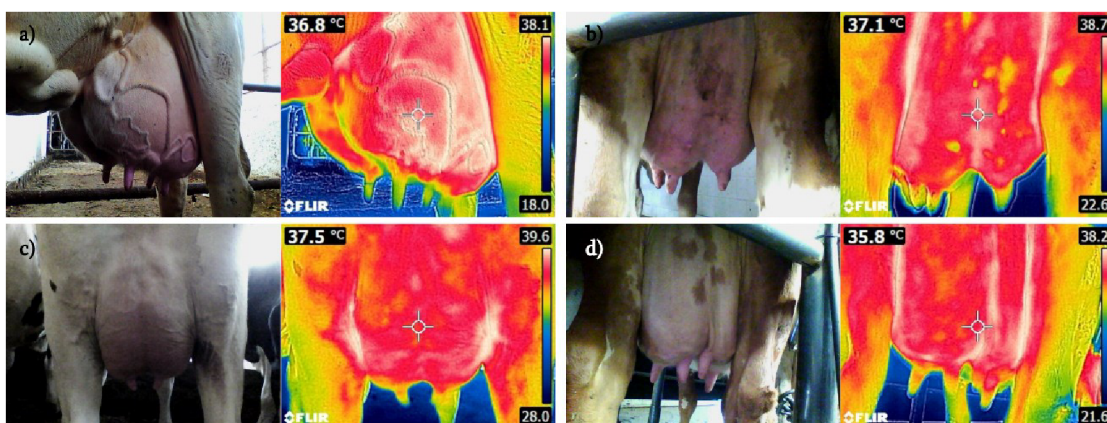
Obrázek 15: Zobrazení vlivu ohřevu slunečními paprsky pomocí IR a VIS snímku (FLIR E6)

Při okometrickém vyhodnocování IR a VIS (viditelná oblast záření) snímků lze porovnat nasvícení krávy v robotu, ale jestli byla kráva ozářena sluncem na vemeni před příchodem do robota vyhodnotit nelze. Tento jev se také více projevuje v letních měsících, protože intenzita záření je větší. Zároveň díky větší okolní teplotě trvá déle ustálení teploty na původní fyziologicky odpovídající hodnoty.

Stejně jako v případě světla dochází lokálně k ohřevu v místě kontaktu nohy a vemene. Pokud kráva stojí dlouho na místě, například při čekání na uvolnění místa v dojícím robotu, odvod tepla z této oblasti je omezen. Kontaktní část se pak zahřívá vůči zbytku vemena.

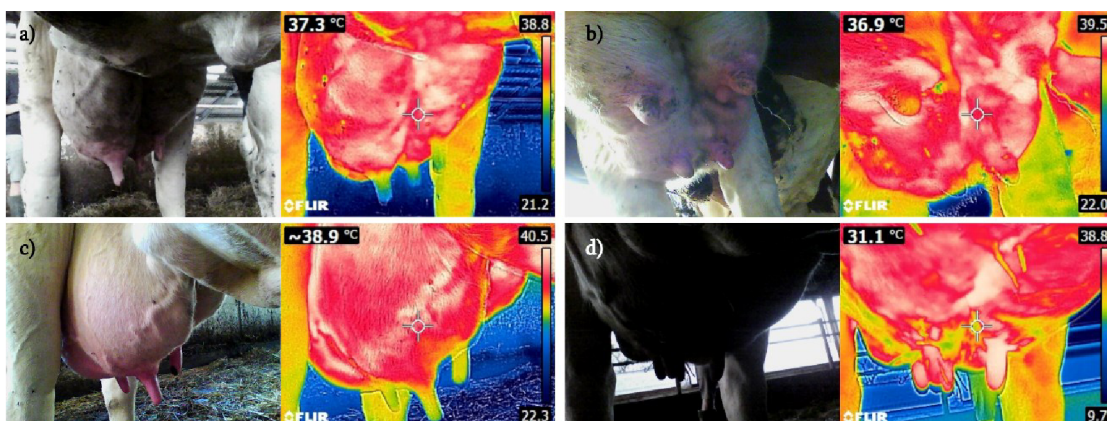


Obrázek 16: Lokální ohřev vemena vlivem kontaktu s nohou (FLIR E6)



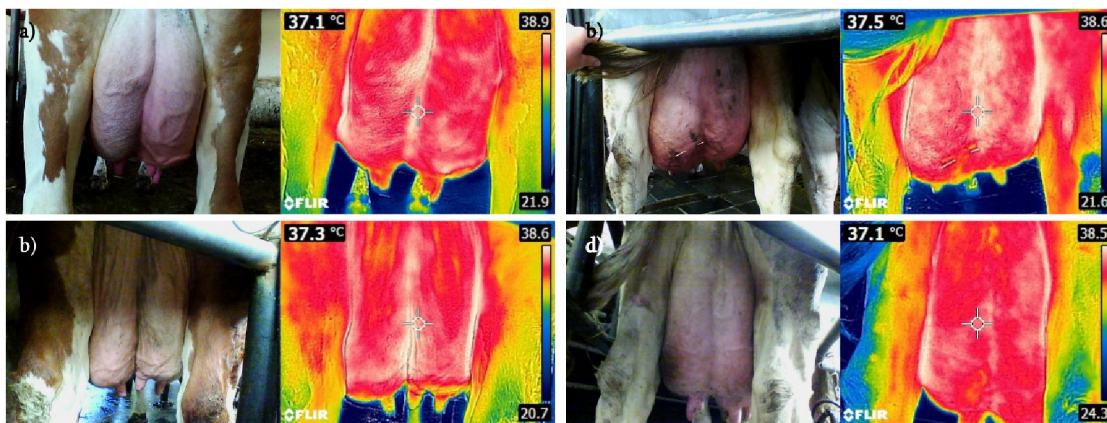
Obrázek 17: Porovnání VIS a IR snímků u krav bez zvýšeného PSB a bez viditelné variace teploty vemene (FLIR E6)

