

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Katedra zoologie a ornitologická laboratoř



**Termografická analýza teploty povrchu těla
a teploty okolního prostředí u soba
polárního (*Rangifer tarandus*)**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Kristýna Pretschová
Studijní program: Zoologie
Studijní obor: Zoologie
Prezenční forma

Vedoucí práce: Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D.
Olomouc 2016

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracovala sama, a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Olomouci dne 13. 5. 2016:

.....

Bc. Kristýna Pretschová

Ráda bych poděkovala Ing. Jiřímu Bezdíčkovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, jeho cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat panu Dr. Ing. Radomíru Habaňovi za umožnění práce v Zoologické zahradě v Olomouci, kde celý výzkum probíhal. A dále také ostatním pracovníkům této Zoo za důležité informace a rady.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Kristýna Pretschová

Název práce: Termografická analýza teploty povrchu těla a teploty okolního prostředí u soba polárního (*Rangifer tarandus*)

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra zoologie a ornitologická laboratoř PřF UP

Vedoucí práce: Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2016

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá sledováním teplotních ztrát povrchu těla u soba polárního (*Rangifer tarandus*) v teplotně rozdílných obdobích roku. Sběr dat byl proveden termovizní kamerou FLIR T620 v Olomoucké zoologické zahradě během roku 2015 a 2016. Získané snímky byly vyhodnoceny v programu FLIRT TOOLS a následně zpracovány v programu STATISTICA (verze 12, 2013). Při porovnání průměrných teplotních ztrát zvířat (ve W/m²) mezi horkých, středním a chladným obdobím roku, byly zjištěny statisticky neprůkazné rozdíly. Mírně vyšší hodnoty přitom byly zjištěny u samic než u samce. Naproti tomu při přímém porovnání teploty povrchu těla (ve °C) byly rozdíly mezi samicemi a samcem v chladném období roku vysoce průkazné ($p < 0,001$), zatím co v horkém a teplotně středním obdobím roku tyto rozdíly byly neprůkazné.

Klíčová slova: sob polární (*Rangifer tarandus*), infračervené záření, termokamera, Zoo Olomouc

Počet stran: 47

Jazyk: Český

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Bc. Kristýna Pretschová

Title: Thermographic analysis of body surface and ambient temperature in reindeer polar (*Rangifer tarandus*)

Type of thesis: Dissertation

Department: Department of Zoology and Laboratory of Ornithology PřF UP

Supervisor: Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D.

The year of presentation: 2016

Abstract:

The aim of this thesis was to monitor the temperature loss on the body surface of reindeer polar (*Rangifer tarandus*) throughout all seasons of the year. The data were captured by the thermocamera FLIR T620 at Olomouc ZOO during 2015 and 2016. The photographs were evaluated using the PC program FLIRT TOOLS and processed by STATISICA (version 12, 2013). The average temperature loss of animals (in W/m^2) in warm, moderate and cold seasons was statistically insignificant. Moderately high value was found out at the female than male. Comparison of body surface temperature (in $^{\circ}C$) showed highly statistically significant differences between males and females in the cold season ($p < 0.001$). In warm and moderate seasons the differences were not statistically significant.

Keywords: reindeer polar (*Rangifer tarandus*), infrared, infrared camera, Zoo Olomouc

Number of pages: 47

Language: Czech

Obsah:

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce.....	10
3. Historie měření infračerveného záření.....	11
4. Způsoby měření teploty	12
4.1. Dotykové teploměry.....	12
4.1.1. Dilatační teploměry.....	12
4.1.2. Elektrické teploměry.....	13
4.1.3. Ostatní teploměry.....	14
4.2. Bezdotykové teploměry.....	14
4.2.1. Vlivy působící na přesnost měření.....	16
5. Využití termografie u zvířat	18
5.1. Měření teploty povrchu těla.....	18
5.2. Využití termokamery pro veterinární účely	18
5.3. Sledování velikosti populací	21
6. Charakteristika a termoregulace soba polárního (<i>Rangifer tarandus</i>).....	22
6.1. Charakteristika soba polárního (<i>Rangifer tarandus</i>).....	22
6.2. Termoregulace soba polárního (<i>Rangifer tarandus</i>).....	23
7. Materiál a metody	26
7.1. Sběr dat v Zoo Olomouc.....	26
7.2. Termovizní kamera FLIR T620	29
7.3. Zpracování dat.....	30
7.3.1. Program FLIR TOOLS	30
7.3.2. Stefanův – Boltzmannův zákon.....	31
7.3.3. Statistická analýza dat.....	32
8. Výsledky	34
9. Diskuze	40
10. Závěr	42
11. Seznam literatury	43

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tab. č. 1: Stavby sobů v Zoo Olomouc – zkrácená verze.	26
Tab. č. 2: Test homogenity rozptylů samic (Cochran, Hartley, Bartlett).	34
Tab. č. 3: Test homogenity rozptylů samce (Cochran, Hartley, Bartlett).....	34
Tab. č. 4: Základní statistika teplotních ztrát u soba polárního (samice) v různém období roku (W/m ²).	35
Tab. č. 5: Základní statistika teplotních ztrát u soba polárního (samec) v různém období roku (W/m ²).	35
Tab. č. 6: Tukey test průkaznosti rozdílů teplotních ztrát u samic v horkém, středním a chladném období roku.....	35
Tab. č. 7: Tukey test průkaznosti rozdílů teplotních ztrát u samce v horkém, středním a chladném období roku.....	36
Tab. č. 8: Základní statistika průměrných teplot povrchu těla zvířat v různém období roku (ve °C).	38
Tab. č. 9: Párový t-test průkaznosti rozdílů mezi teplotou povrchu těla u samic a samce soba polárního v různých obdobích roku.	38
Tab. č. 10: Párový t-test průkaznosti rozdílů mezi teplotou povrchu těla u samic a samce soba polárního v horkém, středním a chladném období roku.	38
Obr. č. 1: Pokus Williama Herschela.....	11
Obr. č. 2: Rozdělení elektromagnetického spektra.	15
Obr. č. 3: Sob polární (<i>Rangifer tarandus</i>) v ZOO Olomouc.	23
Obr. č. 4: Sob polární (<i>Rangifer tarandus</i>) a jehoparoží (ZOO Olomouc).	28
Obr. č. 5: Sob polární (<i>Rangifer tarandus</i>) se v horkém letním období chladí.....	28
Obr. č. 6: Termovizní kamera FLIR T620.	29
Obr. č. 7: Termografický snímek samce soba polárního v horkém letním období.....	30
Obr. č. 8: Termografický snímek samice soba polárního v chladném období roku.	31
Graf č. 1: Průměrné a směrodatné odchylky teplotních ztrát u soba polárního (samice) v průběhu teplotně různých obdobích roku.	37
Graf č. 2: Průměrné a směrodatné odchylky teplotních ztrát u soba polárního (samec) v průběhu teplotně různých obdobích roku.	37

Základní pojmy:

Teplo (Q): je fyzikální veličina, která popisuje děj tepelné výměny. Při tomto ději teplejší těleso odevzdává vnitřní část energie tepla tělesu chladnějšímu. Tento druh energie vyjadřujeme v joulech (J) nebo v kaloriích (cal).

Teplota: je základní stavová veličina, která charakterizuje, zda látka bude nebo nebude při tepelném kontaktu s jinou látkou v tepelné rovnováze (bude či nebude předávat nebo přijímat teplo). Jednotkou teploty je kelvin (K). Jelikož nelze teplotu měřit přímo, měříme jí prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Jde tedy o tzv. nepřímé měření (Lepil a kol., 2012).

Infračervená termografická kamera: je přístroj, který z povrchu objektu snímá vyzařovanou infračervenou energii. Infračervená energie je prezentována červenobíle nebo barevně, kdy šedé nebo bílé odstíny odpovídají rozložení teplot na objektu.

Infračervené záření (IR): je elektromagnetické záření, které má rozsah vlnových délek od 0,75 μm do 1 mm.

Termografie: slouží k získávání a k rozboru teplotních informací prostřednictvím bezkontaktního záření pro zobrazování teplot.

