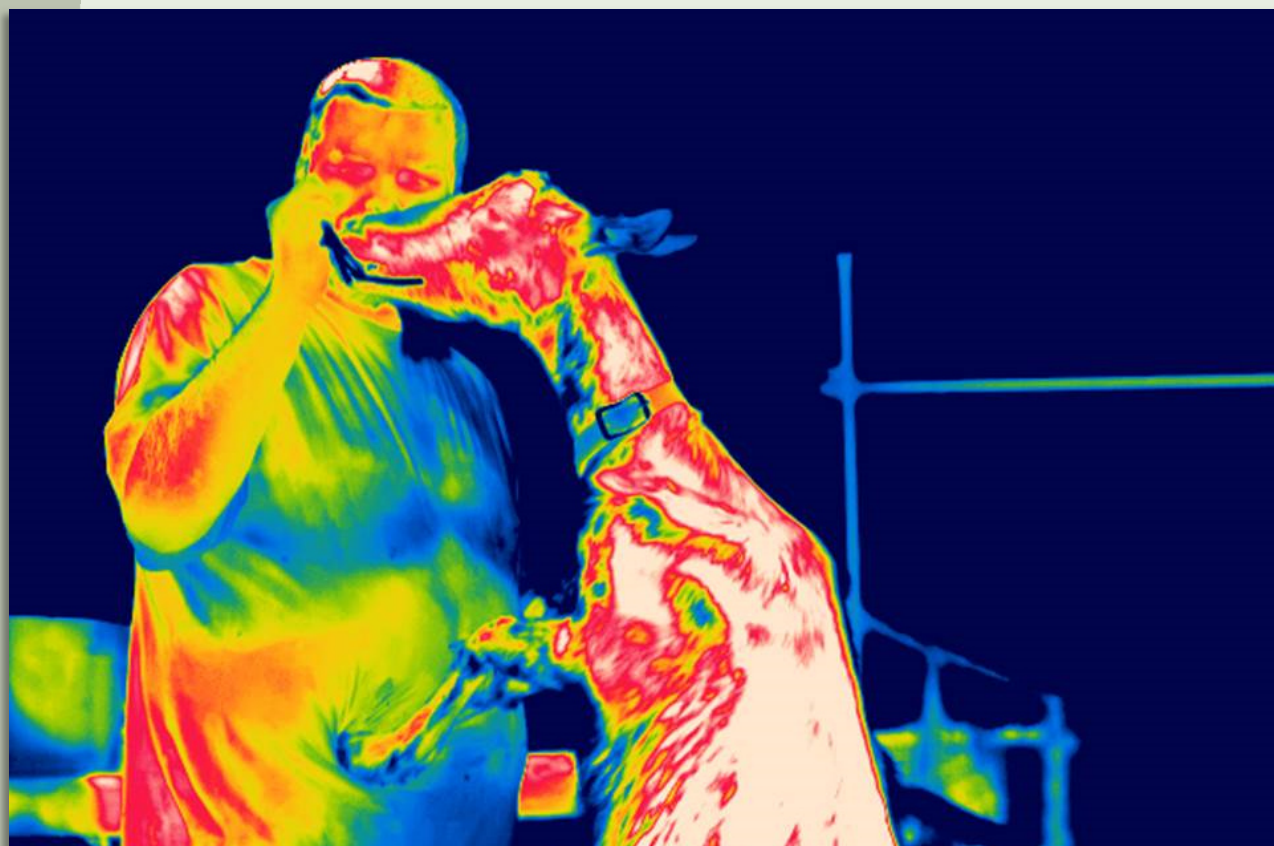


Ivana Knížková

Petr Kunc

## INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE

### Specifika a správné postupy měření živých objektů







# **CERTIFIKOVANÁ METODIKA**

## **Infračervená termografie Specifika a správné postupy měření živých objektů**

### **Autoři**

doc. Ing. Ivana Knížková, CSc.

doc. Ing. Petr Kunc, Ph.D.

### **Oponenti**

prof. MVDr. Daniela Lukešová, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Jan Vodička, Ministerstvo zemědělství

Metodika byla vypracována v rámci podpory na rozvoj výzkumné organizace  
č. MZE-RO0718

### **Předkladatel**

Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i. se sídlem Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetěves  
zastoupený doc. Ing. Petrem Homolkou, CSc., Ph.D., ředitelem

[www.vuzv.cz](http://www.vuzv.cz)

Zástupcem autorského týmu je doc. Ing. Ivana Knížková, CSc.



**Ministerstvo zemědělství**  
**Těšnov 65/17**  
**110 00 Praha 1**

v y d á v á

## **OSVĚDČENÍ**

č. MZE-67091/2021-18141

o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací, schválené usnesením vlády dne 8. února 2017, číslo 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017 č. 837.

Název metodiky: **Infračervená termografie. Specifika a správné postupy měření živých objektů**

Autoři: **doc. Ing. Ivana Knížková, CSc., doc. Ing. Petr Kunc, Ph.D.**

Název organizace: **Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Praha Uhřetěves**

Místo vydání: **Praha**

Rok vydání: **2021**

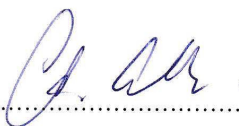
ISBN: **978-80-7403-258-5**

Metodika byla vypracována v rámci výzkumného projektu č. **MZE-RO0718**

Využívá projekt „Pravidla pro odvětví zemědělství, lesnictví, rybolov“? **NE**

V Praze dne

29 -11- 2021

  
.....  
Razítko a podpis zástupce odborného útvaru státní správy



Jméno zástupce odborného útvaru státní správy:

Ing. Miroslava Czetmayer Ehrlichová

Funkce zástupce odborného útvaru státní správy:

ředitelka Odboru zemědělských komodit MZe

Souhlas ředitele Odboru vědy, výzkumu a vzdělávání MZe:

V Praze dne

1. 11. 2021

  
.....  
Mgr. Jan Radoš

# Obsah

<b>1. CÍL METODIKY</b> .....	<b>6</b>
<b>2. VLASTNÍ POPIS METODIKY</b> .....	<b>6</b>
Infračervená termografie .....	6
Uplatnění infračervené termografie.....	7
Měřicí technika.....	7
Termografická kamera.....	8
Technické parametry termografických kamer.....	8
Termogram .....	9
Tělesná teplota.....	9
Měření zvířat .....	10
Faktory, ovlivňující měření .....	12
Technické a technologické faktory.....	13
Environmentální faktory.....	15
Biologické faktory .....	17
Standardní postup měření zvířat pomocí infračervené termografie .....	17
Místo měření.....	19
Specifika měření oka .....	19
Vyhodnocování termogramů.....	20
<b>3. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“</b> .....	<b>22</b>
<b>4. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY</b> .....	<b>23</b>
<b>5. EKONOMICKÉ ASPEKTY</b> .....	<b>23</b>
<b>6. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY</b> .....	<b>24</b>
<b>7. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE</b> .....	<b>25</b>
<b>8. JMÉNA Oponentů A Názvy Jejich Organizací</b> .....	<b>26</b>
<b>9. DEDIKACE</b> .....	<b>26</b>

# 1. Cíl metodiky

Infračervená termografie (IRT) je neinvazní a bezpečná metoda zobrazování teplotní mapy objektů. V dnešní době se jedná o celý vědní obor, jehož úkolem je sledovat a zaznamenávat infračervenou energii, kterou vyzařují objekty a následně podrobit analýze teplotní pole povrchu sledovaných objektů. Měření probíhají bezkontaktně pomocí tzv. termografických kamer, které jsou schopny infračervené záření zviditelnit pro lidské oko.

V důsledku technického pokroku našla tato metoda četná uplatnění v mnoha oborech a lze očekávat další rozšiřování jejího uplatnění. Avšak v důsledku rychlého technologického rozvoje a dostupnosti termografických měřicích systémů o různé kvalitě dochází k paradoxní situaci. Je totiž pravděpodobně provozováno stále více systémů, než je obsluhujícího personálu, který tomu rozumí. Jejich neznalost fyziky v oblasti infračerveného záření, neznalost podstaty měření a správných měřicích postupů vede k nesprávné interpretaci „barevných obrázků“ - infračervených snímků (termogramů). Kamera či fotoaparát vytvoří líbivý barevný obrázek, ale jak jej dále správně vyhodnotit je někdy obtížné pro odborníky, natož pro laiky. Zakoupení jakéhokoliv termografického systému nedělá z člověka odborníka. To se ukázalo při živelném nákupu termokamer v souvislosti s šířením nemoci covid-19 do vrátnic institucí, firem či vstupů do nemocnic. Vzhledem k neznalostem obsluhy termokamer v oblasti měření touto technikou a o specifikách měření teplokrevných živočichů, včetně člověka, bylo získáno značné množství falešně pozitivních či naopak falešně negativních nálezů.

Na základě těchto skutečností si metodika klade za cíl poskytnout relevantní informace o principu infračervené termografie, dostupné měřicí technice, jejich kvalitách, získaném teplotním obrazu a jeho správné interpretaci. Dále si metodika klade za cíl popsat principy a postupy správného měření živých organismů (zejména teplokrevných živočichů), ale rovněž upozornit na limity a faktory, ovlivňující měření IRT.

Autoři metodiky se v rámci svých vědeckých aktivit dlouhodobě zabývají využitím infračervené termografie pro zemědělský, biologický a medicínský výzkum. Během výzkumu získali díky používání metody infračervené termografie nejen mnoho poznatků, zejména při měření živých organismů, dále absolvovali odborná školení (certifikace) a semináře, kde získali mnoho cenných zkušeností. Metodika vychází z dříve publikovaných prací i praktických zkušeností autorů v tomto oboru.

## 2. Vlastní popis metodiky

### Infračervená termografie

IRT je neinvazní a bezpečnou metodou zobrazování teplotní mapy objektu. V současné době je považována nejen za metodu, ale i celý vědní obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotních polí na povrchu těles. Úkolem termografie je tedy analýza infračervené energie vyzařované tělesem, sledovaným objektem. Měření lze provádět i na velmi vzdálených objektech.

Všechna tělesa teplejší než absolutní nula (0 Kelvinů, tedy  $-273,15\text{ °C}$ ) vysílají energii v infračervené části spektra a tato tělesa jsou tepelnými zářiči v této části spektra. Intenzita a distribuce vyzařované energie je závislá na teplotě tělesa a na vyzařovacích schopnostech povrchové vrstvy tělesa.

Infračervené záření (IR) je částí elektromagnetického záření, které však není při běžných podmínkách pro lidské oko viditelné. Spektrální rozsah znázorňuje schéma 1.

## Schéma 1 Elektromagnetické záření – řazeno podle vlnové délky



(Zdroj: Zapletal, 2009)

Objevitelem infračerveného záření je Sir William Herschel (1738 – 1822).

Infračervené záření se v celkovém rozsahu jeho vlnové délky dělí na jednotlivá pásma. Jako nejzákladnější je možno uvést následující:

- blízké (0,76–5 μm),
- střední (5–30 μm),
- dlouhé (30–1000 μm).