Krávy na obrázku 17 mají nízký počet somatických buněk. Nevidíme lokální ani celkové zvýšení teploty vemene. Jediné zvýšení teploty, které lze pozorovat je u zadních končetin, které se třou o vemeno, a to se nemůže okolním vzduchem ochlazovat. Tyto dojnice byly vyhodnoceny a potvrzeny jako zdravé.



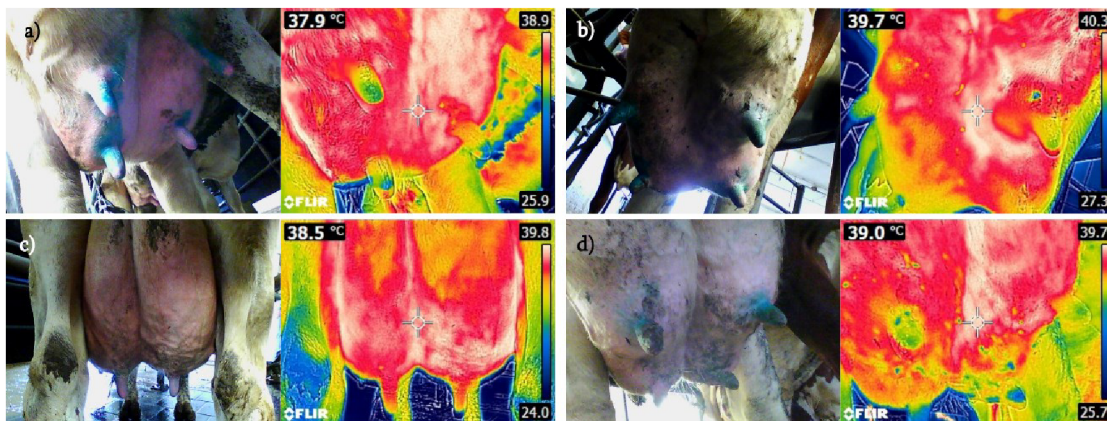
Obrázek 18: Porovnání VIS a IR snímků u krav bez zvýšeného PSB ale s viditelnou variací teploty vemene (FLIR E6)

Na obrázku 18a vidíme celkově zvýšenou teplotu vemene a několik teplých oblastí v centrální části. Stejně tak je tomu i u obrázku 18b, kde je v levé části teplý spot $\sim 39^{\circ}\text{C}$. U obrázku 18c je patrné zvýraznění teploty v okolí žíly, které ale není běžné pozorováno. U obrázku 18d je viditelně zvýšená teplota u jednoho struku. Přestože byly všechny tyto krávy na základě termografu vyhodnoceny pozitivně, nebyly u nich prokázány zvýšené hodnoty PSB.



Obrázek 19: Porovnání VIS a IR snímků u krav se zvýšenou hodnotu PSB ale bez viditelné variace teploty vemene (FLIR E6)

Dojnice na obrázku 19 mají vysoký PSB, ale na termogramech není viditelná změna. Nelze pozorovat lokální ani celkové zvýšení teploty vemene. Okometricky by byly snímky vyhodnoceny jako negativní.



Obrázek 20: Porovnání VIS a IR snímků u krav se zvýšenými PSB a s viditelnou variací teploty vemene (FLIR E6)

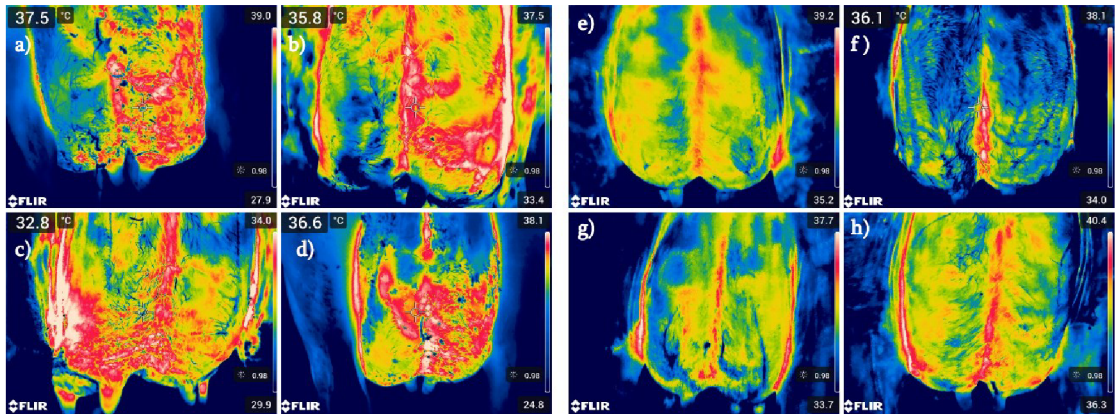
Obrázek 20 znázorňuje dojnice s vysokým PSB. Termokamera potvrzuje zdravotní problém. U všech vemen můžeme na termogramu pozorovat viditelnou variaci teploty.