Termogram: je teplotní mapa nebo obraz objektu, ve kterém je rozložení infračerveného záření vyzařováno z povrchu měřeného objektu pomocí šedého nebo barevného tónování (Vavříčka, 2013).

1. Úvod

Využití termokamer se v oblasti biologie stalo v posledních letech důležitou součástí vědeckého výzkumu. Jejich uplatnění nalezneme nejen při studiu termoregulace živočichů, ale také v rámci humánní a veterinární medicíny, etologického pozorování či ekologických výzkumech. Práce s termovizní kamerou bude bezpochyby v dalších letech velmi perspektivní metodou v různých experimentálních výzkumech.

Obečným cílem chovu zvířat v rámci zoologických zahrad je poskytnout zvířatům co nejlepší a nejvěrohodnější podmínky, které jsou shodné s podmínkami ve volné přírodě. Sob polární, který pochází z Arktické tundry a tajgy se musí zdejšími teplejšími podmínkami přizpůsobit, a proto můžeme v jeho výběhu vidět spoustu zastíněných ploch a chladicí zařízení, kterému mu pomáhají se lépe adaptovat.

2. Cíle práce

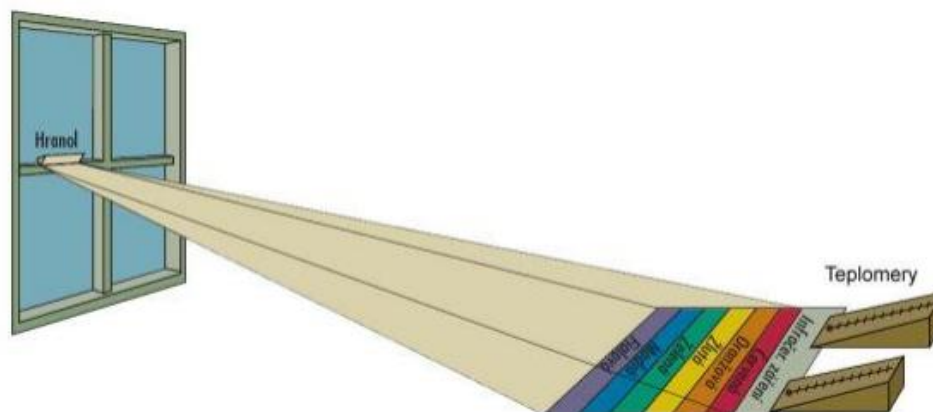
Cílem diplomové práce je vyhodnocení vlivu vnějšího prostředí (letního, podzimního a zimního období roku) na změnu teploty povrchu těla u soba polárního. Změny teplot povrchu těla zvířat budou sledovány každou hodinu v průběhu vybraného dne (ne v noci) v teplém letním období a také v chladnějším období roku. Sledování zvířat a měření jejich teploty bude provedeno pomocí termokamery v zoologické zahradě v Olomouci. Součástí diplomové práce je krátký přehled významu měření pomocí termokamery u zvířat.

3. Historie měření infračerveného záření

Infračervené záření objevil v roce 1800 sir William Herschel. Tento dvorní astronom Jiřího III. se již dříve proslavil objevením planety Uranu (Flir, 2012).

Objevení infračerveného záření bylo zcela náhodné, a to při hledání nového optického materiálu. Herschel hledal vhodný materiál pro optický filtr, který by při pozorování Slunce snížil jas obrazu v dalekohledech. Pro svůj výzkum používal různě barevná skla, která velmi podobně snižovala jas (Fluke Corporation, 2009). Všiml si, že některými skly procházelo málo slunečního tepla, zatímco jinými procházelo tolik tepla, že hrozilo riziko poškození očí. Provedl proto experiment, kdy za pomoci hranolu rozložil bílé sluneční světlo a v jednotlivých barevných spektrech změřil teplotu (obr. č. 1). Zjistil, že směrem k červené části spektra teplota výrazně rostla. Nejvyšší teplotu naměřil v části, kterou dnes označujeme jako infračervené vlnové pásmo, což je neviditelná část spektra (Flir, 2012).

Obr. č. 1: Pokus Williama Herschela.



Až do roku 1829, kdy Ital Nobili vymyslel termočlánek, byly používány klasické teploměry (Flir, 2012). Nobili složil termočlánek ze dvou kovů – bismutu a antimonu. V závislosti na teplotě se na těchto spojích indukoval elektrický proud. Tedy teplota se již nemusela měřit rtutí, ale elektrickým proudem (Heřman, 2004). Jelikož byl výkon samostatných termočláneků malý, spojil italský vědec Macedonio Melloni několik termočláneků k sobě a vytvořil tak první termoelektrickou baterii. Protože termoelektrické baterie byly asi 40krát citlivější než dosavadní teploměry, bylo možné rozpoznat teplotu lidského těla až na 3 metry (Flir, 2012).

John Herschel, syn Williama Herschela, vytvořil v roce 1840 první záznam teplotního obrazu na papír, který nazval jako termograf. Od té doby byl pokrok v detekci infračerveného záření velmi malý. Až v roce 1880 americký badatel Samuel Pierpont Langley vynalezl bolometr, který již detekoval teplo krávy až na 400 metrů (Flir, 2012).

V období světových válek byly vyvinuty další dva nové infračervené detektory: konvertor obrazu a fotonový detektor. A od poloviny 50. let jsou teplotní zobrazovací zařízení k dispozici civilnímu sektoru, průmyslu i vědě (Flir, 2012).

4. Způsoby měření teploty

Teplota může být měřena různým způsobem, který vychází z cíle měření a také přesností, kterou požadujeme. Měření může být prováděno dvěma způsoby a to buď teploměry dotykovými, nebo bezdotykovými.

4.1. Dotykové teploměry

Dotykové teploměry, jak již název napovídá, jsou založeny na principu dotyku (kontaktu) senzoru teploty s měřenou látkou. Jejich hlavní výhodou je jejich jednoduchá konstrukce a nižší cena. Dotykové teploměry můžeme rozdělit na dilatační, elektrické a ostatní teploměry (Vavříčka, 2013).

4.1.1. Dilatační teploměry

Tyto teploměry jsou založeny na principu roztažnosti látek působením změny teploty. Nejčastěji je používán jako senzor teploty kov anebo kapalina.

a) Tyčové teploměry

Tyčové teploměry vychází z principu délkové roztažnosti dvou různých kovů. Používány jsou většinou látky s malým teplotním součinitelem délkové roztažnosti, jako je například uhlík a křemen. Tyto látky jsou vloženy do trubky s velkým teplotním koeficientem roztažnosti. Odlišná roztažnost těchto materiálů se při ohřátí přenáší mechanicky na teplotní ukazatel (Vavříčka, 2013).

b) Bimetalické teploměry

Bimetalické teploměry jsou složeny ze dvou pásků různých kovů (kombinace hliníku, mědi, železa, niklu atd.), které jsou nejčastěji pevně spojeny lineárně, do spirály, do šroubovice, do tvaru písmene „U“ anebo do tvaru disku (Vavříčka, 2013). Tyto kovy mají různý koeficient roztažnosti (Rybolt, 2015). Při změně teploty se začíná bimetalový pásek deformovat a tím dochází k mechanické výchylce na ukazateli teploměru (Vavříčka, 2013).

c) Bimateriálové teploměry

Na rozdíl od bimetalických teploměrů jsou u bimateriálových teploměrů používány kombinace hliníku a polovodiče – například křemíku (Vavříčka, 2013).

d) Tlakové kapalinové, parní a plynové teploměry

Kapalinové teploměry jsou založeny na základě roztažnosti objemu kapaliny, parní teploměry na plynu a kapaliny a plynové teploměry na roztažnosti plynu. U kapalinových teploměrů zcela vyplňuje uzavřený systém tekutina, která převádí měření objemové roztažnosti na měření pomocí tlaku (Vavříčka, 2013). Plynové teploměry jsou vyplněny vždy ideálním plynem (nejčastěji héliem) a to z důvodu, že mezi molekulami těchto plynů nejsou žádné interakce (Rybolt, 2015). Všechny tyto teploměry jsou složeny z deformačního teploměru, nádoby (např. baňka) a kapiláry (Vavříčka, 2013).

e) Skleněné teploměry

Patří mezi nejčastěji používané dotykové teploměry, které jsou velmi podobné teploměrům tlakovým, avšak kapalina (rtuť, toluen, pentan, etanol) vyplňuje pouze baňku a část trubice. Měření teploty je založené na změně objemové roztažnosti kapaliny v této skleněné trubici (Vavříčka, 2013).