### Uplatnění infračervené termografie

IRT našla četná uplatnění v mnoha oborech a vzhledem k technickému pokroku lze očekávat její další využití. V současné době je IRT nejvíce využívána v oblasti průmyslu, a to zejména ve stavebnictví, strojírenství, energetice a nelze opomenout její uplatnění při práci záchranných sborů a ve vojenských a policejních aktivitách.

Vedle technických oborů nachází rovněž uplatnění v oborech humánní a veterinární medicíny a v současnosti i v oblasti zemědělství. Ve veterinární medicíně se první použití datuje k roku 1965, kdy ji Delahanty a Georgi použili k vyšetření koní.

U živých organismů je IRT ve světě uznávána jako pomocná nespecifická diagnostická metoda, která se využívá k odhalování tepelných rozdílů mezi symetrickými oblastmi těla. Z teplotních rozdílů lze následně posuzovat závažnost případových studií u člověka nebo zvířete. IRT se řadí mezi tzv. bioaplikace, neboť je také považována za zobrazovací metodu, založenou na detekci a zpracování tzv. vlastních biosignálů, vznikajících přímo v organismu. Snímá se pouze přirozené záření z povrchu. Metoda je neinvazní, tedy „neprodukuje“ žádné škodlivé záření ani významně nezatěžuje sledovaný objekt (organismus). Další výhodou metody je, že nevyžaduje přímý fyzický kontakt s monitorovaným povrchem, což umožňuje dálkové odečítání rozložení tepla.

IRT je dále vhodným nástrojem i pro studium termoregulačních a adaptačních schopností organismů, nebo ke studiu podmínek welfare u hospodářských a exotických zvířat apod. Konkrétní využití u hospodářských zvířat bylo popsáno v publikaci „Infračervená termografie a její využití pro zjišťování pohody a zdraví hospodářských zvířat“ od autorů Knížková a Kunc (2020).

### Měřicí technika

Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné. Nicméně od jeho objevu bylo snahou toto záření nějakým způsobem zviditelnit a využívat jej v různých oborech lidské činnosti. Dlouholetým úsilím a díky vědeckému pokroku byly vyvinuty systémy, které jsou schopny infračervené záření zviditelnit pro lidské oko. Výzkum a vývoj v oblasti infračerveného záření a možnosti jeho zobrazování pokračují dynamicky a stávají se dostupnými pro širokou škálu uživatelů.

## Termografická kamera

Jedná se o speciální zařízení, které bylo vyvinuto k zobrazení, resp. vizualizaci infračerveného záření. Na první pohled se podobá klasické kameře, nebo videokameře. Zřízení je uváděno také pod obchodními názvy termokamera, infrakamera, termovizní kamera, nebo IR kamera. V dnešní době je možné získat i tzv. termografické adaptéry do mobilních telefonů, termografické puškohledy apod.

Termografická kamera umožňuje detekovat infračervené záření sledovaného objektu bezkontaktně, což je její velkou výhodou. Je třeba si uvědomit, že termografická kamera neměří přímo povrchovou teplotu, ta se dopočítává na základě změřené intenzity toku infračerveného záření a zadaných okrajových podmínek (viz dále). Kamera je schopna zachytit i minimální změny teplot. Nasnímaný materiál se počítačově zpracovává do jednotlivých teplotních obrazů (termogramů), které slouží k detailní analýze teplotního pole.

Termografické kamery používají čtyři systémy zobrazování podle rozlišovací schopnosti detektoru:

- NIR (Near Infrared) - blízké infračervenému spektru 0,9 až 2,5  $\mu\text{m}$ ,
- SWIR (Short Wave) – krátkovlnný systém se spektrálním rozsahem 2,5 až 5  $\mu\text{m}$ ,
- MWIR (Mid Wave) - středněvlnný systém se spektrálním rozsahem 3 až 5,5  $\mu\text{m}$ ,
- LWIR (Long Wave) – dlouhovlnný systém se spektrálním rozsahem 7,5 až 14  $\mu\text{m}$ .

V oblasti výzkumu a diagnostikování živých objektů se nejvíce využívají systémy dlouhovlnné. Naměřená hodnota intenzity infračerveného záření je u dlouhovlnných systémů méně ovlivněna emisivitou povrchové vrstvy sledovaného objektu, než je tomu u krátkovlnných systémů.

V dnešních termografických kamerách se používají zejména nechlazené infračervené maticové snímače, tzv. bolometry. Kvůli jejich vysoké ceně se převážně využívají k bezkontaktnímu měření tam, kde není možné je nahradit jinými radiačními pyrometry, jako jsou infratermočlánky nebo pyroelektrické snímače.

## Technické parametry termografických kamer

Velmi důležitým faktorem pro každého uživatele jsou technické parametry kamer. Je nutné si předem jasně stanovit, za jakým účelem se kamera pořizuje, jak detailní snímky (termogramy) budou třeba ke správnému vyhodnocení a interpretaci výsledků měření. Z toho pak vychází posouzení a výběr nabízených parametrů.

Základem je rozlišení snímače. Existuje zásada, že pro správnou interpretaci teplotního stavu měřeného objektu musí být tento objekt pokryt plochou 3 x 3 měřicí body (pixely). V tabulce 1 jsou uvedeny příklady technických parametrů termografických kamer, kterých by si měl uživatel všimnout, včetně plochy měřené ze vzdálenosti 1 m, které splňují tuto zásadu v závislosti na rozlišení snímače.

**Tabulka 1 Příklady technických parametrů termografických kamer**

Rozlišení	Objektiv (FOV)	IFOV (mrad)	Plocha v mm (d=1m, 3x3 pix)	Citlivost snímače	Teplotní rozsah
1024 x 768	45° x 34°	0,8	2,4 x 2,4	< 0,02 °C	- 40 až 2000 °C
640 x 480	42° x 32°	1,2	3,6 x 3,6	< 0,03 °C	- 40 až 1500 °C
384 x 288	42° x 32°	2	6 x 6	< 0,03 °C	- 20 až 1200 °C
320 x 240	42° x 32°	2,4	7,2 x 7x2	< 0,08 °C	- 40 až 1500 °C
160 x 120	55° x 43°	6,5	19,5 x 19,5	< 0,15 °C	-20 až 400 °C
80 x 60	41° x 31°	11	33 x 33	< 0,1 °C	-10 až 150 °C
60 x 60	12.5° x 12.5°	3,7	11,1 x 11,1	< 0,15 °C	-20 až 250 °C

FOV – zorné pole; IFOV - část obrazu vytvořená jedním elementem detektoru IR kamery

(Upraveno dle Svobody, 2012)

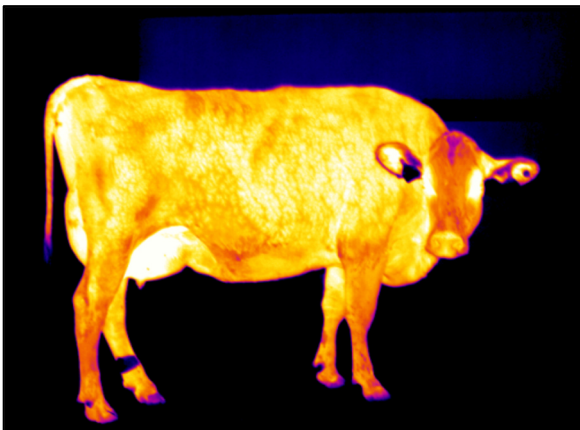
## Termogram

Termogram je infračervený snímek, pořízený prostřednictvím termografické kamery. Lze se setkat s dalšími názvy, např. termovizní snímek či tepelný obraz. Termogram zobrazuje intenzitu tepelného vyzařování z povrchu sledovaného objektu. Infračervené záření je ve snímku „zviditelněno“ pomocí barevné palety, kdy ke každé teplotě je přiřazena jedna barva, nebo barevný odstín. Termogram je zpravidla opatřen stupnicí těchto barev a jejich odstínů. Barevných palet se využívá více druhů, nicméně ke standardním řadíme:

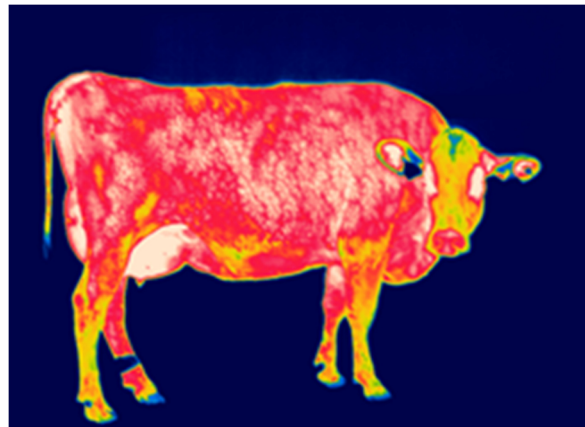
- barvy železa (resp. tavicího se železa, tzv. iron),
- barvy duhy (rainbow),
- odstíny šedí (grey).

Ukázky těchto barevných palet jsou uvedeny na obrázku 1.

**Obr. 1 Ukázka vybraných barevných palet termogramu**



*a) barvy železa*



*b) barvy duhy*

*(Zdroj: autoři)*



*c) odstíny šedi*

Termogramy se dělí podle způsobu jejich datového obsahu na radiometrické a neradiometrické. Radiometrické termogramy dokážou určit povrchovou teplotu zkoumaného objektu, např. zjistit teplotu ve vybraných bodech apod. S termogramy se dá dále pracovat a vyhodnocovat je speciálním počítačovým programem, lze upravovat parametry i po uložení snímku. Neradiometrické snímky takovéto možnosti nemají, pouze zobrazují stav při pořízení snímku.

*(Zdroj: autoři)*

## Tělesná teplota

Změna tělesné teploty je uznávána jako důležitý indikátor průběhu onemocnění nebo nepohody, zejména ve vztahu k tepelnému či chladovému stresu. Zjišťování tělesné teploty (vnitřní, rektální) se standardně provádí klasickými teploměry. S rozvojem a uplatňováním IRT v medicínských oborech se ukazuje možnost využívat termografie ke stanovení změn vnitřní teploty, např. v období propuknutí těžkých akutních respiračních nemocí (SARS - těžký akutní respirační syndrom, MERS - blízkovýchodní respirační

syndrom), kdy byla IRT využita na letištích pro včasný záchyt a izolaci osob se zvýšenou tělesnou teplotou, s cílem zabránit přenosu a šíření těchto zoonóz. Tato měření však neprobíhala úplně standardně, tedy v souladu s požadavky na měření pomocí IRT a lze je považovat pouze za orientační. Bohužel, živelný nákup termografických kamer v souvislosti s šířením nemocí covid -19 do vrátnic institucí, firem či vstupů do nemocnic ne vždy poskytoval vypovídající údaje, neboť obsluha termografických kamer neměla dostatečné znalosti o zásadách měření touto technikou, o specifikách měření teplokrevných živočichů, včetně člověka, nebyla obeznámena s faktory, které mohou teplotní obraz měřeného jedince zkreslit a výsledkem bylo značné množství falešně pozitivních či falešně negativních nálezů. Stačí, aby jedinec před vstupem pobýval na slunci a ihned má zvýšenou teplotu povrchu těla a je následně odeslán dle neodborného vyhodnocení výsledku měření do místnosti sloužící k izolaci podezřelých osob. Pokud zde budou další lidé se zvýšenou teplotou a mezi nimi i jedinec, který je skutečně covid -19 pozitivní, může tak snadno dojít k přenosu infekčních patogenů na další osoby v místnosti.