Ze získaných dat můžeme usoudit, že pro případnou průmyslovou aplikaci teplotního vyhodnocování zánětu je třeba vyřešit ještě několik úskalí.

Pro vyhodnocování většího množství snímků je okometrické vyhodnocení se zpracováním obrázků v programu ImageJ časově náročné. Pro vyhodnocení je proto nutné dovyvinout vhodný software, který by dokázal správně vyhodnotit pouze části vemene

a porovnat jejich průměrné teploty mezi sebou. Nejvyšší teplota vemene jako ukazatel zánětu se při vyhodnocení ukázala jako nevhodná.

Pro další výzkum by bylo vhodné nastavit fixně teplotní rozsahy termokamery, případně vyhodnocovat přímo RAW soubory pomocí FLIR software. To bohužel nebylo v případě kamery E6 možné.



Obrázek 21: Zobrazení zdravých a nemocných vemene (FLIR E96)

Na obrázku 21 *a, b, c a d* je viditelná variace teploty vemene. Je okometricky rozlišitelné lokální zvýšení teploty. Zvýšený PSB potvrzuje zdravotní problém. U obrázku 21 *e, f, g a h* se viditelné variace teploty nevyskytují. Nízký PSB potvrzuje zdravé vemeno.

Přestože měla kamera E96 větší rozlišení, absence VIS snímku vede k možné chybě při osvětlení nebo znečištění vemene před focením, která nejde zpětně vyhodnotit.

Bylo by vhodné při měření současně vyhodnocovat i další teploty, jako je hlava nebo oko, protože současná zvýšená teplota dalších částí těla může indikovat jiný zdravotní problém, než je zánět vemene.

Pro automatické vyhodnocení je klíčové správně stanovit plochu vemene, ze které bude počítána průměrná teplota. Během vyhodnocování v programu ImageJ hrálo velkou roli, jestli byla při focení zahrnuta i plocha vemene v blízkosti nohy. Pokud kráva stála dlouho na místě, například ve frontě na dojící robot, místo kontaktu vemena a nohy se ohřálo. Když byla poté kráva focena, takto zahřáté místo bylo teplejší než zbytek vemene a při výpočtu průměrné teploty způsobovalo chybu.

Tabulka 4: Seznam dojnic analyzovaných pomocí FLIR E6

Měření	Farma	Měsíc	PSB ¹	Zvýšení PSB	IRT VTV ²	Shoda	Měření	Farma	Měsíc	PSB ¹	Zvýšení PSB	IRT VTV ²	Shoda
1	A	VIII.	551	ANO	ANO	ANO	38	A	X.	563	ANO	NE	NE
2	A	VIII.	2865	ANO	ANO	ANO	39	A	X.	4417	ANO	ANO	ANO
3	A	VIII.	1897	ANO	NE	NE	40	A	X.	19	NE	NE	ANO
4	A	VIII.	4084	ANO	ANO	ANO	41	A	X.	17	NE	NE	ANO
5	A	VIII.	59	NE	NE	ANO	42	A	X.	10	NE	ANO	NE
6	A	VIII.	17	NE	ANO	NE	43	A	X.	14	NE	ANO	NE
7	A	VIII.	15	NE	NE	ANO	44	A	X.	16	NE	NE	ANO
8	A	VIII.	13	NE	NE	ANO	45	A	X.	18	NE	NE	ANO
9	A	VIII.	52	NE	NE	ANO	46	A	X.	19	NE	NE	ANO
10	A	VIII.	10	NE	ANO	NE	47	A	X.	9	NE	NE	ANO
11	A	VIII.	41	NE	ANO	NE	48	A	X.	15	NE	ANO	NE
12	A	VIII.	19	NE	NE	ANO	49	A	X.	12	NE	ANO	NE
13	A	VIII.	36	NE	ANO	NE	50	A	I.	1381	ANO	NE	NE
14	A	VIII.	26	NE	ANO	NE	51	A	I.	634	ANO	NE	NE
15	A	IX.	1438	ANO	NE	NE	52	A	I.	516	ANO	NE	NE
16	A	IX.	4247	ANO	ANO	ANO	53	A	I.	2363	ANO	ANO	ANO
17	A	IX.	9743	ANO	ANO	ANO	54	A	I.	17	NE	ANO	NE
18	A	IX.	969	ANO	NE	NE	55	A	I.	19	NE	NE	ANO
19	A	IX.	742	ANO	NE	NE	56	A	I.	11	NE	NE	ANO
20	A	IX.	2576	ANO	NE	NE	57	A	I.	14	NE	NE	ANO
21	A	IX.	979	ANO	ANO	ANO	58	A	I.	19	NE	ANO	NE
22	A	IX.	22	NE	NE	ANO	59	A	I.	13	NE	NE	ANO
23	A	IX.	22	NE	NE	ANO	60	A	I.	8	NE	NE	ANO
24	A	IX.	25	NE	ANO	NE	61	A	I.	15	NE	ANO	NE
25	A	IX.	27	NE	NE	ANO	62	A	I.	14	NE	ANO	NE
26	A	IX.	16	NE	NE	ANO	63	A	I.	27	NE	NE	ANO
27	A	IX.	34	NE	ANO	NE	64	A	II.	1256	ANO	ANO	ANO
28	A	IX.	29	NE	NE	ANO	65	A	II.	535	ANO	ANO	ANO
29	A	IX.	12	NE	NE	ANO	66	A	II.	593	ANO	ANO	ANO
30	A	IX.	19	NE	NE	ANO	67	A	II.	21	NE	NE	ANO
31	A	IX.	14	NE	ANO	NE	68	A	II.	7	NE	NE	ANO
32	A	X.	1215	ANO	ANO	ANO	69	A	II.	18	NE	ANO	NE
33	A	X.	946	ANO	NE	NE	70	A	II.	8	NE	NE	ANO
34	A	X.	3844	ANO	NE	NE	71	A	II.	17	NE	NE	ANO
35	A	X.	541	ANO	NE	NE	72	A	II.	23	NE	NE	ANO
36	A	X.	974	ANO	NE	NE	73	A	II.	14	NE	ANO	NE
37	A	X.	1973	ANO	ANO	ANO	74	A	II.	25	NE	ANO	NE