4.1.2. Elektrické teploměry

Hlavním principem elektrických teploměru je převod teplotní závislosti na napětí nebo odporu čidla. Jejich malé rozměry, vysoká teplotní citlivost a velký teplotní rozsah jsou velkou výhodou těchto teploměrů (Vavříčka, 2013). Elektrické teploměry jsou závislé na průběžné kontrole změny v elektrickém odporu anebo na potenciálu napětí (Rybolt, 2015).

a) Kovové odporové snímače teploty

Princip fungování kovového odporového snímače je založen na změnách elektrického odporu kovu v závislosti na změně teploty. Při průchodu elektrického proudu čidlem dochází k jeho zahřívání, což je jediná nevýhoda při měření teploty tímto snímačem. Mezi kovy, které jsou nejčastěji používány, patří platina, nikl a slitina Balco (Vavříčka, 2013).

b) Polovodičové odporové snímače teploty

Stejně jako kovové odporové snímače jsou i tyto snímače závislé na teplotě elektrického odporu. Polovodičové odporové snímače teploty můžeme dělit na monokrystalické odporové snímače (germanium, indium, křemík), termistory (NTC) a na pozistory (PTC). Termistory jsou z těchto snímačů nejvyužívanější (Vavříčka, 2013).

c) Termoelektrické snímače teploty (termočlánky)

Tyto snímače pracující na základě termoelektrického jevu, který patří mezi nejlevnější metody měření teploty. Principem měření teploty je závislost mezi energií nositelů náboje ve vodiči na teplotě (Vavříčka, 2013).

d) PN senzory teploty

Podstatou polovodičových PN senzorů teploty je závislost napětí PN přechodu v propustném směru (Vavříčka, 2013).

4.1.3. Ostatní teploměry

Zde se řadí například akustické teploměry, krystalové teploměry, optické vláknové teploměry anebo také indikátory teploty.

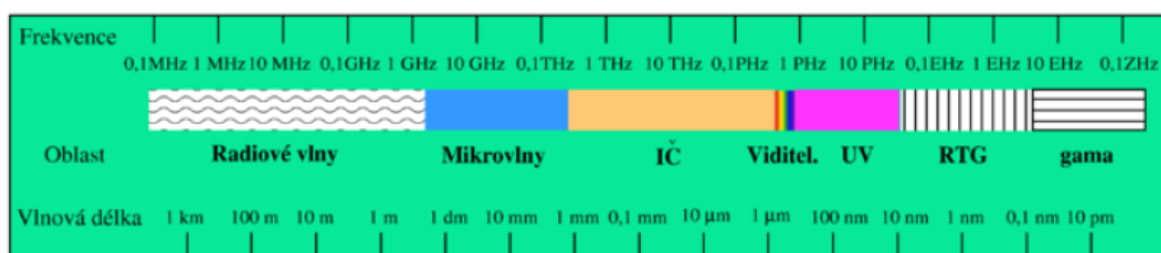
4.2. Bezdotykové teploměry

Při tomto měření teploty je povrch zkoumaného objektu měřen na základě elektromagnetického záření, které toto těleso vysílá. K měření se používají infračervené termografické kamery (termovize), které zachycují infračervený obraz (termogram), což je teplotní pole v celém záběru čočky termovizní kamery. Dále se měří také pyrometry

(bezdotykové teploměry), které měří teplotu v jednom aktuálně měřeném bodě (Vavříčka, 2013).

Elektromagnetické spektrum rozdělujeme dle vlnových délek do několika skupin, které nazýváme jako vlnová pásma (obr. č. 2). Ta jsou dále dělena podle metod používaných pro vytváření a zjišťování radiace vyzařováním. Jelikož všechna vlnová pásma podléhají stejným zákonům a liší se pouze vlnovými délkami, neexistuje mezi jednotlivými pásmy elektromagnetického spektra žádný rozdíl (Brynda, 2012).

Obr. č. 2: Rozdělení elektromagnetického spektra.



Začátek infračerveného záření můžeme zaznamenat tam, kde končí pásmo viditelného záření, a končí tam, kde začínají mikrovlnné vlnové délky. Infračervené pásmo blíže dělíme na další čtyři – blízké infračervené záření (near infrared, 0,75 – 3 μm), střední infračervené záření (middle infrared, 3 – 6 μm), vzdálené infračervené záření (far infrared, 6 – 15 μm) a velmi vzdálené infračervené záření (extreme infrared, 15 – 100 μm; Brynda, 2012).

Bezdotykové měření teploty má řadu výhod. Při práci se zvířaty je např. významnou výhodou, že lze měření uskutečnit bez přímého kontaktu a rušení zvířat (Mc Cafferty, 2007), a bez použití nejrůznějších sedativ, což velmi snižuje samotnou hladinu stresu (Cibulko a kol., 2013). Měření lze provádět na krátkou vzdálenost do 1 m i na vzdálenosti větší než 1 km (Mc Cafferty, 2007).

Přesto se ve výzkumu termoregulace zvířat se uplatňují jak kontaktní, tak také bezkontaktní způsoby měření teploty. Výběr způsobu měření vychází z cíle výzkumu.

Díky různým způsobům měření teploty byla termoregulace zkoumána u řady živočišných druhů. Například u různých plemen koní (Autio a kol., 2006), ploutvonožců, velryb (Perryman a kol., 1999), mývalů (Dunbar a MacCarthy, 2006), pand (Durrant a kol., 2006), asijských slonů, nosorožců (Hilsberg-Merz, 2008), krocánů a volně žijících ptáků, losů

(Garner a kol., 1995), kozorožců (Arenas a kol., 2002), jelenců (Dunbar a kol., 2009) a samozřejmě i sobů (Soppela a kol., 1986; Yousef a Luick, 1975).

Zvláště ke konci dvacátého století se můžeme setkat s řadou vědeckých výzkumů, které využívají termokamery a to jak pro sledování zvířat, tak také v diagnostice některých onemocnění. Na druhé straně je nutné dbát na specifická pravidla, která mohou měření pomocí termokamery ovlivnit.

4.2.1. Vlivy působící na přesnost měření

Aby bylo měření přesné a bez velkých chyb a odchylek musíme si uvědomit následující:

- 1) Všechny klimatické vlivy narušují přesnost měření. Sluneční záření ohřívá nejen povrch zkoumaného jedince (intenzita solárního ohřevu je určena barvou srsti), ale také zemský povrch. Naopak dešťové srážky povrch těla a okolních předmětů ochlazují. Atmosférické plyny (vodní pára) a částice (prach, sníh) snižují atmosférickou propustnost, což vede k absorpci (plynů) nebo ztrátám (částic) infračerveného záření emitovaného objektu (Hellebrand a kol., 2003). A proto mlha, vlhkost vzduchu, sníh a prach mohou z velké části měnit zjištěné výsledky.

V interiéru bychom si měli při měření dávat zejména pozor na různé zdroje záření, jako jsou okna nebo topná tělesa. Ty způsobují pohyb vzduchu.

Nejpřesnější výsledky měření získáme v noci anebo krátce před svítáním, z důvodu eliminování chyb, které vyplývají z pohybu zvířete (běh, klidová poloha). Během dne jsou pak naměřeny nejpřesnější výsledky při zatažené obloze. Čím je větší rozdíl mezi teplotou zvířete a jeho okolím, tím je měření přesnější. To je taky důvod, proč jsou termografické analýzy účinnější v noci anebo za svítání (Cibulko a kol., 2013).

- 2) Měření by mělo být vykonáváno ve vzdálenosti jen několika metrů od měřeného objektu. Při zkoumání zvířat v zajetí, by měla měření probíhat vždy přibližně ve stejných vzdálenostech (Cibulko a kol., 2013).