## Měření zvířat

U hospodářských zvířat bývalo použití IRT méně časté, nicméně v poslední době je tato metoda v popředí zájmu, a to i v oblasti chovů hospodářských zvířat. Zpočátku byla IRT využívána především pro výzkum termoregulačních a adaptačních schopností zvířat či k diagnostickým účelům (diagnostika klinických a subklinických projevů, stanovení úspěšnosti léčby apod.). V poslední době, s nástupem nových aktuálních problémů, je využívána k výzkumu a hodnocení tepelné pohody zvířat a dále k hodnocení kvality chovného prostředí a jeho vlivu na hospodářská zvířata v souvislosti s omezováním skleníkových plynů.

Jak již bylo uvedeno, IRT je jedinou zobrazovací metodou, založenou na detekci a zpracování tzv. vlastních biosignálů vznikajících přímo v organismu. Použití termografické metody, při studiu zvířat i člověka, je spojeno s výměnou tepla mezi tělem a vnějším prostředím. Výměna probíhá zářením (radiací), prouděním (konvekci), odpařováním (evaporací) a vedením (kondukcí). Zásadní úlohu v přenosu tepla hraje kůže, která tvoří hranici mezi tělem a okolním prostředím.

U živých teplokrevných živočichů, kam patří většina hospodářských zvířat, jsou výzkumy a diagnostiky založeny na změnách cirkulace krve, významným nositelem tepla v organismu. Zvýšení či snížení průtoku krve tkáněmi vyvolávají zvýšení či snížení teploty, a toho lze využít k hodnocení situace, např. během zánětu či tvorbě nádorových buněk, kdy se zvyšuje průtok krve v postižené oblasti a tím i teplota, v porovnání s okolní zdravou tkání. Nicméně teplota povrchu těla stoupá i během svalové aktivity a bývá reakcí na vysoké teploty okolního prostředí (tepelný stres). Naopak v mnoha případech může docházet i k nedostatečnému prokrvování tkání, např. vlivem trombózy, což se na termogramech projeví jako tzv. studená oblast. Chladné oblasti končetin či dalších částí těla mohou souviset opět s termoregulačními schopnostmi zvířete, konkrétně reakcí na chladové podněty (chladový stres). Obecně platí, že teplota povrchu těla se stává významným indikátorem probíhajících změn v organismu.

IRT je označována za tzv. nespecifickou diagnostiku, což znamená, že ačkoliv je tato metoda citlivá v odhalování teplotních změn u zvířat, nemusí být dostatečně vypovídající k určení jejich příčin. Metoda není rovněž vhodná k diagnostice interních onemocnění, která se většinou neprojevují teplotními změnami na povrchu těla.

Obecně je IRT prakticky používána u zvířat ve třech základních oblastech:

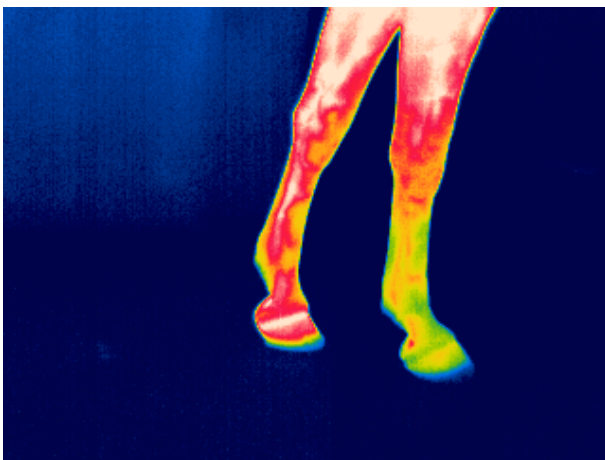
- jako diagnostický nástroj, kdy rozdíl 1 °C mezi dvěma anatomicky symetrickými oblastmi indikuje zánětlivý proces v dané oblasti,
- pro posouzení fyzické zátěže, termoregulačních a adaptačních schopností zvířat, kdy je možné detekovat více a méně prokrvované části těla,

- pro rutinní měření pohody zvířat, včetně zjišťování subklinických problémů, které se mohou teplotně projevit dříve, než se objeví první klinické projevy.

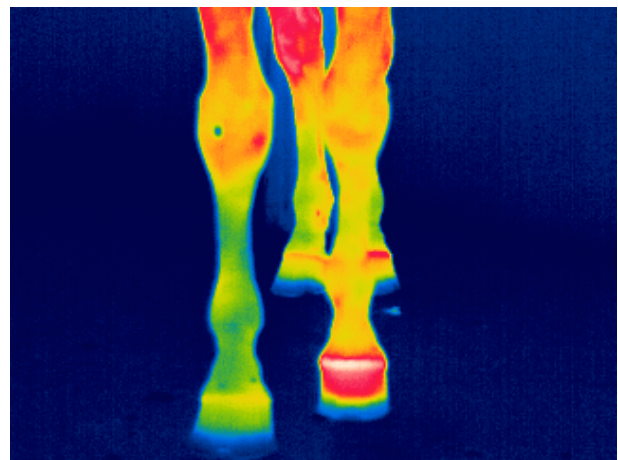
Na následujících obrázcích jsou dokumentovány některé příklady využití.

Obrázek 2 zachycuje zánětlivé procesy v končetinách koní. Obrázek 3 představuje termogramy vemene před a po procesu strojního dojení, které způsobuje zvyšování teploty struků. Pokud teplota nepřesáhne 3 °C, lze technické parametry dojicího stroje považovat za vyhovující. Obrázek 4 souvisí s výzkumem termoregulačních a adaptačních schopností novorozených jehňat různých plemen a kříženců. Termogramy dokumentují výborné tepelně izolační vlastnosti pokryvu těla jehňat plemene romney march a naopak méně kvalitní vlastnosti pokryvu těla u kříženců suffolk x merinolandschaf.

**Obr. 2 Zánětlivé procesy v končetinách koní**



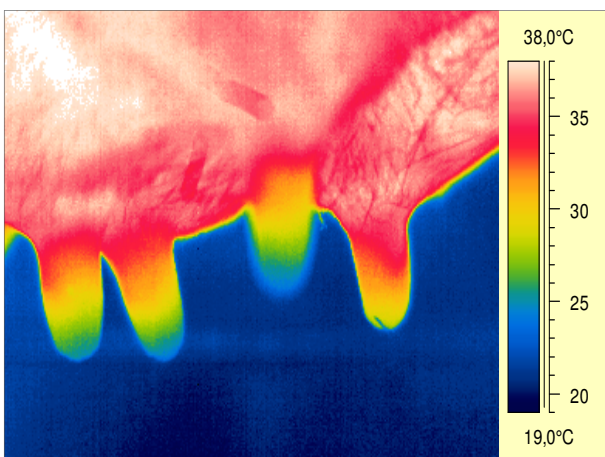
a) zánětlivý proces v končetině



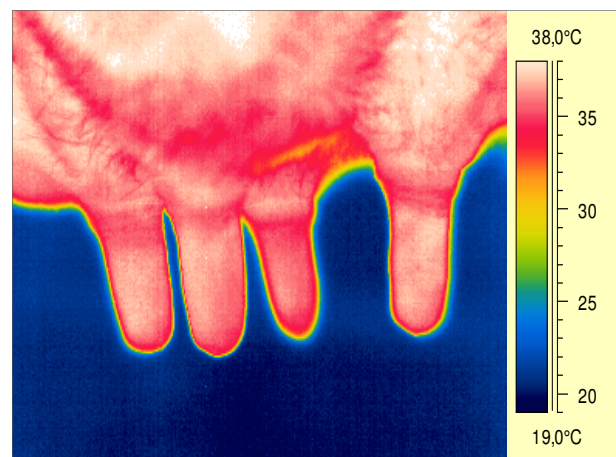
b) zánětlivý proces v kopytě

(Zdroj: autoři)

**Obr. 3 Termogramy tepelného stavu vemene a struků před a po strojním dojení**



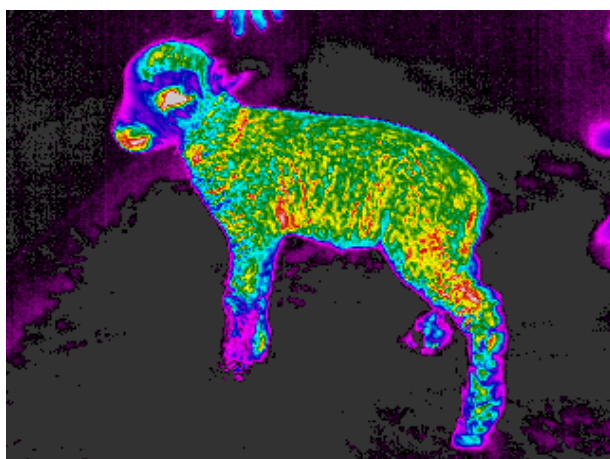
a) stav před dojením



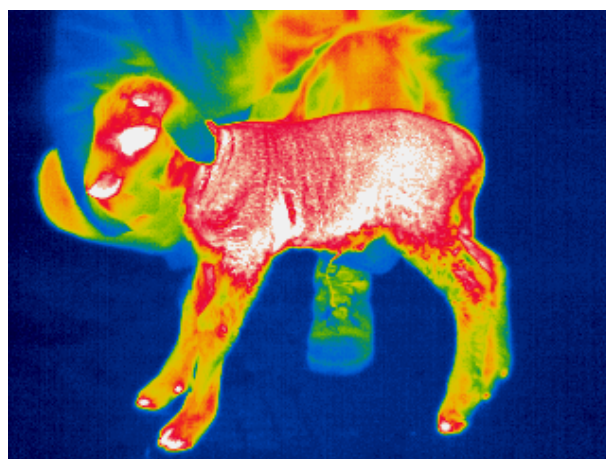
b) stav bezprostředně po dojení

(Zdroj: autoři)