Měření	Farma	Měsíc	PSB ¹	Zvýšení PSB	IRT VTV ²	Shoda
75	A	II.	15	NE	NE	ANO
76	A	II.	15	NE	NE	ANO
77	B	VII.	2046	ANO	NE	NE
78	B	VII.	5956	ANO	ANO	ANO
79	B	VII.	1121	ANO	NE	NE
80	B	VII.	2281	ANO	NE	NE
81	B	VII.	5318	ANO	NE	NE
82	B	VII.	7249	ANO	ANO	ANO
83	B	VII.	4703	ANO	NE	NE
84	B	VII.	2175	ANO	ANO	ANO
85	B	VII.	2031	ANO	ANO	ANO
86	B	VII.	1479	ANO	NE	NE
87	B	VII.	9999	ANO	ANO	ANO
88	B	VII.	6604	ANO	ANO	ANO
89	B	VII.	1389	ANO	ANO	ANO
90	B	VII.	1098	ANO	NE	NE
91	B	VII.	43	NE	NE	ANO
92	B	VII.	42	NE	ANO	NE
93	B	VII.	36	NE	NE	ANO
94	B	VII.	14	NE	NE	ANO
95	B	VII.	34	NE	NE	ANO
96	B	VII.	31	NE	NE	ANO
97	B	VII.	24	NE	NE	ANO
98	B	VII.	28	NE	NE	ANO
99	B	VII.	19	NE	NE	ANO
100	B	IX.	2356	ANO	NE	NE
101	B	IX.	2698	ANO	NE	NE
102	B	IX.	2975	ANO	ANO	ANO
103	B	IX.	1381	ANO	ANO	ANO
104	B	IX.	2448	ANO	NE	NE
105	B	IX.	1347	ANO	NE	NE
106	B	IX.	2346	ANO	ANO	ANO
107	B	IX.	1683	ANO	NE	NE
108	B	IX.	3957	ANO	ANO	ANO
109	B	IX.	2365	ANO	NE	NE
110	B	IX.	1360	ANO	NE	NE
111	B	IX.	2102	ANO	NE	NE

Měření	Farma	Měsíc	PSB ¹	Zvýšení PSB	IRT VTV ²	Shoda
112	B	IX.	1104	ANO	NE	NE
113	B	IX.	1601	ANO	ANO	ANO
114	B	IX.	2023	ANO	NE	NE
115	B	IX.	2347	ANO	NE	NE
116	B	IX.	1042	ANO	NE	NE
117	B	IX.	5910	ANO	NE	NE
118	B	IX.	19	NE	NE	ANO
119	B	IX.	19	NE	NE	ANO
120	B	IX.	17	NE	NE	ANO
121	B	IX.	13	NE	NE	ANO
122	B	IX.	8	NE	NE	ANO
123	B	IX.	26	NE	NE	ANO
124	B	IX.	9	NE	ANO	NE
125	B	IX.	6	NE	NE	ANO
126	B	IX.	7	NE	NE	ANO
127	B	IX.	8	NE	NE	ANO
128	B	IX.	22	NE	ANO	NE
129	C	VI.	6187	ANO	ANO	ANO
130	C	VI.	4468	ANO	ANO	ANO
131	C	VI.	7755	ANO	ANO	ANO
132	C	VI.	2324	ANO	ANO	ANO
133	C	VI.	1110	ANO	NE	NE
134	C	VI.	1464	ANO	ANO	ANO
135	C	VI.	4037	ANO	ANO	ANO
136	C	VI.	1968	ANO	NE	NE
137	C	VI.	1095	ANO	NE	NE
138	C	VI.	2419	ANO	NE	NE
139	C	VI.	33	NE	NE	ANO
140	C	VI.	48	NE	ANO	NE
141	C	VI.	35	NE	ANO	NE
142	C	VI.	10	NE	NE	ANO
143	C	VI.	40	NE	NE	ANO
144	C	VI.	24	NE	NE	ANO
145	C	VI.	30	NE	NE	ANO
146	C	VI.	8	NE	ANO	NE
147	C	VI.	19	NE	NE	ANO
148	C	VI.	22	NE	ANO	NE

^{*1} PSB – počet somatických buněk; ^{*2} IRT(VTV) – variace teploty vemene podle termogramu