- 3) Zorné pole termovizní kamery vymezuje velikost zkoumaného prostoru a to může mít za následek jiné působení slunečního záření. Abychom odstranili v měření chyby, mělo by se měření provádět pod zorným úhlem od 90° do max. 50° (Minkina, 2004).
- 4) Mezi sledovaným objektem a termovizní kamerou by neměla být žádná překážka, která by mohla zakrývat větší část zvířete (např. husté traviny). Pro měření jsou nejvhodnější místa s řídkou a nízkou vegetací (Boostrá a kol., 1994).
- 5) Důležitou roli hraje osrstění nebo opeření těla a jeho hustota. Živočichové s hustým kožichem (ovce, lamy) nevyzařují tolik tepla, jako zvířata málo osrstěná (sloni, nosorožci). Ti jsou pak ideálními živočichy pro tyto výzkumy (Hilsberg-Merz, 2008). Důležitou roli hraje i vrstva podkožního tuku, která izoluje tělo proti tepelným ztrátám. Barva, vlhkost, různé kožní rány a kontaminace kůže mají také vliv na termografické výsledky a proto by měla být kůže vyčištěná a suchá (Cibulko a kol., 2013).
- 6) Jakákoliv pohybová aktivita (běh) před měřením zapříčiní zvýšení tělesné teploty, která bude vytvořena kosterní svalovinou. V opačném případě, kdy se bude zvíře chladit o studenou zem (bude tudíž v klidové poloze) budou termovizní kamerou chladnější oblasti těla zaznamenány. Abychom zabránili těmto chybám, měli bychom před měřením zvířata nechat v experimentálních prostorech.
- 7) Teplotu těla zvířete ovlivňuje i stres. Měření by proto mělo probíhat v klidném prostředí poté, co si zvíře na prostředí zvykne.
- 8) Tělesnou teplotu mohou ovlivňovat zdravotní potřeby s lokálními nebo systémovými účinky na oběhový systém. Patří sem vše, co kryje tělo, jako například obvazy, přikrývky, zábaly a sedla.
- 9) Především u volně žijících druhů zvířat není snadné předpovídat jejich změnu teploty v závislosti na měnících se faktorech životního prostředí. Nejsme tedy schopni u těchto zvířat kontrolovat výsledek termografického měření (Cibulko a kol., 2013).

Při zpracování termografických snímků soba polárního, v této diplomové práci, byly uvedené vlivy důkladně zohledněny, aby nedocházelo k ovlivnění výsledných teplot. Proto také byla řada snímků z hodnocení vyřazena, jak je uvedeno v části „Materiál a metody“.

5. Využití termografie u zvířat

5.1. Měření teploty povrchu těla

Každý objekt, jehož povrchová teplota přesahuje absolutní nulu, vyzařuje elektromagnetické záření (Speakman a Ward, 1998). V humánní a veterinární medicíně se termovizní kamery využívají k měření tělesné teploty povrchu organismu, která je produkována vnitřními tkáněmi a vnějším povrchem těla. Vnitřní tkáně jsou ovlivňovány fyziologickými procesy a to například zvýšením nebo snížením průtoku krve, intenzitou metabolismu atd. Teplo, které vzniká při zánětlivé reakci, se projeví na přilehlých tkáních (včetně kůže) díky zvýšenému kapilárnímu průtoku krve. Teplo je tak odváděno ve formě infračervené energie, kterou můžeme zaznamenat a následně vyhodnotit termokamerou (Cibulko a kol., 2013).

Měření teploty povrchu těla našlo velmi široké uplatnění v řadě odvětví, např. v oblasti humánní a veterinární medicíny, ekologie (např. při pozorování zvířat, při studiu termoregulace zvířat – hibernace, zimní spánek) a v dalších oblastech.

5.2. Využití termokamery pro veterinární účely

I přesto, že byla termokamera vyvinuta zejména k využívání v průmyslové, lékařské a vojenské sféře, našla své využití také ve studiích mnoha zvířecích skupin od hmyzu přes plazy, ptáky až po savce.

Infračervené záření je zejména využíváno v oblasti veterinárního lékařství, kdy za pomoci termovizní kamery bývají odhalena různá onemocnění jako například záněty a zranění pohybového aparátu, diagnostika infekčního onemocnění, ale také říje a gravidita. Dále slouží ke kontrole životních podmínek zvířat a také ke sledování hladiny stresu (Cibulko a kol., 2013).

Jeden ze zajímavých experimentů, kdy bylo použito infračervené záření na zjišťování onemocnění, byl proveden ve volné přírodě na populaci kozorožce španělského (*Capra pyrenaica*), kdy byla diagnostikována nákaza sarkoptového svrabu. Jednotlivá zvířata byla

nejprve pozorována optickým dalekohledem, kterým byl svrab detekován a poté se za pomoci infračervené termografie zhotovil výsledný obraz s negativním anebo pozitivním výsledkem. Bylo zjištěno, že v některých stádiích nemoci je pozorování dalekohledem mnohem efektivnější, než pozorování termovizní kamerou, protože umožňuje diagnostiku nemoci na větší vzdálenosti. Termokamera má při vzdálenostech větších než 100 m zhoršenou měřicí citlivost. Pomocí dalekohledu jsou velmi dobře viditelné makroskopické léze (melanóza, alopecie, exkoriace atd.). Na druhé straně počáteční a závěrečná fáze epidemie je lépe detekována termokamerou. Parazité, vyskytující se v kůži, způsobují zvýšení teploty kůže v postižených oblastech, což umožňuje detekci termovizní kamerou (Arenas a kol., 2002).

Další nákazy byly pozorovány u severoamerických jelenů (*Odocoileus hemionus*), kdy byl potvrzen výskyt slintavky a kulhavky dva dny před propuknutím prvních příznaků onemocnění (Dunbar a kol., 2009). Významné a zajímavé práce jsou v této oblasti také od autorů Dunbar a MacCarthy (2006), kteří se zabývali detekcí vztekliny u mývalů (*Procyon lotor*). Experimenty potvrdili závislost výskytu této nemoci na teplotě nosu mývalů (Dunbar a MacCarthy, 2006).

Termovizní kamery jsou dále velmi často používány pro určení reprodukčních cyklů zvířat. Zvláště u zvířat, u kterých jsou reprodukční cykly špatně zjištělné. Ve volné přírodě a v zoologických zahradách se tato metoda nejčastěji aplikuje na velké savce, jako jsou sloni, nosorožci či medvědi (Cibulko a kol., 2013). Šest z osmi žijících druhů medvědovitých (*Ursidae*) je ohroženo. Nejohroženější je však panda velká (*Ailuropoda melanoleuca*), jejíž rozmnožování je z důvodu špatně rozpoznatelné ovulace ztíženo. Pro zvýšení početnosti populace pand je nutné monitorovat jejich estrální cyklus. Díky úzkým taxonomickým vztahům, je možné provádět experimenty na psovi domácím (Durrant a kol., 2006).

Reprodukční cykly byly pozorovány také u slonů, jejichž tělesná teplota bývá sledována také vložením teploměru do konečníku zvířete či analýzou jeho výkalů a moči Tyto metody jsou také velmi přesné (Kusuda a kol., 2007).

Díky nerovnoměrnému nebo abnormálnímu rozložení teploty na těle se využívá termovizní kamera pro diagnostiku zranění a onemocnění koní (Cibulko a kol., 2013). Tato metoda je velmi vhodná pro vyšetření svalů, šlach, kloubů a poranění kopyt (Autio a kol., 2006). Autio a kol. (2006) se dále zabývali rychlostí tepelné ztráty čtyř plemen koní v různých ročních obdobích. Předpokládalo se, že studenokrevná plemena jsou mnohem tolerantnější k chladnějším obdobím roku, než teplokrevná. V tomto experimentu byla měřena rychlost ztráty tepla z několika různých částí těla (krku, trupu, vnitřních stran předních a zadních nohou) s použitím termovizní kamery. Kromě předpokladu, že teplokrevná plemena jsou méně

tolerantní k nízkým teplotám, měla by také odvádět více tepla než studenokrevná pony plemena. Výsledky ukázaly, že nejnižší teplotní ztráty byly při +15 °C u sledovaných plemen koní. Při této teplotě byla také zaznamenána rovnoměrná ztráta teploty u všech měřených částí těla. Různá ztráta teploty byla zaznamenána až při teplotě +2 °C (Autio a kol., 2006).