**Obr. 4 Termogramy tepelně izolačních vlastností pokryvu těla jehňat**



a) romney march



b) suffolk x merinolandschaf

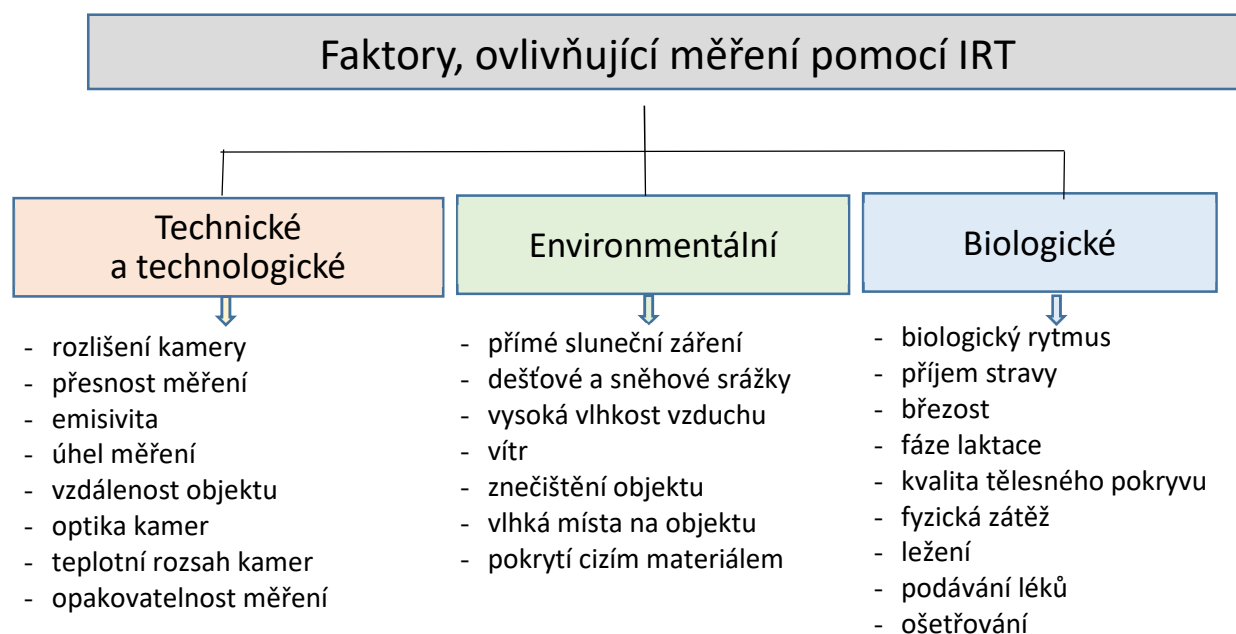
(Zdroj: autoři)

Měření živých objektů pomocí IRT má však svá specifika, na které je nutné brát zřetel. Před měřením je nutné si stanovit, jaká má být očekávaná informace. Buď je sledován akutní stav, např. zranění, je možno ihned provést měření, avšak tato informace je pouze orientační. Je-li třeba exaktní informaci o stavu měřeného zvířete, např. zjistit úspěšnost léčby, je nutné se na měření zvířete připravit.

### Faktory, ovlivňující měření

Měření je ovlivňováno celou řadou faktorů, které významně ovlivňují výsledný teplotní obraz. Tyto faktory musí být proto brány plně do úvahy při pořizování a vyhodnocování termogramů. Pokud nebudou zohledněny, dochází k chybné interpretaci výsledků, získaných pomocí IRT. Faktory ovlivňující měření pomocí IRT jsou stručně shrnuty ve schématu 2.

**Schéma 2 Faktory ovlivňující měření IRT**



(Upraveno dle LokeshBabua et al., 2018)

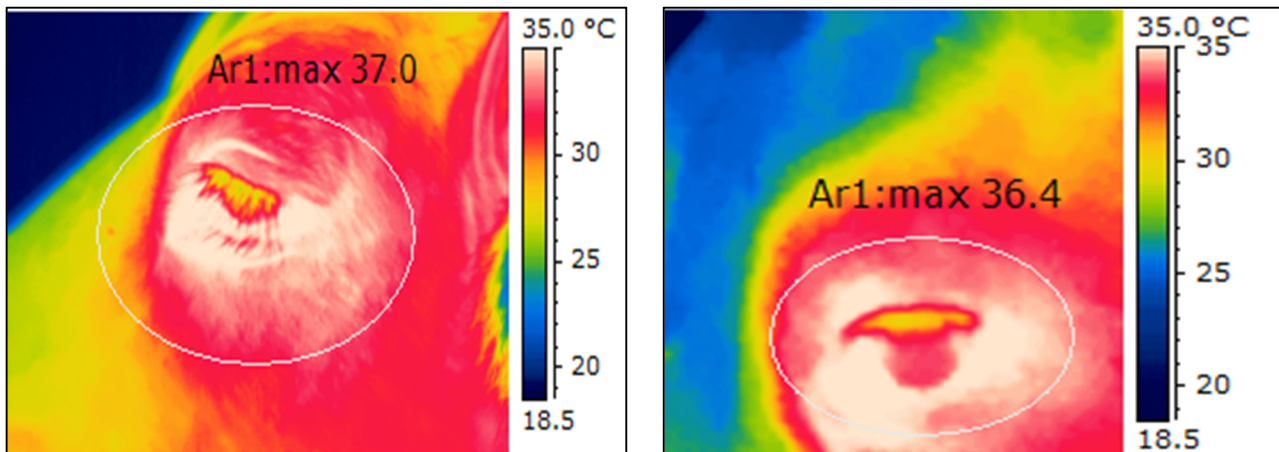
## Technické a technologické faktory

### Rozlišení termografické kamery

Příklady technických parametrů termografických kamer jsou uvedeny v tabulce 1. Následujícími obrázky je zdokumentována kvalita termogramů, v závislosti na rozlišení a vzdálenosti snímaného objektu.

Obrázek 5 ukazuje teplotu oka dojnice, měřenou kamerou s vysokým i nízkým rozlišením. V termogramech je vyznačena maximální zjištěná teplota v oblasti oka, která je výrazně rozdílná v závislosti na rozlišení.

**Obr. 5** Teplota oka snímaná kamerou s vysokým a nízkým rozlišením ze vzdálenosti 1 m



a) rozlišení 640 x 480

b) rozlišení 60 x 60

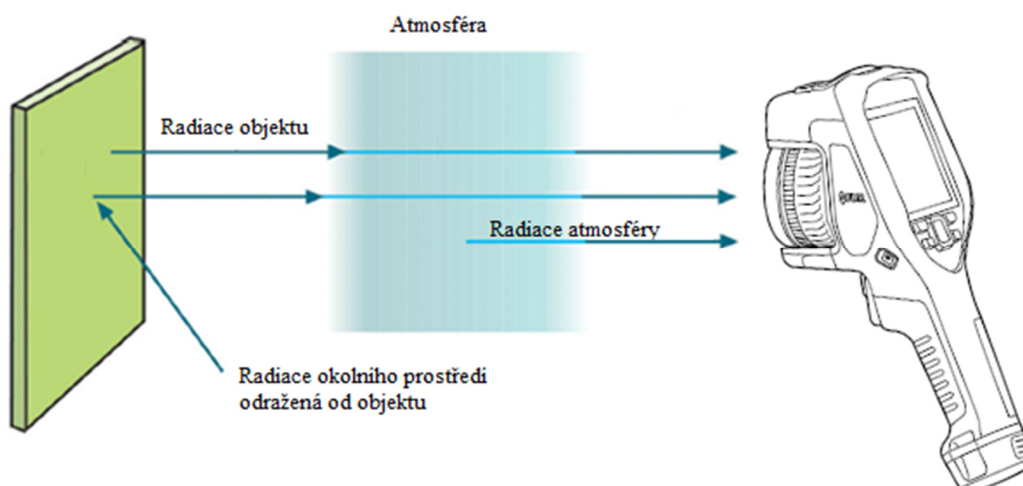
(Zdroj: autoři)

### Přesnost měření

Existuje názor, že termografická kamera měří infračervené záření vyzařované měřeným objektem. To je pouze částečná pravda (viz schéma 3), kdy se infračervené záření dopadající na snímač skládá ze tří složek:

- záření emitované atmosférou,
- záření od okolního prostředí, nazývané odražená zdánlivá teplota,
- vlastní záření měřeného objektu.

**Schéma 3** Složky záření, dopadající na snímač



(Zdroj: Svoboda, 2012)

Mezi měřeným objektem a kamerou je vždy určitá vrstva vzduchu. Protože vzduch je teplejší než absolutní nula, tak i on vyzařuje tepelné záření. Proto je nutné zaznamenávat současně informace o:

- teplotě vzduchu,
- relativní vlhkosti vzduchu,
- tloušťce vrstvy neboli vzdálenosti mezi kamerou a objektem,
- odražené zdánlivé teplotě.

Tyto hodnoty je nutné zadávat do vyhodnocovacího software či kamery, aby byl získán opravdu reálný termogram.

Termín "odražená zdánlivá teplota" vznikl doslovným překladem z anglického "reflected apparent temperature". Technicky tento termín není správný, protože teplota se nemůže "odrážet", avšak je běžně používán v odborné literatuře. Jedná se o záření emitované okolními objekty a následně odražené od měřeného objektu.

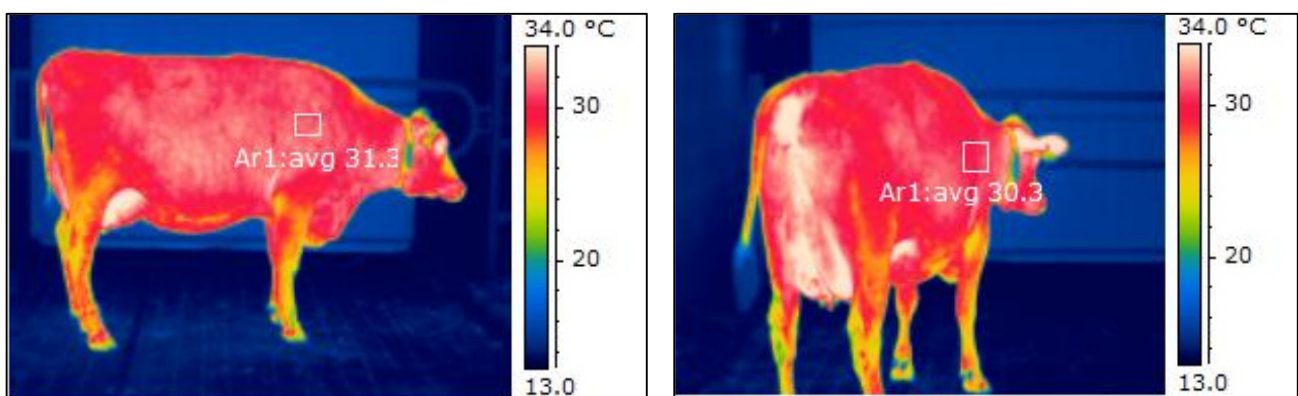
### Emisivita

Intenzitu odrazu určuje emisivita povrchu, kdy se jedná o bezrozměrné číslo z intervalu 0 až 1 a udává poměr energie vyzařované objektem při jeho dané teplotě k energii vyzařované „absolutně černým tělesem“ při stejné teplotě. Pro pochopení je nutné si uvědomit, že u absolutně černého tělesa je veškeré záření pohlceno a poté je tělesem opět vyzářeno. U „absolutně bílého tělesa“ je veškeré záření odraženo, aniž by se dostalo do měřeného objektu. To znamená, čím lesklejší povrch, tím větší je schopnost odrazu a tato složka se v celkovém dopadajícím záření stává velmi významnou. U kůže a srsti se hodnota pohybuje v rozmezí 0,95 – 0,98. Zadáním chybné emisivity do protokolu (softwaru) může docházet ke zkreslení výsledků.