Tabulka 5: Seznam dojnic analyzovaných pomocí FLIR E96

Měření	Farma	Měsíc	PSB ¹	Zvýšení PSB	IRT VTV ²	Shoda
1	A	III.	2108	ANO	ANO	ANO
2	A	III.	573	ANO	NE	NE
3	A	III.	4190	ANO	ANO	ANO
4	A	III.	725	ANO	ANO	ANO
5	A	III.	4433	ANO	ANO	ANO
6	A	III.	2247	ANO	ANO	ANO
7	A	III.	427	ANO	NE	NE
8	A	III.	19	NE	NE	ANO
9	A	III.	23	NE	NE	ANO
10	A	III.	15	NE	ANO	NE
11	A	III.	23	NE	ANO	NE
12	A	III.	23	NE	NE	ANO
13	A	III.	19	NE	NE	ANO
14	A	III.	13	NE	NE	ANO
15	A	III.	6	NE	NE	ANO
16	A	III.	24	NE	NE	ANO
17	A	III.	14	NE	NE	ANO
18	B	VII.	5798	ANO	ANO	ANO
19	B	VII.	3289	ANO	NE	NE
20	B	VII.	3469	ANO	ANO	ANO
21	B	VII.	1884	ANO	NE	NE
22	B	VII.	1583	ANO	NE	NE
23	B	VII.	2715	ANO	ANO	ANO
24	B	VII.	1725	ANO	NE	NE
25	B	VII.	1299	ANO	ANO	ANO
26	B	VII.	45	NE	NE	ANO
27	B	VII.	55	NE	NE	ANO
28	B	VII.	23	NE	NE	ANO
29	B	VII.	34	NE	ANO	NE
30	B	VII.	27	NE	NE	ANO
31	B	VII.	43	NE	NE	ANO
32	B	VII.	46	NE	ANO	NE
33	B	VII.	26	NE	NE	ANO
34	B	VII.	34	NE	NE	ANO
35	B	VII.	27	NE	NE	ANO

^{*1} PSB – počet somatických buněk; ^{*2} IRT(VTV) – variace teploty vemene podle termogramu

Tabulka 6: Tabulka Cohenova kappa pro porovnání PSB a IRT vyhodnocení zánětů

FLIR E6

Z - IRT	ANO	NE	
Z - PSB			
ANO	31	37	68
NE	26	54	80
	57	91	

	DLE PSB	SHODA IRT = PSB	PŘESNOST IRT
INFEKCE	68	31	45.6%
BEZ INFEKCE	80	54	67.5%

FLIR E96

Z - IRT	ANO	NE	
Z - PSB			
ANO	9	6	15
NE	4	16	20
	13	22	

	DLE PSB	SHODA IRT = PSB	PŘESNOST IRT
INFEKCE	15	9	60 %
BEZ INFEKCE	20	16	80 %

Při porovnávání vyhodnocení provedeného okometrickou analýzou termografických snímků s laboratorně zjištěným počtem somatických buněk vidíme znatelný rozdíl mezi méně přesnou kamerou FLIR E6 a modernější verzí E96.

V případě kamery E6 byla kumulativní úspěšnost vyhodnocení 57,43 %, což je pouze o 7 % více, než kdyby byly snímky vyhodnocovány náhodně (statisticky 50:50). Cohenovo Kappa má hodnotu 0,132, což poukazuje na velmi malou shodu.

V případě lepší kamery FLIR E96 byla kumulativní úspěšnost větší, a to 71,43 %, což již lze považovat za statisticky významné. Cohenovo Kappa má hodnotu 0,407, což poukazuje na dobrou shodu.

Pro lepší pochopení získaných dat slouží tabulky č.3 pro výpočet Cohenova Kappa. U kamery E6 byla shoda při vyhodnocování zdravých dojníc bez zánětů 67,5 %, což je velmi dobrý výsledek. V případě kamery E96 s lepším rozlišením byla shoda dokonce 80 %. Naproti tomu využití této metody pro vyhodnocení krav se zánětem přineslo o poznání horší výsledky. V případě kamery E6 to bylo pouhých 45,6 %, což je horší než teoretická shoda náhodného výběru (50 % pro velký soubor dat). V případě kamery E96 byla shoda 60 %, což je také znatelně méně než u porovnávání zdravých dojníc.

Přestože měla kamera E96 větší rozlišení, absence VIS snímku vedla k možné chybě při osvětlení vemene před focením, která nejde zpětně vyhodnotit. I v případě softwarového vyhodnocení je toto problém, který je třeba eliminovat. Tímto problémem se zabýval již Colak et al. (2008), který také poukázal na problematiku silného proudění vzduchu, které má vliv na povrchovou teplotu vemene.

Vegrichr et al. (2007) se zabýval změnou teploty vemene před a po dojení. Zjistil, že fyziologicky normální změna teploty struku je 2 °C až 3 °C. U subklinické mastitidy je tento rozdíl větší a to 4 °C až 9 °C. Pro správné vyhodnocení je tedy vhodné pořizovat snímek před a po dojení, případně konzistentně pouze jenom před nebo jenom po dojení.

Sathiyabarathi et al. (2016) rozvádí tuto problematiku dále a upozorňuje na fakt, že díky teplotním fluktuacím je vhodné touto metodou vyhodnocovat pouze zadní čtvrtě vemene. Ty mají největší plochu pro výměnu tepla s okolím, nehraje u nich roli možný ohřev od kontaktu se zadní končetinou a umožňují nejpřesnější zobrazení teplotního profilu.

Zhang et al. (2023) se zabývali dostatečností focení pouze termografu vemene. Došli k závěru, že pro správy vyhodnocení přítomnosti zánětu ve vemeni je nutné sledovat také referenčně teplotu oka a teplotu povrchu těla dojnice, například hlavy. Zvýšení absolutní teploty nemusí být lokalizované pouze na vemeno a může poukazovat na jiný zdravotní problém.