Další využití termovizní kamery ve veterinárním odvětví nalézá uplatnění při zjišťování říje u skotu, kdy se zkoumá rozložení teploty v hýžděové oblasti. Měření pomocí infračerveného záření je mnohem účinnější než určování říje pracovníky, kteří jsou se zvířaty v přímém denním kontaktu (Cibulko a kol., 2013). Dokumentování reprodukčního cyklu a ovulace se neprovádí pouze u skotu, ale také například u šimpanzů učenlivých (*Pan troglodytes*). V této souvislosti byla např. zjištěna měnící se tělesná teplota v závislosti na menstruačním a ovulačním cyklu (Graham a kol., 1977) i u dalších druhů živočichů jako je vombat obecný, klokánek Giamargův či běluha severní (Kusuda a kol., 2007). Dále také například u ovce (Ewbank, 1969), delfín skákavý (Terasawa a kol., 1999) a kosatka dravá (Katsumata a kol., 2006). U těchto druhů lze snadno předpovídat dobu porodu z důvodu poklesu tělesné teploty několik hodin či dnů před porodem (Kusuda a kol., 2007).

Termovizní kamera se také využívala ve spoustě dalších studiích. Ostrowski a kol. (2003) se zabývali pouštními druhy přimorožce (*Oryx leucoryx*), kteří mají schopnost, na rozdíl od ostatních endotermních druhů, zvyšovat svou tělesnou teplotu během nejteplejších částí dne. Teplo, které se přes den uloží, je v průběhu večera uvolňováno. U zvířat, u kterých tělesná teplota přesahuje ± 2 °C, se předpokládá minimální ztráta vody. K dalším druhům, kteří mají tuto schopnost, patří sysel běloocasý (*Ammospermophilus leucurus*), velbloud jednohrbý (*Camelus dromedaries*), gazela Grantova (*Gazella granti*) a antilopa losí (*Taurotragus oryx*). Všechny tyto druhy byly zkoumány pouze v zajetí, s výjimkou přimorožce (Ostrowski a kol., 2003).

Další uplatnění našly termokamery také ve studiu termoregulace zvířat. Zajímavým příkladem v této oblasti je termoregulace u slona, který má z důvodu své velké tělesné hmotnosti (malý povrch těla) a nízkému obsahu potních žláz s odvodem tepla problémy. Nejdůležitější orgány pro odvod tepla slonů jsou uši neboli „teplotní okna“. Uši jsou velmi vhodným orgánem pro odvod tepla, díky svému velkému povrchu a bohatému cévnímu zásobení. A právě pomocí termokamery byl mechanismus regulace teploty těla u slonů důkladně prozkoumán (Weissenböck a kol., 2010).

Často se termokamery využívají při detekci a screeningu mastitidy u hospodářských zvířat. Včasné odhalení této nemoci snižuje ztráty v produkci a kvalitě mléka. Pomocí infračervené termografie byli schopni zjistit mastitidu u 4 z 6 případů nemocných krav (Colak a kol., 2008). Díky tomuto mohou být stále zdokonalovány různé dojící zařízení. Jelikož jsou struky s mléčnou žlázou v přímém kontaktu s dojícími stroji, mohou způsobit mechanické a oběhové změny ve strukturách tkání a překrvení ve stěnách struků. Tyto změny mohou vést až ke zdravotním problémům zvířat (Kunc a kol., 2007). Využití termokamer pro včasnou diagnostiku zánětů mléčné žlázy u hospodářských zvířat je proto v současné době předmětem řady výzkumů.

Z uvedeného přehledu je zřejmé velmi významné uplatnění termokamer v oblasti veterinárního lékařství. Zvláště významná je včasná diagnostika u řady onemocnění. Uplatnění termokamer tak přináší v této oblasti nové zajímavé možnosti.

5.3. Sledování velikosti populací

Další využití termovizního měření najdeme při sledování počtu zvířat ve volné přírodě. Toto měření je možné provádět také za pomoci letadel a automobilů. Výhodou této metody je, že na zjišťování velikosti populace nejsou potřeba přesné hodnoty naměřených teplot, ale stačí jednoduše rozpoznat jednotlivce anebo místo úkrytu živočichů, pomocí rozdílných tepelných signálů (Boonstra a kol., 1994). Ty jsou velmi dobře patrné zvláště oproti chladnému okolnímu prostředí. Tato metoda byla použita již u spousty druhů, jako například u jelenů, ploutvonožců, velryb, netopýrů (McCafferty, 2007), divokých krocanů, losů a různých druhů ptáků (Garner a kol., 1995). Zkoumání mořských živočichů přineslo také mnoho odpovědí týkajících se migrace a rychlosti plavání (Cibulko a kol., 2013).

6. Charakteristika a termoregulace soba polárního (*Rangifer tarandus*)

6.1. Charakteristika soba polárního (*Rangifer tarandus*)

Třída: Savci (Mammalia)

Podtřída: Živorodí (Theria)

Nadřád: Placentálové (Placentalia)

Řád: Sudokopytníci (Artiodactyla)

Podčeleď: Přežvýkavci (Ruminantia)

Čeleď: Jelenovití (Cervidae)

Podčeleď: Jeleni (Cervinae)

Třeba: Sobi (Rangiferini)

Rod: Sob (*Rangifer*)

Sobi obývají severní oblasti Evropy, Asie, Afriky a Ameriky (Hanzák a Veselovský, 1975). Dnes stáda divokých sobů karibu žijí jen v určitých částech Aljašky, severní Kanady, ve Skandinávii a Rusku (Alderton, 2011). Nejčastěji žijí v rozlehlých bezlesých tundrách, ale můžeme je najít také v lesích a vysoko v horách. Nálezy sobích koster poukazují na to, že v dobách ledových žili i na našem území.

Na rozdíl od ostatních jelenovitých, u soba polárního nosí parohy samec i samice. Samice je má obvykle menší a méně rozvětvené. Velkou zvláštností paroží spočívá v jejich tvaru, kdy se nad hlavou ohýbají dozadu a kruhovitým obloukem se stáčí opět dopředu.

Sob polární (obr. č. 3) neváží více než 150 kg a je tak mnohem menší než jelen lesní. Jeho velmi hustá srst je v zimě bělošedě zbarvená a v létě zbarvená do tmavě šedé. Na přední straně krku má dlouhou a hustou srst, která vytváří jakousi hřívu sahající někdy až na prsa (Hanzák a Veselovský, 1975). Samci mají dále dva hrdelní laloky, které se v době říje nafukují a tím se jim zesiluje hlas k vábení samic (Alderton, 2011). Jejich široké paznehty jsou přizpůsobeny na chůzi v ledu, sněhu i v bahně. Na podzim, kdy jsou samice v říji, vytváří harémy přibližně s 10 až 15 samicemi. Ty rodí po 7 až 8 měsících březosti z pravidla 1 až 2 mláďata (<http://www.zoo-olomouc.cz>). Mláďata jsou odstavena již ve 4 – 5 měsících. Délka života sobů se pohybuje nejčastěji okolo 5 let, výjimečně se mohou dožít až 15 let (Alderton, 2011).

Díky jejich společenskému životu žijí v tlupách a stádech. Pouze starší samci vedou samotářský život. V letním období žijí samice a mláďata společně a samci se drží odděleně v menších tlupách (Červený a kol., 2010). Na zimu se shlukují a vytváří stáda až s tisíci kusy. V těchto tlupách můžeme rozeznat dva druhy sobů – okrajoví, kteří se drží vždy při okrajích stáda, a zbylí sobi pak tvoří jádro.

Velice známé jsou jejich migrace, které probíhají dvakrát ročně, a to z důvodů nedostatku potravy na jejich domovském areálu (Hanzák a Veselovský, 1975).

Obr. č. 3: Sob polární (*Rangifer tarandus*) v ZOO Olomouc.