### Úhel měření

Rovněž úhel měření je nezanedbatelným faktorem. Tento úhel, který svírá osa optiky s plochou měřeného objektu by se měl obecně pohybovat do 45°. Při nižším úhlu již dochází k velkému zkreslení naměřených hodnot a sledovaný objekt, resp. plocha, má zdánlivě nižší povrchovou teplotu. Vliv úhlu je dokumentován na obrázku 6 při měření oblasti plece dojnice.

**Obr. 6 Vliv úhlu měření**



a) úhel 90°

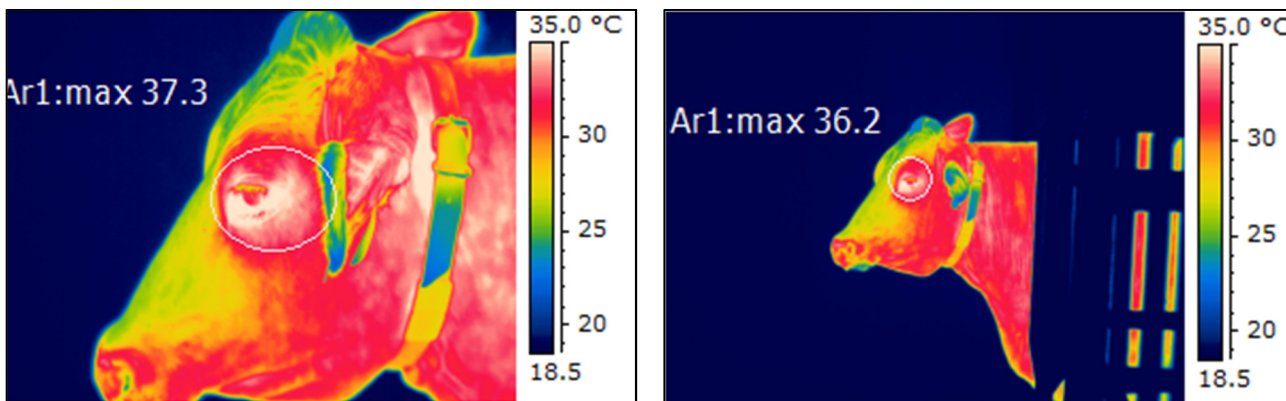
b) úhel menší než 45°

(Zdroj: autoři)

### Vzdálenost sledovaného objektu

Vzdálenost snímaného objektu významně ovlivňuje kvalitu výsledného termogramu. Obrázek 7 prezentuje teplotu oka dojnice, měřenou kamerou s vysokým rozlišením, avšak z rozdílné vzdálenosti (1 metr versus 5 metrů). V termogramech je vyznačena maximální zjištěná teplota v oblasti oka, která je výrazně rozdílná, v závislosti na vzdálenosti měřeného zvířete.

**Obr. 7 Teplota oka snímaná kamerou z různé vzdálenosti**



a) vzdálenost 1 m

b) vzdálenost 5 m

(Zdroj: autoři)

### Ostatní faktory

Významnou roli sehrává i optika a je třeba vědět předem, zda potřebujeme systém, kterým se budou zaostřovat detaily, nebo se uživatel spokojí s fixním fokusem. Je nutné znát i citlivost snímače, zejména při exaktních měřeních.

Nelze podceňovat tzv. teplotní rozsah kamer a způsob ovládání kamery, kdy při pohybu mezi zvířaty nebo v nebezpečném prostředí je nutné, aby alespoň jedna ruka byla volná. Proto je ergonomie rovněž důležitým parametrem při výběru kamery.

### Opakovatelnost měření

Tento faktor je důležitý zejména při dlouhodobém monitorování stavu sledovaného objektu. Musí tedy být zajištěna možnost opakovaného měření nejen zvířat, ale snímání i během dne nebo mezi jednotlivými dny.

### Environmentální faktory

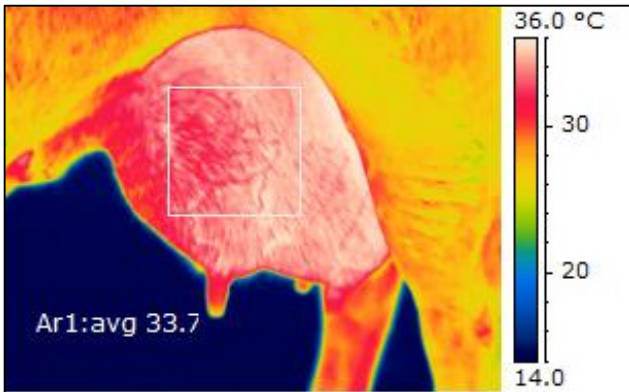
Kromě správného posouzení technických a technologických faktorů, je nutné dále při měření zohlednit i faktory prostředí, které omezují či ovlivňují výsledný termogram.

Termogramy sledovaných objektů není vhodné pořizovat:

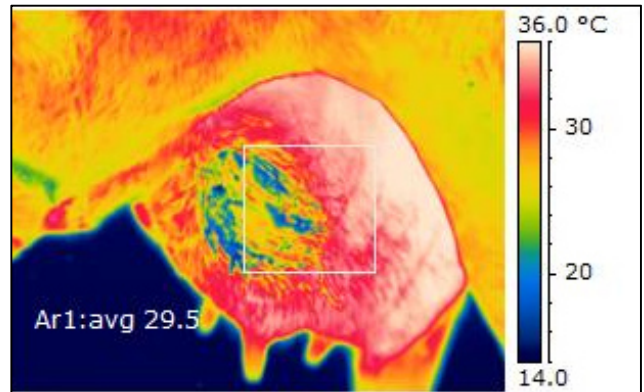
- na přímém slunečním záření,
- během dešťových či sněhových srážek,
- během zvýšeného proudění vzduchu (ochlazovací efekt),
- při působení velmi intenzivního zdroje tepla či chladu,
- při znečištění sledovaného objektu,
- při výskytu vlhkých míst na sledovaném objektu,
- při pokrytí cizím materiálem.

Příklady vlivu některých environmentálních faktorů na výsledný termogram jsou uvedeny v následujících obrázcích 8, 9, 10, 11.

**Obr. 8 Termogramy čistého a znečištěného vemene**



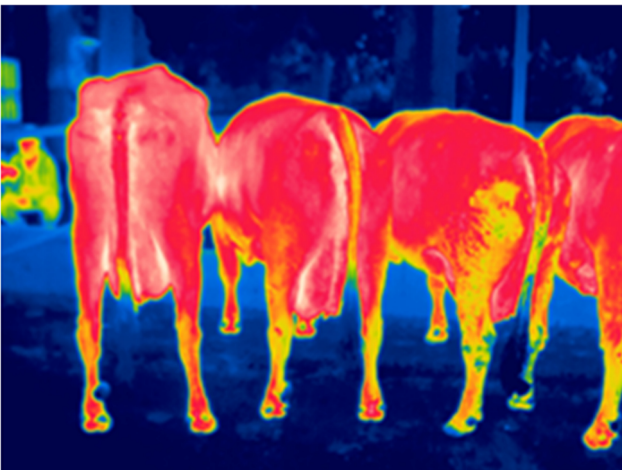
a) čisté vemeno



b) znečištěné vemeno

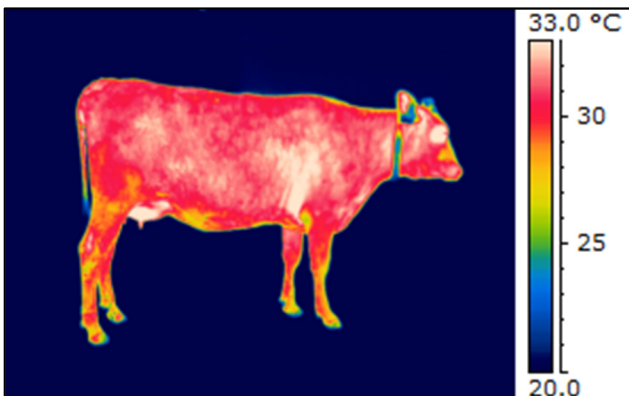
(Zdroj: autoři)

**Obr. 9 Termogram čistých a znečištěných končetin dojníc**

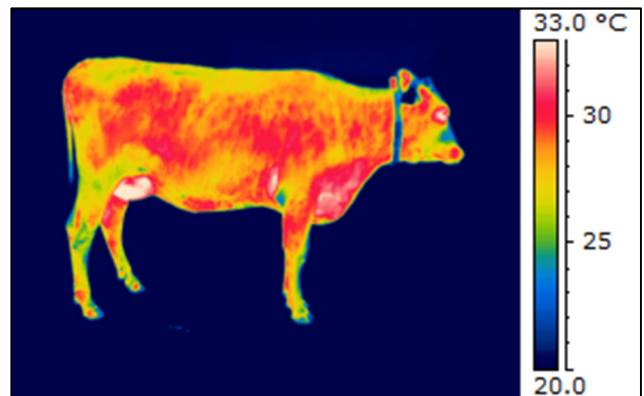


(Zdroj: autoři)

**Obr. 10 Termogramy suché a mokré dojnice**



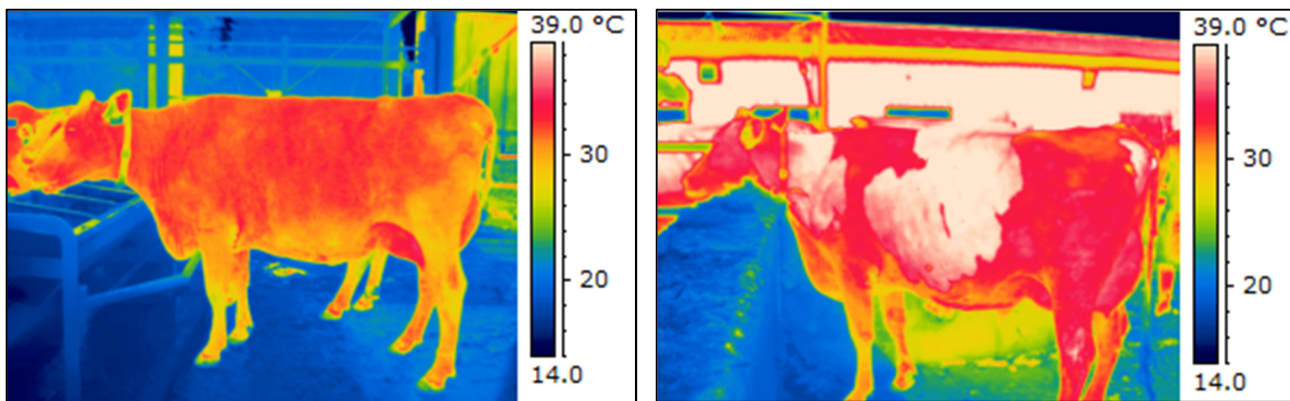
a) suchá dojnice



b) mokrá dojnice

(Zdroj: autoři)

**Obr. 11 Termogramy dojnice měřené při různé sluneční radiaci**



a) bez vlivu přímé sluneční radiace

b) pod vlivem přímé sluneční radiace

(Zdroj: autoři)

## Biologické faktory

Při měření živých organismů je nutno brát do úvahy i vlivy biologického charakteru. Mezi tyto faktory lze především zařadit:

- biologické rytmy (zejména cirkadiánního a ultradiánního rytmu),
- příjem krmiva,
- březost,
- fázi laktace,
- kvalitu tělesného pokryvu (srst, peří),
- fyzickou zátěž,
- ležení,
- podávání léků,
- ošetřování.