Absolutní hodnota teploty vemene se podle Berry et al. (2003) bude měnit podle okolní teploty, parity, březosti a stáří dojnice. Při měření více míst lze vyhodnocovat nejen jejich absolutní teplotou, ale i porovnávat jejich vzájemné rozdíly.

Hovinen et al. (2008) porovnával změny teplotního profilu vemene před a při zánětu. Vyzoroval, že zvýšení teploty při zánětu není homogenní a dochází k viditelným variacím teploty vemene. Stejně kritérium pro vyhodnocení mastitidy pomocí IRT bylo využito i v této práci.

Pro vyhodnocování většího množství snímků je okometrické vyhodnocení se zpracováním obrázků v programu ImageJ časově náročné. Pro vyhodnocení je proto nutné dovyvinout vhodný software, který by obrázky dokázal správně vyhodnotit pouze části vemene a porovnat jejich průměrné teploty mezi sebou. Nejvyšší teplota vemene jako ukazatel zánětu se při vyhodnocení ukázala jako nevhodná.

Pro automatické vyhodnocení bude klíčové správně stanovit plochu vemene, ze které bude počítána průměrná teplota.

6 Závěr

V této práci bylo vyhodnocováno využití termokamer v zemědělské praxi pro včasné rozpoznávání mastitidy u dojných krav. Pořizování snímků probíhalo od května roku 2023 do března roku 2024. Do experimentu bylo zařazeno přes 800 krav na třech farmách a bylo vyfoceno přes 4 200 snímků vemen. Fotky byly pořizovány vždy v den kontroly užitkovosti, aby mohly být porovnány s počtem somatických buněk.

K vyhodnocení dat byly vybrány fotky od dojnic s nejvyšším a nejnižším počtem somatických buněk. Tyto skupiny byly mezi sebou porovnávány a statisticky vyhodnoceny. Pro popis získaných dat byla využita statistická charakteristika Cohenovo kappa (κ), která vyjadřuje míru shody dvou kategorizovaných proměnných.

Z provedeného výzkumu můžeme vyhodnotit následující závěry:

V případě IR kamery FLIR E6 s nižším rozlišením byla kumulativní úspěšnost určení zánětu pomocí termogramu 57,7 %. Míra shody dvou hodnotících metod Cohenovo Kappa má hodnotu 0,132, což poukazuje na velmi malou shodu. Při rozpoznávání zdravého vemene byla úspěšnost 67,5 %, naproti tomu vemeno se zdravotním problémem bylo rozpoznáno s úspěšností 45,6 %.

V případě IR kamery FLIR E96 s vyšším rozlišením byla kumulativní úspěšnost určení zánětu pomocí termogramu vyšší, a to 71,43 %. Míra shody dvou hodnotících metod Cohenovo Kappa má hodnotu 0,407, což poukazuje na dobrou shodu. Při rozpoznávání zdravého vemene byla úspěšnost 80 %, naproti tomu vemeno se zdravotním problémem bylo rozpoznáno s úspěšností 60 %.

Z výsledků analýz je patrné, že vyhodnocení přítomnosti zánětu vemene čistě na základě termogramů v naší provedené sestavě má velmi nízkou shodu s výsledky počtu somatických buněk. Naproti tomu se termogramy ukázaly jako dobrý důkaz zdravého vemene, kde byla úspěšnost vyhodnocení mnohem vyšší. Tato metoda má proto dobrý potenciál v kombinaci s dalšími metodami, ale sama o sobě není vhodná pro jednoznačné potvrzení nebo vyvrácení zánětu.

U kamery E96 byla sice vyšší úspěšnost vyhodnocení než u kamery E6, ale absence VIS snímků byla limitující pro vyvrácení enviromentálních faktorů, jako bylo ozáření sluncem nebo znečištění vemene. Vyšší rozlišení kamery E96 mělo za násadek delší snímkovací čas způsobený ostřením. Pořízení kvalitní fotky, kdy se kráva nepohnula, bylo proto problematictější.

7 Přínos pro chovatelskou praxi

V chovech se více osvědčila termokamera FLIR E6, která sice nevykazovala vysokou míru úspěšnost, ale byla hmotnostně lehčí, snímala a zaměřovala rychleji. Pro využití v provozu byla praktičtější. Naopak s termokamerou FLIR E96 se od počátku měření vyskytovaly potíže, které vedly k její reklamaci. Přesto i poté měla kamera řadu nevýhod oproti FLIR E6. Zahřívala se a měla pomalé zaměřování což ztěžovalo pořízení ostré fotografie, neumožňovala fotit souběžně standartní snímky a byla o dost těžší pro manipulaci.

Pro budoucí výzkum by bylo vhodné nastavit fixně teplotní rozsahy termokamery, případně vyhodnocovat přímo RAW soubory pomocí FLIR software. To bohužel nebylo v případě termokamery FLIR E6 a FLIR E96 možné.

8 Seznam použité literatury

Becker, C., Collier, R., & Stone, A. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6751-6770. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>

Berry, R., Kennedy, A., Scott, S., Kyle, B., & Schaefer, A. (2003). Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(4), 687-693. <https://doi.org/10.4141/A03-012>

Brambell, F. (1965). *Technical Committee*. Her Majesty's Stationery Office.