6.2. Termoregulace soba polárního (*Rangifer tarandus*)

Každý organismus na Zemi je schopen přežít jen v určitém rozmezí teplot. Teplota těla je velmi důležitým faktorem ovlivňující aktivitu bílkovin a tekutost membrán. Proto je pro vyšší organismy důležité udržovat teplotu svého vnitřního prostředí relativně stálou. Sob polární patří mezi organismy se stálou tělní teplotou (tzv. homoiotermní organismus), která je udržována endogenní tvorbou tepla (tzv. endogenní druh), to znamená, že jejich teplota těla není závislá na teplotě okolí. Udržení stálé tělesné teploty je závislé na zachování rovnováhy mezi uvolňováním tepla organismu, eventuálně přijímáním tepla z okolí a výdejem tepla do okolí (Kitnarr, 2011).

Díky chladným podmínkám, ve kterých sobi žijí, je nezbytné, aby byli těmto podmínkám přizpůsobení a proto mají zlepšenou termoregulaci svého těla.

Velcí savci se přizpůsobují sezonní změnám zvýšenou izolací těla, přičemž sniží tepelnou vodivost. Tento model předpovědi fyziologické fenotypové reakce poprvé předpověděl Heldmaier (Lovegrove, 2005).

Sob polární je velmi dobře přizpůsoben nejen k měnícímu se množství potravy a fotoperiody, ale zejména k silným sezonním změnám klimatu. Změny v sezónní termoregulaci ovlivňují také změny v izolaci a metabolismu. V zimě je jejich energetický výdej značně nižší než v létě a metabolická potřeba je minimální (Soppela a kol., 1986), což vede k snížení hmotností. To může být způsobeno nutričním stresem (Lovegrove, 2005). Dokonce byla zjištěna závislost na množství přijaté potravy a tepové frekvenci. Je prokazatelná zvýšená srdeční frekvence v letním období, která je zapříčiněná vyšším příjmem potravy a snížená srdeční frekvence v zimním období, kdy je přijaté potravy daleko méně (Mesteig a kol., 2000).

Díky kožešině, která velmi dobře izoluje teplo, jsou sobi schopni přečkat i velice tuhou a krutou zimu (až $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$) bez velkých potíží (Soppela a kol., 1986).

Otázkou je, jak tyto teploty snášejí právě narozená sobí telata. Mláďata se rodí na konci dubna, kdy jsou často ještě louky zasněžené. Aby mláďata tyto nepříznivé podmínky přežila, je nutné udržet jejich tělesnou teplotu na vysokém stupni. Kromě srsti chrání mladá telata před umrznutím také hnědá tuková tkáň, která vytváří teplo (Soppela a kol., 1986).

Právě narozená mláďata mají hustou srst složenou s dutých a vlnitých chlupů. Ve věku jednoho měsíce ji telata mění a na konci podzimu je srst již totožná se srstí dospělých jedinců. Tloušťka zimní srsti se obvykle pohybuje okolo 3 cm. Díky husté podsadě, která brání proudění vzduchu a smáčení, je tepelná ztráta nižší až o 50 %. Bylo zjištěno, že mláďata dokáží udržet svou rektální teplotu, která se pohybuje od $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, dokonce i při $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ tím, že zvýší až pětinasobně rychlost metabolismu. Více než chladem, jsou však mláďata zatěžována teplem. To bylo dokázáno zvýšením rektální teploty při vysokých teplotách okolí. Při vyšších teplotách lze pozorovat vyšší nárůst spotřeby kyslíku a zvýšenou tepovou frekvenci (Soppela a kol., 1986). Jako kritická teplota prostředí byla určena teplota při $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ i přes to, že voda byla k dispozici v potřebném množství (Yousef a Luick, 1975). Tak jako ostatní savci s hustou srstí, i sobi uvolňují přebytečné teplo pomocí dýchacích cest (Soppela a kol., 1986).

U dospělců se normální rektální teplota pohybuje od +37 °C do +41 °C, která je zvyšována dokonce i při mírném fyzickém omezení, kvůli husté izolaci kožesiny. Avšak teplota končetin je silně závislá na teplotě okolí. Díky protiproudovému teplosměrnému mechanismu mohou sobi řídit teplotu svých nohou a zabraňují tak tání sněhu pod vlastním tělem. Při odpočinku zabírají sobi takovou pozici, při které ukryjí svou hlavu proti foukajícímu větru a tím minimalizují teplené ztráty (Soppela a kol., 1986).

7. Materiál a metody

7.1. Sběr dat v Zoo Olomouc

Data byla sbírána v zoologické zahradě v Olomouci, která se nachází asi 10 km od města, v průběhu roku 2015 a 2016. Před samotným měřením zvířat byla s touto zoologickou zahradou uzavřena smlouva o spolupráci a zpracování dat.

Zoologická zahrada byla založena již v padesátých letech minulého století. V roce 1952 byla stavba zahájena a roku 1956 byla zoologická zahrada otevřena. Počet chovaných zvířat z původních 12 druhů (86 kusů) vzrostl k roku 2016 až k 378 druhům (téměř 1800 kusům). Přes nespočet problémů, se kterými se tato zoo v počátku potýkala, patří k nejoblíbenějším a nejnavštěvovanějším zoologickým zahradám v České republice (<http://www.zoo-olomouc.cz>). V roce 2015 navštívilo zoologickou zahradu 325 733 osob. Rekord v návštěvnosti je datován na 8. května 2015, kdy branami zoologické zahrady prošlo 5 530 osob (Přikrylová, 2015).

Tab. č. 1: Stavby sobů v Zoo Olomouc – zkrácená verze (informace z ústního jednání).

Č.	Sex	Datum přírůstku Datum narození	Odkud	Datum úbytku Způsob a kam
1	M	13. 11. 1994 12. 5. 1994	Koupě Švédsko	23. 4. 1998 Výměna Praha
2	M	13. 11. 1994 18. 5. 1994	Koupě Švédsko	22. 5. 1998 Úhyn
3	F	13. 11. 1994 8. 5. 1994	Koupě Švédsko	18. 10. 1995 Úhyn
4	F	13. 11. 1994 6. 5. 1994	Koupě Švédsko	17. 4. 2009 Úhyn Olomouc
5	F	13. 11. 1994 6. 5. 1994	Koupě Švédsko	30. 9. 2001 Úhyn
6	F	13. 11. 1994 X	Koupě Švédsko	12. 10. 1997 X
62	F	9. 9. 2010 4. 5. 2001	Deponace z Chomutova	14. 2. 2011 Návrat Chomutov
63	M	13. 4. 2011 1. 5. 2010	Koupě private	8. 7. 2011 Úhyn Olomouc

Chovem soba polárního se Zoo Olomouc zabývá již více než dvacet let. První sobi (4 samice, 2 samci) byli Olomouckou zoologickou zahradou přivezeni v roce 1994 ze Švédska, jak můžeme vidět v tab. č. 1. Postupně byly další kusy přikupovány a vyměňovány se zahradami, se kterými Olomoucká zoologická zahrada spolupracuje (informace z ústního jednání).

K datu 1. 1. 2015 měla Olomoucká zoologická zahrada stádo s 12 samicemi a 1 samcem (Vokurková a Kořínek, 2015). Během celého roku 2015 bylo stádo ve skvělé kondici a bez vážnějších zdravotních problémů. I přes dobrou kondici celého stáda se v tomto roce narodilo a bylo odchováno pouze jedno mládě (samec). Říje v roce 2015 započala na přelomu léta a podzimu a byla ukončena 23. prosince, kdy samec shodil své parohy. U všech samic, ale říje ještě neskončila a nadále se opakovala (Veselá a Vokurková, 2015). Tudíž celkový stav sobího stáda k datu 31. 12. 2015 činil 12 samic, 1 dospělý samec a 1 mládě (Vokurková a Kořínek, 2015).