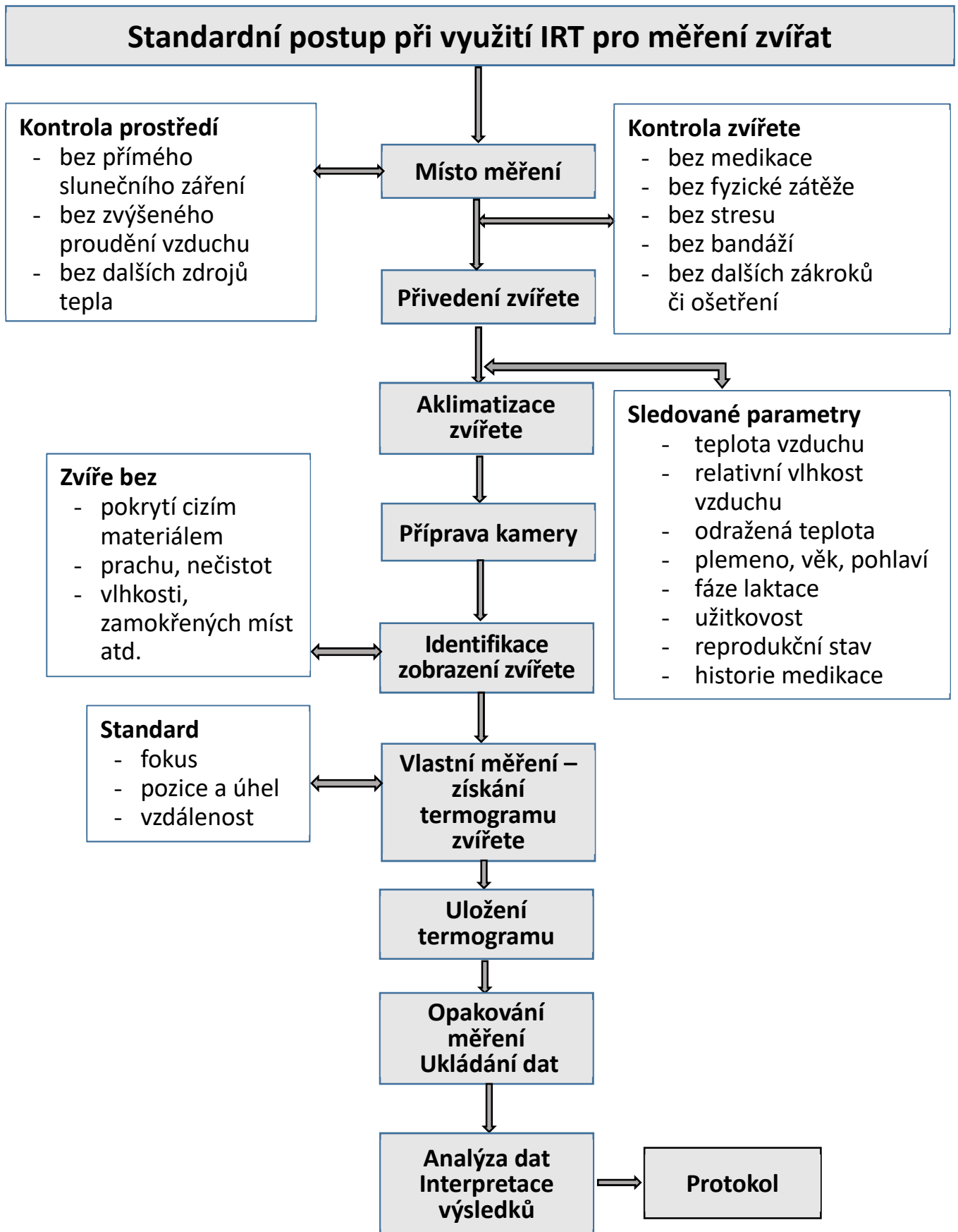
O všech těchto faktorech by měl mít uživatel záznamy pro správné vyhodnocení termogramů, aby nezískal falešně pozitivní či negativní výsledky.

## Standardní postup měření zvířat pomocí infračervené termografie

Teplota povrchu těla podléhá neustálým změnám v závislosti na aktuálním fyziologickém stavu a široce definovaných životních podmínkách. Z tohoto důvodu by měly být brány v úvahu všechny vnitřní charakteristiky jedince, stejně jako vnější vlivy působící na něj, jak již bylo výše popsáno.

Schéma 4 pomocí vývojového diagram stručně znázorňuje standardní postup, který je třeba dodržovat při využití infračervené termografie k měření zvířat.

Schéma 4 Standardní postup měření



(Upraveno dle LokeshBabua et al., 2018)

## Místo měření

Místo měření pomocí IRT má významný vliv na konečný výsledek termogramu. Ideální je oddělená místnost, ve které budou omezeny či eliminovány faktory omezující měření, a to zejména environmentální. Nejčastějším doporučením je živé objekty měřit v nočních hodinách, kdy dochází i ke snižování teploty vzduchu a je větší teplotní spád mezi tělem a okolním prostředím. V nočních hodinách bude navíc lépe vidět kontrast mezi sledovaným objektem a jeho prostředím z důvodu omezení vlivu sluneční radiace.

Místnost by měla být dostatečně velká, resp. se řídit velikostí zvířete. Kamera by měla být vzdálena od zvířete tak, aby objekt mohl být zaznamenán jako celek, stejně tak i detail vybrané tělesné oblasti. U velkých zvířat se uvádí jeden metr pro snímání detailu a šest až sedm metrů při měření celého zvířete.

Z hlediska teploty vzduchu v místnosti je pro měření pomocí IRT ideální teplota 17 °C, nicméně jakákoliv teplota vzduchu pod 30 °C je přijatelná. Teplota vzduchu by měla být konstantní po celou dobu měření. Relativní vlhkost vzduchu má optimální hodnotu mezi 45–60 %. Ideální je také stabilní přísun vzduchu, nemělo by docházet k náhlému ochlazení vyšetřovaného zvířete.

Zvíře by se mělo aklimatizovat po příchodu do místnosti po dobu 15–20 minut a mělo by se zamezit jeho zbytečnému pohybu, nikoliv však podáváním veterinárních léčivých přípravků, které ovlivňují periferní oběh a činnost kardiovaskulárního systému. Zvířete by se rovněž neměl dotýkat obsluhující personál, aby bylo zabráněno nevhodnému výslednému tepelnému obrazu.

Pokud je zjištěna postižená oblast, je nutné pořídit termogram opakovaně. Oblast by měla být zkoumána nejméně ze dvou směrů, přibližně pod úhlem 90°, aby se prokázalo, že konkrétní „teplý bod“ (místo) zde stále přetrvává. Extrémní případy by měly být změřeny ze čtyř směrů.

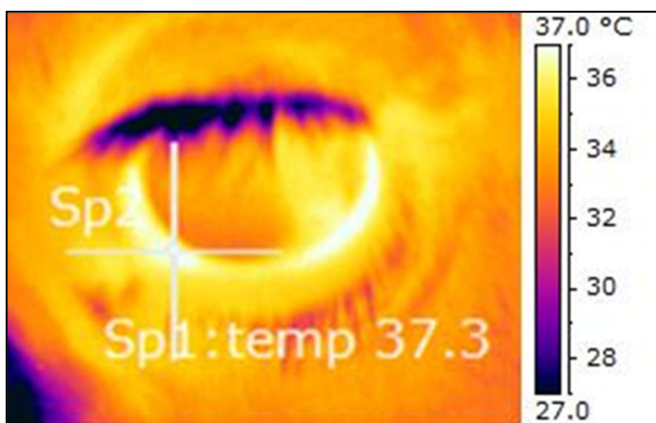
V řadě případů však nebude možné zajistit v provozních podmínkách chovů ideální vyšetřovací místnost a bude nutné zajistit po celou dobu měření alespoň přístřešek chráněný proti slunci, aby byly omezeny vlivy přímé sluneční radiace.

Při každém měření, zejména pokud je prováděno z důvodu zdravotních, by mělo být u zvířat provedeno i zjištění tělesné (rektální) teploty a zaznamenat tak jeden ze základních zdravotních ukazatelů stavu organismu. Toto měření je vhodné provést po měření IRT, neboť může docházet k neklidu vyšetřovaného zvířete a teplotní obraz by mohl být zkreslen.

## Specifika měření oka

Teplota oka je považována za jediný relevantní údaj v souvislosti s tělesnou teplotou. Na tomto faktu se shodují odborníci z humánní i veterinární medicíny. Z řady provedených výzkumů vyplynulo, že existuje velmi významný vztah mezi teplotou oka a vnitřní tělesnou teplotou, kdy teplota oka v podstatě „kopíruje“ vnitřní teplotu organismu. Teplotu oka lze označit za spolehlivý indikátor tělesné teploty a jejich změn. Nicméně nelze hovořit o oku obecně, neboť nespolehlivější oblastí pro relevantní měření je vnitřní koutek oka, tedy místo, kde se setkává horní a spodní oční víčko (obrázek 12). Právě v těchto místech by měla být zjišťována teplota u měřeného jedince.

**Obr. 12 Termogram oka dojnice s vyznačením maximální teploty**



(Zdroj: autoři)

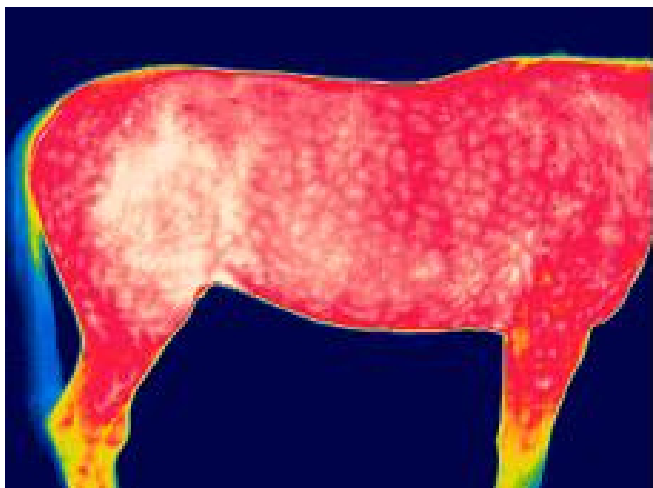
I když je teplota v této oblasti oka považována za stabilní a kopírující tělesnou teplotu, přesto existuje řada vnějších faktorů, které ji mohou rovněž ovlivnit. Podle provedených výzkumů teploty oka může vzdálenost kamery od oka nebo rychlost proudění vzduchu a sluneční záření ovlivnit získané výsledky. Při větru 7 km/h, resp. 12 km/h, se teplota oka snížila v průměru o 0,43 °C, resp. 0,78 °C. Naopak přímé sluneční záření zvýšilo teplotu oka o 0,56 °C. Pokud budou zvířata měřena ve venkovních podmínkách (pastviny, výběhy), je třeba tyto faktory velmi dobře zohlednit.