Brown-Brandl, T. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.

Colak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L., & Hayirli, A. (2008). Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4244-4248. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>

D.S., L., Jeyakumar, S., Vasant, P., Sathiyabarathi, M., Manimaran, A., Kumaresan, A., Pushpadass, H., Sivaram, M., Ramesha, K., Kataktalware, M., & Siddaramanna. (2018). Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: A review. *Journal of Thermal Biology*, 78, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.021>

De Koning, K. (2004). Automatic Milking, lessons from Europe. 2004, Ottawa, Canada August 1 - 4, 2004, -. <https://doi.org/10.13031/2013.16896>

Diakides, M., Bronzino, J., & Peterson, D. (2012). *Medical infrared imaging: principles and practices*. CRC press.

Flir.eu. (2023). *FLIR E96*. Retrieved 2024-02-22, from <https://www.flir.eu/products/e96/>

Frigeri, K., Kachinski, K., Ghisi, N., Deniz, M., Damasceno, F., Barbari, M., Herbut, P., & Vieira, F. (2023). Effects of Heat Stress in Dairy Cows Raised in the Confined System: A Scientometric Review. *Animals*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/ani13030350>

Godyń, D., Herbut, P., & Angrecka, S. (2019). Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – A review. *Journal of Thermal Biology*, 79, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.011>

Green, M. (2012). *Dairy Herd Health*. CAB International.

Harrison, R. (1964). *Animal Machines: die neuen landwirtschaftlichen Fabrikbetriebe*. Biederstein.

Havens, K., & Sharp, E. (2016). *Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild*. Elsevier.

Hindman, M. (2023). Metabolic Diseases in Beef Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 39(2), 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.02.011>

Hofirek, B. (2009). *Nemoci skotu*. Noviko.

Hovinen, M., Siivonen, J., Taponen, S., Hänninen, L., Pastell, M., Aisla, A., & Pyörälä, S. (2008). Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4592-4598. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1218>

Chapman, N., Chlingaryan, A., Thomson, P., Lomax, S., Islam, M., Doughty, A., & Clark, C. (2023). A deep learning model to forecast cattle heat stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107932>

Cheng, W., & Han, S. (2020). Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments — A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(11), 1699-1713. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0156>

Jelínek, P., & Koudela, K. (2003). *Fyziologie hospodářských zvířat*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.

Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Bharti, P., & Chandran, P. (2018). Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review. *Tropical Animal Health and Production*, 50(4), 701-706. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6>

Knížková, I., & Kunc, P. (2020). *NFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE A JEJÍ VYUŽITÍ PRO ZJIŠŤOVÁNÍ POHODY A ZDRAVÍ HOSPODÁŘSKÝCH ZVÍŘAT* (1.). Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

Knížková, I., & Kunc, P. (2021). *Infračervená termografie: specifika a správné postupy měření živých objektů*. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.

Lely. (2024). *Historie firmy Lely*. Retrieved 2024-03-24, from <https://www.lely.com/about-lely/our-company/history/>

Logue, D., & Mayne, C. (2014). Welfare-positive management and nutrition for the dairy herd: A European perspective. *The Veterinary Journal*, 199(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.10.027>

Machálek, A. (2009). *Roboty na českých farmách*. Retrieved 2024-03-22, from <https://www.vuzt.cz/publikace/2009/018.pdf>

Marvan, F. (2017). *Morfologie hospodářských zvířat* (Vydání šesté). Česká zemědělská univerzita v Praze v nakladatelství Brázda.

Novák, P., Zabloudil, F., Šoch, M., & Venglovský, J. (2000). *Stable environment significant factor for the welfare and productivity of cows* (2.).

Pljaščenko, & Sidorov. (1986). *Prevence stresů u hospodářských zvířat* (1.vydání). Státní zemědělské nakladatelství.

Polsky, L., & von Keyserlingk, M. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

Rajagopal, L. (2009). Understanding the regulation of Group B Streptococcal virulence factors. *Future Microbiology*, 4(2), 201-221. <https://doi.org/10.2217/17460913.4.2.201>

Reece, W. (1998). *Fyziologie domácích zvířat*. Grada.

Reece, W. (2011). *Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat*. Grada.

Saila, S., Bork, O., Tucker, I., Cranefield, S., & Bryan, M. (2023). Evaluation of an on-farm culture system for the detection of subclinical mastitis pathogens in dairy cattle. *JDS Communications*, 4(4), 298-302. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0312>

Sathiyabarathi, M., Jeyakumar, S., Manimaran, A., Pushpadass, H., Sivaram, M., Ramesha, K., Das, D., Kataktaaware, M., Jayaprakash, G., & Patbandha, T. (2016). Investigation of body and udder skin surface temperature differentials as an early indicator of mastitis in Holstein Friesian crossbred cows using digital infrared thermography technique. *Veterinary World*, 9(12), 1386-1391. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1386-1391>

Scott, P., Penny, C., & McCrea, A. (2011). *Cattle Medicine*. Manson Publishing Ltd.

Schütz, K., Rogers, A., Poulouin, Y., Cox, N., & Tucker, C. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 125-133. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>

Stuhr, T., Aulrich, K., Barth, K., Knappstein, K., & Larsen, T. (2013). Influence of udder infection status on milk enzyme activities and somatic cell count throughout early lactation in goats. *Small Ruminant Research*, 111(1-3), 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.09.004>

Šoch, M. (2005). *Vliv prostředí na vybrané ukazatele pohody skotu: Effect of environment on selected indices of cattle welfare = L'influence de l'environnement sur les indices choisis du bien-etre du bétail = Der Einfluß der Umgebung auf bestimmte Parameter des Wohlbefindens des Rindviehs = Vlijanije okruženija na izbrannyje pokazateli spokojnosti skota*. Jihočeská univerzita.