Pro zlepšení kondice sobů se od roku 2008 do roku 2012 uskutečnil krmivářský experiment s optimalizací krmné dávky. Výsledkem tohoto pokusu bylo podávání krmné dávky složené z granulí „Th Dostih zátěž“ a to v množství ad libitum. Díky tomuto krmení se sobům velmi dobře daří. Každý kus denně dostal 1,7 kg granulí, což odpovídá dávce ad libitum. Strava byla dále obohacena o kvalitní seno, které je nejčastěji jemné a lístečkové. Jejich dobrý zdravotní stav se podepisuje nejen na zlepšení kvality paznehtů a srsti, ale také na velikosti paroží. V roce 2014 byla hmotnost samčího shozeného paroží 9,30 kg (Veselá, 2014), kdežto v roce 2015 vážilo o zhruba 3 kg více (12,78 kg), což svědčí o stále lepším stavu zvířat (Veselá a Vokurková, 2015). Paroží soba polárního a velmi dobrá kondice zvířat je zřejmá z obr. č. 4.

Sob polární žije ve volné přírodě především v polárních a subpolárních oblastech. Proto mají tato chovaná zvířata v Zoo Olomouc ve svém výběhu dostatek zastíněných ploch a navíc vodní sprchy, které zvířatům umožňují zvládnout horké letní období (obr. č. 5).

Obr. č. 4: Sob polární (*Rangifer tarandus*) a jeho paroží (Zoo Olomouc).



Obr. č. 5: Sob polární (*Rangifer tarandus*) se v horkém letním období chladí (Zoo Olomouc).



7.2. Termovizní kamera FLIR T620

Snímky byly pořízeny profesionální termovizní kamerou značky FLIR T620 (obr. č. 6). Rozlišení senzoru termokamery činí 640 x 480 a spektrální rozsah je 7,5 – 13 μm . Tento model je schopen zaznamenat teploty od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ a teplotní citlivostí $+0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vestavěná kamera s rozlišením 5 Mpx s LED přísvitem má obnovovací frekvenci 30 Hz. Ostření termokamery je plně automatické i manuální od 0,3 m (0,2 m). Vyfocené snímky jsou ukládány na SD kartu v klasickém JPEG formátu i s naměřenými daty. Výhodou této termokamery je malá hmotnost ($< 880\text{g}$ i s baterií), dlouhá životnost Li – Iontové baterie ($> 2,5\text{ h}$) a bezdrátová komunikace za pomoci Wifi a Bluetooth (<http://www.eshop.micronix.cz/merici-technika/termokamery/flir-t620.html>).

Obr. č. 6: Termovizní kamera FLIR T620.

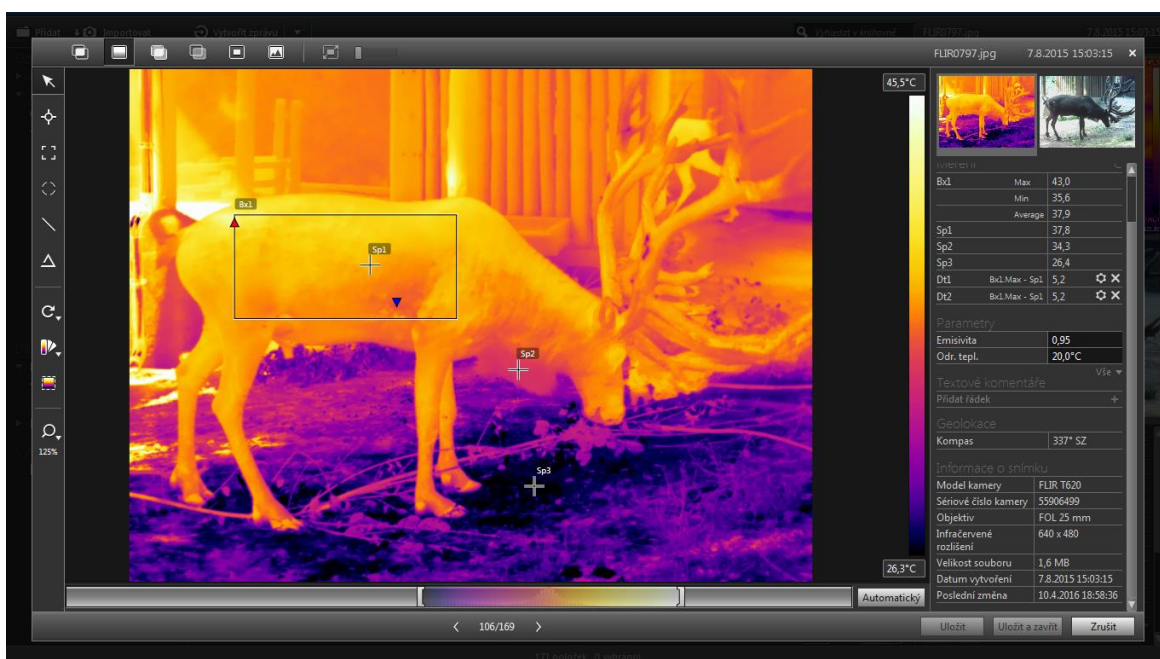


7.3. Zpracování dat

7.3.1. Program FLIR TOOLS

Naměřená data byla zpracovávána v programu FLIR TOOLS (obr. č. 7, 8), který nám nabízí velkou škálu funkcí. Tento program nám umožňuje zobrazovat základní informace o pořízeném snímku (datum pořízení, model termovizní kamery), editovat všechny parametry měření (emisivitu, odraženou teplotou, vzdálenost, teplotu a vlhkost atmosféry), změnit paletu barev a přidat izotermu (nad, pod, interval atd.), přidat libovolný počet měřících bodů a oblastí (obdélníky, elipsy) včetně zobrazení maxim a minim, přidat libovolný počet delta funkcí, díky kterým stanovíme teplotní rozdíly. Dále nám také umožňuje zpracování v různých teplotních jednotkách (Kelvin, Celsius, Fahrenheit) a zobrazovat pořízenou fotografii v originále (<http://www.termokamery-flir.cz/software-flir-tools>).

Obr. č. 7: Termografický snímek samce soba polárního v horkém letním období
(Program FLIR TOOLS).



Na obr. č. 7 je uvedeno zpracování termografického snímku samce soba polárního v horkém letním období. Ze snímku jsou zřejmé následující údaje:

- maximální teplota těla +43 °C (v měřeném úseku označení červenou šipkou)
- minimální teplota +35,6 °C (v měřeném úseku označení modrou šipkou)

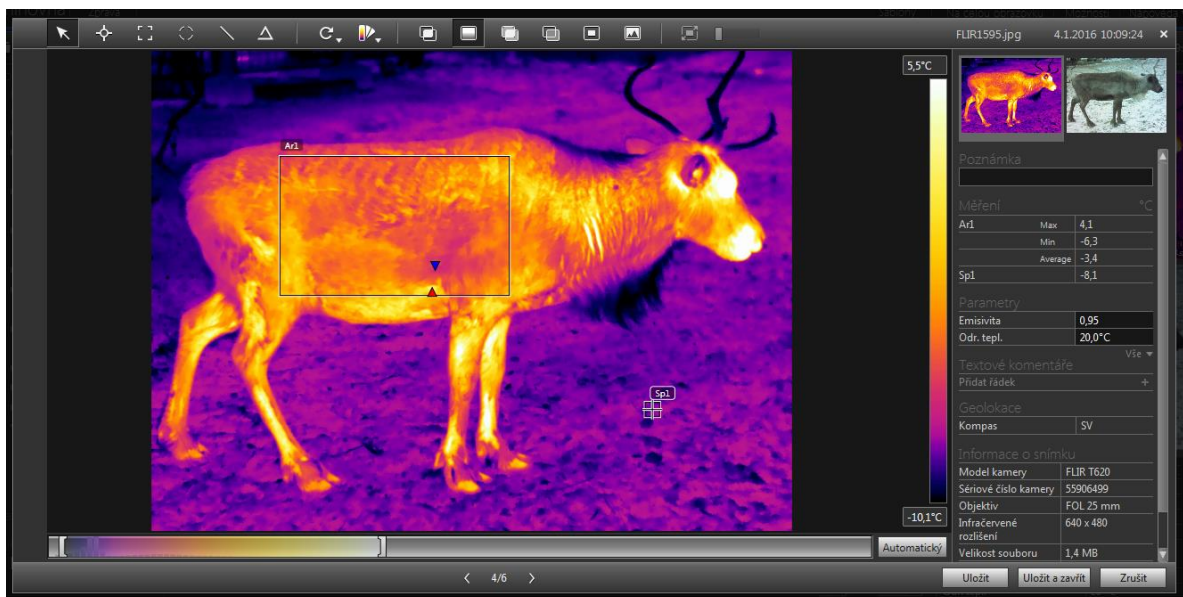
- průměrná teplota měřené plochy těla +37,9 °C
- tři měřené body Sp1 = +37,8 °C; Sp2 = +34,3 °C; Sp3 = +26,4°C

Na následujícím obr. č. 8 je příklad zpracování snímku samice soba polárního v chladném období roku. Ze snímku jsou zřejmé následující údaje:

- maximální teplota těla +4,1 °C (v měřeném úseku označení červenou šipkou)
- minimální teplota -6,3 °C (v měřeném úseku označení modrou šipkou)
- průměrná teplota měřené plochy těla -3,4 °C
- další měřený bod Sp1 = -8,1°C

Obr. č. 8: Termografický snímek samice soba polárního v chladném období roku

(Program FLIR TOOLS).