## Vyhodnocování termogramů

Pokud se týká vyhodnocení získaných termogramů a samotné interpretace výsledků, existuje pro uživatele termokamer několik možností. Ty však závisí na kvalitě vyhodnocovacího software.

První možností je tzv. kvalitativní hodnocení, kdy uživatel pouze shlédne pořízený termografický snímek a okem posoudí rozložení teplot a vyhodnotí, zda je teplotní obraz normální nebo se eventuálně vyskytuje lokální teplotní anomálie (obrázek 13). Snímek již dále podrobně nevyhodnocuje. K takovému postupu hodnocení není třeba využívat speciální software a stačí mít k dispozici tzv. prohlížeč obrázku.

**Obr. 13 Termogram koně – vizuálně patrný problém v oblasti kolenního kloubu**

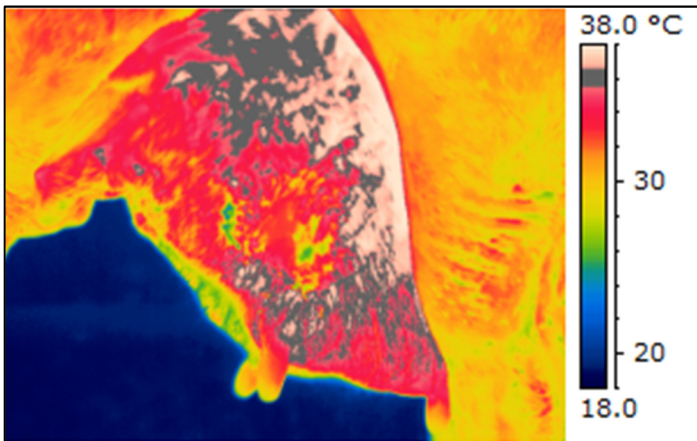


(Zdroj: autoři)

Pokud uživatelé zajímá konkrétní rozložení teplot, je možné použít tzv. kvantitativní vyhodnocování pomocí speciálního počítačového software, který umožňuje následně určit rozsah vybraného rozptylu teplot v termogramu, minimální a maximální teplotu v bodě, minimální, maximální a průměrnou teplotu v přímce nebo ve vybrané oblasti.

Obrázek 14 prezentuje možnost nastavení vybraného rozptylu teplot v software, kdy se na termogramu zobrazí tato místa, např. chceme-li zjistit místa s nejvyšší dosaženou teplotou. Obrázek ukazuje vyhledání míst s teplotou v rozsahu 35,5 – 36,5 °C.

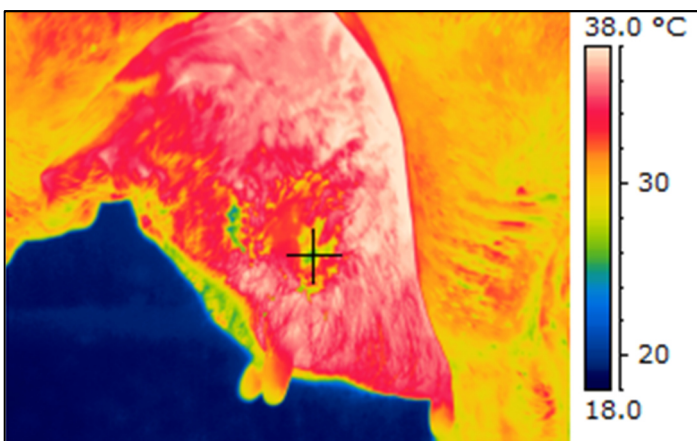
**Obr. 14 Příklad vyhodnocení teploty nastavením konkrétního teplotního rozsahu**



(Zdroj: autoři)

Obrázek 15 dokumentuje hodnocení v bodě. Tato informace je využitelná za velmi specifických podmínek, kdy je přesně znám bod, kde je třeba teplotu zjistit. Vyhodnocení záznamů je vhodné využít pouze u detailních snímků a kamer s vysokým rozlišením. Rovněž vyžaduje hlubší znalosti anatomie a fyziologie zvířete i „přesnou ruku“ uživatele.

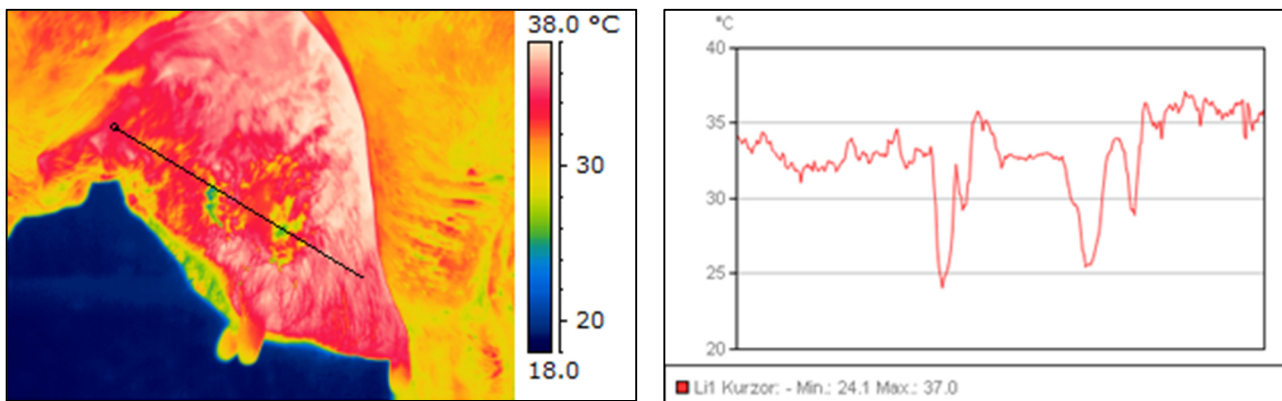
**Obr. 15 Příklad vyhodnocení teploty v konkrétním bodě**



(Zdroj: autoři)

Obrázek 16 znázorňuje vyhodnocení pomocí přímky, která se proloží oblastí cíleného zkoumání. Kromě maximální, minimální a průměrné teploty je možno pomocí grafu posoudit rozložení teploty na dané přímce.

**Obr. 16** Příklad vyhodnocení teploty pomocí přímky



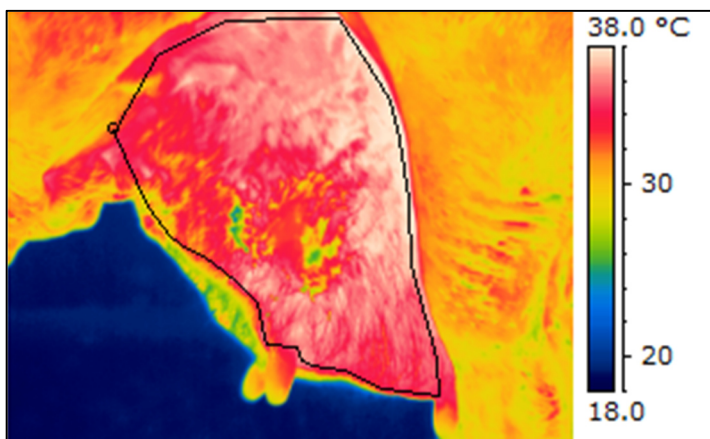
a) teplota v dané přímce

b) graf rozložení teplot podle dané přímky

(Zdroj: autoři)

Obrázek 17 dokumentuje nejvhodnější způsob vyhodnocování termogramů živých objektů. Pomocí software se označí cílená oblast a po nastavení můžeme vyhodnotit průměrnou, minimální i maximální teplotu. Programy dále umožňují využití předem definovaných čtyřúhelníků, mnohoúhelníků, kruhů a elips.

**Obr. 17** Příklad vyhodnocení teploty pomocí mnohoúhelníku



(Zdroj: autoři)

### 3. Srovnání „novosti postupů“

IRT nachází četná uplatnění v mnoha oborech, zejména technického charakteru. Začíná se však významně uplatňovat i ve veterinární medicíně a chovu hospodářských zvířat. Uplatnění v těchto oblastech je značně široké, i vzhledem k dostupnosti termokamer, ale ne vždy přináší očekávané výsledky či možnost plošného zavedení do faremních podmínek chovů. To bývá zpravidla způsobeno neznalostí správného postupu měření a z toho vyplývajících chyb, omylů a následně i chybných závěrů z měření. Uživatel by si měl osvojit nejen znalosti v oblasti anatomie a fyziologie jednotlivých druhů zvířat, ale i znalosti technického charakteru v oblasti infračervené termografie. Také je nutné si uvědomit, že IRT je přes veškeré své klady nespécifickou diagnostikou, tedy i když je tato metoda citlivá v odhalování teplotních změn u zvířat, není schopna stanovit jejich příčinu, což se týká zejména detekce onemocnění.

Tato metodika přináší souhrnně a přehledně specifika měření živých objektů pomocí IRT, zejména teplokrevných zvířat, dále principy postupů a jejich správného měření, s cílem zajistit relevantní výsledky. Na rozdíl od metodiky autorů Bernardy a kol. (2020) se metodika soustředí i na základní principy infračervené termografie a rovněž se detailně věnuje technickým parametrům kamer a v neposlední řadě přináší jasně definovaný algoritmus správného měření. Metodika navazuje na publikaci Knížková a Kunc (2020). Informace v předložené metodice jsou tedy jedinečné díky dlouholeté praxi autorů v daném oboru (od roku 1995) a ověřenými experimenty. Metodika vychází jak z praktických zkušeností, tak z publikací autorů i další odborné a vědecké literatury.

## 4. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena pro chovatele hospodářských zvířat, veterinární lékaře a pro firmy, které nabízejí jako svoji službu bezkontaktní měření teplot pomocí termografických kamer. Lze ji využít k poradenství a školení v oblasti termografie, kde se využívají IRT metody k měření živých objektů. Dále může být využita i v oblasti zemědělského poradenství jako zdroj informací pro správnou praxi měření touto metodou a mohou ji využívat i vzdělávací instituce jako doplňkový výukový materiál.

## 5. Ekonomické aspekty

Metodika přináší obecný návod, resp. správnou praxi, jak měřit pomocí IRT zvířata, aby nedocházelo k chybným výsledkům. Vzhledem k možnosti využití pro řadu chovů a širokému spektru u jednotlivých druhů zvířat (detekce nemocí v klinické i subklinické fázi, sledování účinnosti léčby, hodnocení fyzické zátěže, hodnocení termoregulačních a adaptačních schopností zvířat, zjišťování pohody zvířat atd.) jsou obtížně vyčíslitelné náklady na zavedení postupů uvedených v metodice a odhad jejich ekonomických přínosů pro uživatele. Lze ale předpokládat, že včasná detekce problému přináší chovateli vždy úspory nákladů.