Taylor, N., Tipton, M., & Kenny, G. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 46, 72-101. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.006>

Vasil, M., Kováč, G., & Bajová, V. (2001). *Choroby hovädzieho dobytku* (1.). M & M.

Vegricht, J., Machálek, A., Ambrož, P., Brehme, U., & Rose, S. (2007). Milking-related changes of teat temperature caused by various milking machines. *Research in Agricultural Engineering*, 53(4), 121-125. <https://doi.org/10.17221/1954-RAE>

Viguiet, C., Arora, S., Gilmartin, N., Welbeck, K., & O'Kennedy, R. (2009). Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends in Biotechnology*, 27(8), 486-493. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.05.004>

W.technica.cz. (2023). *Termokamera FLIR E6XT pro průmysl a stavebnictví*. Retrieved 2024-02-22, from https://www.w-technika.cz/termokamera-flir-e6xt-pro-prumysl-a-stavebnictvi.html?utm_source=cz_heureka&utm_medium=cpc&utm_campaign=Termokamery&utm_term=Termokamera+FLIR+E6xt

Webster, J. (2020). *Understanding the Dairy Cow* (3.). Wiley-Blackwell.

Weerda, M., Mahlkow-Nerge, K., & Fiedler, A. (2021). *50 nejčastějších chorob skotu: rozpoznání, prevence, léčba*. Profi Press.

West, J. (2003). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

Workswell.eu. (2023). *WIC Industrial*. Retrieved 2024-02-22, from <https://workswell.eu/thermal-camera-control-production-wic-industrial/>

Workswell.eu. (2023). *Workswell InfraRed Camera (WIC)*. Retrieved 2024-02-22, from <https://workswell.eu/thermal-camera-for-production-control/>

Zhang, Q., Yang, Y., Liu, G., Ning, Y., & Li, J. (2023). Dairy Cow Mastitis Detection by Thermal Infrared Images Based on CLE-UNet. *Animals*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/ani13132211>

9 Přílohy

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schematické znázornění vývoje mastitidy infikovaného vemene (Viguiet et al., 2009).....	16
Obrázek 2: NK-test (Scott et al., 2011).....	18
Obrázek 3: Elektromagnetické záření – řazeno podle vlnové délky (Knížková a Kunc 2020)	21
Obrázek 4: Složky záření dopadající na snímač (Knížková & Kunc, 2021)	22
Obrázek 5: Termogram – barvy duhy (vlastní).....	24
Obrázek 6: Standardní postup měření (Knížková & Kunc, 2021).....	26
Obrázek 7: Prototyp dojícího robota Lely Astronaut (Lely.com).....	28
Obrázek 8: Termografická kamera FLIR E96 (flir.eu)	34
Obrázek 9: Termografická kamera FLIR E6 (w-technika.cz)	35
Obrázek 10: Pouzdro na IRT kameru (workswell.eu)	37
Obrázek 11: Termografická kamera Workswell WIC (workswell.eu)	37
Obrázek 12: Měření ve stáji (vlastní).....	39
Obrázek 13: Umístění stacionární kamery na farmě A (vlastní).....	40
Obrázek 14: Vyhodnocení snímku pomocí ImageJ a GIMP pro zvýraznění teplotních variací vemene, průměrná teplota zvýrazněné části 39.9 °C	40
Obrázek 15: Zobrazení vlivu ohřevu slunečními paprsky pomocí IR a VIS snímku (FLIR E6).....	43
Obrázek 16: Lokální ohřev vemena vlivem kontaktu s nohou (FLIR E6).....	43
Obrázek 17: Porovnání VIS a IR snímků u krav bez zvýšeného PSB a bez viditelné variace teploty vemene (FLIR E6).....	44
Obrázek 18: Porovnání VIS a IR snímků u krav bez zvýšeného PSB ale s viditelnou variací teploty vemene (FLIR E6).....	44
Obrázek 19: Porovnání VIS a IR snímků u krav se zvýšenou hodnotu PSB ale bez viditelné variace teploty vemene (FLIR E6).....	45
Obrázek 20: Porovnání VIS a IR snímků u krav se zvýšenými PSB a s viditelnou variací teploty vemene (FLIR E6).....	45
Obrázek 21: Zobrazení zdravých a nemocných vemen (FLIR E96).....	46

Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické parametry termografické kamery FLIR E96	34
Tabulka 2: Technické parametry termografické kamery FLIR E6	35
Tabulka 3: Technické parametry termografické kamery Workswell WIC	37
Tabulka 4: Seznam dojnic analyzovaných pomocí FLIR E6	47
Tabulka 5: Seznam dojnic analyzovaných pomocí FLIR E96	49
Tabulka 6: Tabulka Cohenova kappa pro porovnání PSB a IRT vyhodnocení zánětů	50

Seznam grafů

Graf 1: Histogram rozložení hodnot PSB u krav na farmě A (soubor měsíčních měření říjen 2023–březen 2024)	42
---	----

Seznam použitých zkratk

IR: infračervená oblast záření

IRT: infračervená termografie

PSB: počet somatických buněk

VIS: viditelné oblast záření