Následující výpočet je pouze příkladem možného snížení ekonomické ztráty v oblasti užití IRT při detekci mastitid. Průměrná ekonomická ztráta činí 9090 Kč/ dojníc s mastitidou. Uvádí se, že ve stádě dojníc postihuje mastitida cca 25 % stáda, což při stádě 100 ks dojníc je 25 ks zvířat. Ekonomická ztráta chovu se 100 ks dojníc bude tedy 227 250 Kč. Při zavedení včasné detekce mastitidy pomocí IRT by bylo možné snížit tuto ekonomickou ztrátu o cca 30 %, tedy o 68 175 Kč. Pokud se vezme do úvahy celostátní hledisko, celkový počet dojníc činí v ČR 360 000 ks. Pokud by se IRT začala využívat u 10 % z tohoto celkového počtu, to je u 9000 ks dojníc s mastitidou, mohla by tato včasná detekce onemocnění snížit náklady na léčbu i ostatní náklady spojené s tímto onemocněním o 24 543 000 Kč.

Z ekonomického hlediska jsou velmi důležité investiční náklady na pořízení této techniky. V případě nákupu kamery se náklady liší v závislosti na jejich technických parametrech a je pouze na zvážení uživatele, pro kterou kameru se rozhodne. Pro příklad jsou uvedeny orientační ceny (bez DPH) kamer (tabulka 2 s odkazem na tabulku 1 s detailizací parametrů) s radiometrickým formátem obrazu, tedy s možností nasnímané termogramy vyhodnotit.

**Tabulka 2 Orientační ceny termografických kamer**

<b>Rozlišení</b>	<b>Objektiv</b>	<b>Orientační ceny (Kč) bez DPH</b>
1024 x 768	45° × 34°	980 000,-
640 x 480	42° × 32°	od 470 000,-
384 x 288	42° × 32°	od 350 000,-
320 x 240	42° × 32°	od 190 000,-
160 x 120	55° × 43°	od 17 000,-
80 x 60	41° × 31°	od 15 000,-
60 x 60	12.5° × 12.5°	již se nevyrábí, dříve 24 000,-

Náklady na další vybavení přináší software pro PC, pokud jej bude uživatel požadovat k detailní analýze získaných termogramů. Uživatel jej může získat při nákupu zdarma nebo nákupem cca do 32 000,- Kč (bez DPH).

Další možností je využití softwaru formou služby, kde se ceny pohybují v rozmezí 800 – 3000 Kč za hodinu práce na PC.

Je tedy na každém uživateli, zdali zvolí cestu nákupu vlastní termografické kamery, nebo využije služby se všemi výše uvedenými aspekty. Toto rozhodnutí je plně na budoucích uživateli.

## 6. Seznam použité související literatury

Bernardy J, Novák P, Hodkovicová N, Šťastný K. 2020. Bezkontaktní termovizní identifikace zvířat se změněnou teplotou v důsledku nebezpečné nákazy. Certifikovaná metodika, VÚVeL, Brno.

Delehanty DD, Georgi JR. 1965. Thermography in equine medicine. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 147: 235-238.

ČSN ISO18434-1. 2009. Monitorování stavu a diagnostika strojů, Termografie. Část 1: Všeobecné postupy. Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

Drastich A. 2002. Metodika sběru obrazových dat v infračervené (IR) části spektra. Vysoké učení technické, Brno.

Church JS, Hegadoren PR, Paetkau MJ, Miller CC, Regev-Shoshani G, Schaefer AL, Schwartzkopf-Genswein KS. 2013. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Research in Veterinary Science*, 96: 220-226.

Kastberger G, Stachl R. 2003. Infrared imaging technology and biological applications. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 35: 429-439.

Knížková, I, Kunc P. 2020. Infračervená termografie a její využití pro zjišťování pohody a zdraví hospodářských zvířat. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství, Praha.

Knížková I, Kunc P, Gurdil G, Pnar Y, Selvi K. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of Agricultural Faculty OMU*, 22: 329–336.

Kulezsa O, Rzczkowski M, Kaczorowski M. 2004. Thermography and its practical use in equine diagnostics and treatment. *Medycyna Weterynaryjna*, 60: 1137-1248.

Kunc P, Knizkova I, Prikryl M, Maloun J. 2007. Infrared thermography as a tool to study milking process: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 40: 29-32.

LokeshBabu DS, Jeyakumur S, Vasant PJ, Sathiyabarathi M, Manimaran A, Kumaresan A, Pushpadass HA, Sivaram M, Remasha KP, Kataktaalware MA, 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.

McCafferty DJ. 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37: 207-223.

McManus C, Tanur CB, Peripolli V, Seixas L, Fischer V, Alexandre M, Gabbi AM, Menegassi SRO, Stumpf MT, Kolling GJ, Dias E, João Batista G. Costa JBG. 2016. Infrared thermography in animal production: an overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123: 10-16.

Meola C. 2012. Infrared thermography. Recent advances and future trends. In *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends*. University of Naples Federico II, Italy, Bentham eBooks.

- Nääs IA, Garcia RG, Caldara FR. 2014. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. *Journal of Animal Behavior and Biometeorology*, 2: 66-72.
- Prakash R. 2012. *Infrared Thermography*. IntechOpen Limited, London, UK.
- Rekant S, Lyons MA, Pacheco JM, Artz J, Rodriguez LL. 2015. Veterinary applications of infrared thermography. *American Journal of Veterinary Research*, 77: 98-107.
- Sellier N, Guettier E, Staube CH. 2017. A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. *American Journal of Agricultural Science and Technology*, 2: 74-99.
- Soroko M, Jodkowska E. 2011. Przydatność badan termograficznych w lecznictwie i użytkowaniu koni. *Medycyna Weterynaryjna*, 67: 397-401.
- Speakmen JR, Ward S. 1998. Infrared thermography: principle and application. *Zoology*, 101: 224-232.
- Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare*, 14: 319-325.
- Svoboda J. 2008. *Termodiagnostika*. TMV SS spol. s r.o., Praha.
- Svoboda Š. 2012. *Termografie v elektroenergetice*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Praha.
- Turner TA. 2001. Diagnostic thermography. *Veterinary Clinics: Equine practice*, 17: 95-114.
- Vollmer M, Möllman KP. 2010. *Infrared thermal imaging. Fundamentals, research and applications*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Zapletal J. 2009. *Bezdrátová komunikace ve spotřební a domovní elektronice, průzkum trhu*. Vysoká škola báňská, Ostrava.

## 7. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Hanusová J, Gálik R, Boďo Š, Kunc P, Knížková I, Staroňová L. 2016. Analysis of quality milking process by thermographic method. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64: 1149-1153.
- Knížková I, Kunc P. 2020. Infračervená termografie a její využití pro zjišťování pohody a zdraví hospodářských zvířat. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství, Praha.
- Knížková I, Kunc P. 2015. Testování kvality práce techniky pro chov zvířat a možnosti využití moderních diagnostických metod. Str. 197-203. In: *Technika pre chov zvierat*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, Slovensko.
- Knížková I, Kunc P. 2014. Infračervená termografie. In: *Prevence, technika, životní styl*. Sportpropag, Praha.
- Knížková I, Kunc P, Gürdil G, Pnar Y, Selvi K. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of Agricultural Faculty OMU*, 22: 329-336.
- Knížková I, Kunc P. 2006. Teplotní profil krávy a telete. *Náš chov*, 66: 71-72.
- Knížková I, Kunc P, Koubková M, Flusser J, Doležal O. 2002. Evaluation of naturally ventilated dairy barn management by a thermographic method. *Livestock Production Science*, 77: 349-353.
- Kotrba R, Knížková I, Kunc P, Bartoš L. 2007. Comparison between the coat temperature of eland and dairy cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 32: 355-359.

- Kunc P, Knížková I, Prikryl M, Maloun J. 2007. Infrared thermography as a tool to study milking process: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 40: 29-32.
- Kunc P, Knížková I, Koubková M. 1999. The influence of milking with different vacuum and different design of liner on the change of teat surface temperature. *Czech Journal of Animal Science*, 44: 131-134.
- Kunc P, Knížková I, Koubková M, Flusser J, Doležal O. 2000. Comparison of rubber liners by means of temperature states of teats. *Research in Agriculture Engineering*, 46: 104-107.
- Kunc P, Knížková I, Prikryl M, Maloun J. 2007. Infrared thermography as a tool to study milking process: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 40: 29-32.
- Kunc P, Knížková I. 2012. The use of infrared thermography in livestock production and veterinary field. Str. 85-101. In *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends*. University of Naples Federico II,: Bentham eBooks.
- Lendelová J, Pogran S, Knížková I, Kunc P. 2006. Cubicle lying structures and their thermo-technical comparison. *Scientiarum Polonorum Acta Architectura*, 5: 81-90.
- Lendelová J, Pogran Š, Kunc P, Knížková I, Černá D. 2006. Teplotechnika podlahovin boxových loží pro dojnice. *Náš chov*, 22: 93-95.
- Malá G, Knížková I, Kunc P, Mátlová V, Knížek J. 2004. Resistance of early postnatal lambs from 2 genetic types to cold environment and rain. *Annals of Animal Science*, 4, Supplement 1: 169-171.
- Okrouhlík J, Burda H, Kunc P, Knížková I, Šumbera R. 2015. Surprisingly low risk of overheating during digging in two subterranean rodents. *Physiology & Behavior*, 138: 236-241.
- Šumbera R, Zelová, J, Kunc Petr, Knížková I, Burda H. 2007. Patterns of surface temperatures in two mole-rats (*Bathyergidae*) with different social systems as revealed by IR-thermography. *Physiology & Behavior*, 92: 526-532.
- Vadlejch J, Knížková I, Makovcová K, Kunc P, Jankovská I, Janda K, Borkovcová M, Langrová I. 2010. Thermal profile of rabbits infected with *Eimeria intestinalis*. *Veterinary Parasitology*, 171: 343-345.

## 8. Jména oponentů a názvy jejich organizací

prof. MVDr. Daniela Lukešová, CSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Jan Vodička

Ministerstvo zemědělství

## 9. Dedikace

Metodika je výsledkem řešení podpory na rozvoj výzkumné organizace č. MZE-RO0718 s názvem Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

Vydal: Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. Přátelství 815, 104 00 Praha Uhřetěves

Název: Infračervená termografie. Specifika a správné postupy měření živých objektů.

Autoři a jejich podíly práce:

doc. Ing. Ivana Knížková, CSc. (50 %)

doc. Ing. Petr Kunc, Ph.D. (50 %)

Oponenti: prof. MVDr. Daniela Lukešová, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Jan Vodička, Ministerstvo zemědělství

ISBN 978-80-7403-258-5

Vydáno bez jazykové úpravy.

Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i.

Přátelství 815

104 00 Praha Uhřetěves

[www.vuzv.cz](http://www.vuzv.cz)