7.3.2. Stefanův – Boltzmannův zákon

Tepelná ztráta, která je vyjádřena ve wattech na metr čtvereční (W/m²) byla vypočítána podle Stefanova – Boltzmannova zákona:

$$P = \varepsilon \sigma (\bar{T}_s^4 - T_a^4)$$

P = Vyzařovaná energie

ε = Emisivita (0,95)

σ = Stefanova – Boltzmannova konstanta (5,67 x 10⁻⁸ Wm⁻² K⁻⁴)

T_s = Teplota povrchu (K)

T_a = Teplota vzduchu (K)

– = Průměr naměřených bodů (Autio a kol., 2006).

Tento zákon byl v roce 1879 experimentálně objeven Josefem Stefanem. Krátce na to byl teoreticky odvozen Ludwigem Boltzmannem. Emisivita (ϵ) je povrch předmětu, která se nachází v rozmezí mezi 0 a 1 podle struktury a provedení povrchu (Halliday a kol., 2013).

Stefanův – Boltzmannův zákon se často využívá v oblasti výzkumu termoregulace různých druhů zvířat (např. v práci Autio a kol., 2006) a byl použit pro výpočet teplotních ztrát také v této diplomové práci.

7.3.3. Statistická analýza dat

Celková databáze obsahovala přibližně 170 použitelných snímků provedených termokamerou. Z této databáze byly odstraněny snímky zvířat stojících na přímém slunci, zvířat stojících ve větší vzdálenosti než 15 metrů a dále také chladící se jedinci. Tak byla vytvořena databáze termografických snímků zvířat, jejichž teplota těla a měření termokamerou nebylo ovlivněno uvedenými vlivy. Celkový počet snímků pro statistické zpracování byl 117 kusů (viz tab. 8).

Získaná data byla rozdělena podle vnější teploty, ve které se zvířata nacházela, na tři období:

- horké období roku (teplota vnějšího prostředí +30 až +36 °C)
- středně teplé období roku (teplota vnějšího prostředí +16 až +29 °C)
- chladné období roku (teplota vnějšího prostředí -8 až +8 °C)

Do pozorování byla zařazena pouze zvířata, která nebyla vystavena ostrému slunečnímu záření a jejich teplota těla tudíž nebyla slunečními paprsky ovlivňována. Zvířata v horkém období měla také možnost chladit se (vodní sprchy). Tato zvířata byla ze sledování taktéž vyloučená. Zvířata byla sledována průměrně ze vzdálenosti 5 – 15 m.

Statistická analýza byla provedena v programu STATISTICA (verze 12, 2013) dvěma způsoby výpočtu. Nejprve bylo provedeno v rámci teplotně různých období roku (horké, střední a chladné) u sledovaných zvířat vyhodnocení jejich teplotních ztrát (ve W/m^2) pomocí základních statistických výpočtů (průměr, směrodatná odchylka, medián, modus, variační

koeficient, minimální a maximální hodnota). Pro testování významnosti rozdílů mezi skupinami dat byla provedena analýza rozptylu (One-way ANOVA). Tato metoda umožňuje testovat statistický rozdíl mezi třemi soubory dat (v tomto případě mezi horkým, středním a chladným obdobím roku), které jsou na sobě nezávislé. Konkrétně byl pro analýzu dat zvolen Tukeyův test významnosti rozdílů (Post-hoc Tukey HSD test).

Obecnou podmínkou pro analýzu metodou ANOVA je homogenita rozptylů u testovaných skupin dat. Tato homogenita byla ověřena v prvním kroku výpočtů v programu STATISTICA metodou Cochran, Hartley, Bartlett. Výsledky tohoto testování jsou uvedeny v tab. 2 a 3.

Druhé statistické vyhodnocení bylo provedeno přímým srovnáním teploty povrchu těla (uvedených ve stupních Celsia) mezi samicemi a samcem soba polárního, použitím neparametrického párového Wilcoxonova testu.

8. Výsledky

Statistické zpracování dat bylo provedeno nejprve samostatně pro skupinu sledovaných samic a samce v rámci třech sledovaných období: horké období, středně teplé období a chladné období roku. Cílem bylo vyhodnotit teplotní ztráty (ve W/m^2) v těchto obdobích a pomocí Post-hoc Tukey HSD testu vyhodnotit průkaznost rozdílů mezi těmito obdobími (jejich ztrátami). Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení pomocí párového testu (Wilcoxonův test), který analyzoval průkaznost rozdílů (ve $^{\circ}C$) v horkém období mezi samicemi a samcem s cílem zjistit, jak tyto zjištěné teploty sob polární zvládá a jak je na ně adaptován.

Před provedením testu průkaznosti rozdílů mezi jednotlivými obdobími roku byl proveden test homogenity, který musí těmto testům předcházet. Výsledky této analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 2 a 3 (samice, samec).

Protože je vypočítaná hladina významnosti v obou případech ($p = 0,107150$; $p = 0,7327$) vyšší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, jsou rozptyly homogenní (není mezi nimi statistiky průkazný rozdíl). Na základě těchto výsledků byl proveden Tukey test průkaznosti rozdílů v horkém, středním a chladném období samostatně u skupin samic a samostatně u skupiny samců.

Tab. č. 2: Test homogenity rozptylů samic (Cochran, Hartley, Bartlett).

Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	p
2,7	0,4	4,5	0,1072

Tab. č. 3: Test homogenity rozptylů samce (Cochran, Hartley, Bartlett).

Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	p
2,1	0,4	0,6	0,7327

Tabulka č. 4 a 5 vyjadřuje základní statistiku teplotních ztrát u samic a samce v rámci třech teplotních období roku (horké, středí, chladné). Z těchto tabulek (č. 4 a 5) je zřejmý

počet měření u samic v jednotlivých obdobích roku (17, 24, 17) a u samce (5, 6, 7), dále minimální a maximální hodnoty, směrodatná odchylka a variační koeficient. Maximální hodnota nepřekročila shodně u samic a samce 47 W/m² a zřejmá je také malá rozdílnost variability (směrodatné odchylky). Při porovnání průměrných hodnot jsou zřejmé mírně vyšší hodnoty teplotních ztrát u samic než u samce, např. v horkém období byly tyto hodnoty 18,4 vs. 20,0 W/m²; ve středních teplotách 19,1 vs. 23,3 W/m² a v chladném období roku 20,6 vs. 26,9 W/m². Přesto provedený Post-hoc Tukey HSD test neprokázal statisticky průkazný rozdíl mezi těmito soubory.

Tab. č. 4: Základní statistika teplotních ztrát u soba polárního (samice) v různém období roku (W/m²).

Období roku	Počet	Průměr	Medián	Minimální teplot	Maximální teplota	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Horké	17	18,4	15,1	7,9	38,8	8,06	43,80
Středí	23	19,1	18,4	9,0	37,2	6,50	33,90
Chladné	19	20,6	20,6	12,2	28,6	4,70	23,00

Tab. č. 5: Základní statistika teplotních ztrát u soba polárního (samec) v různém období roku (W/m²).

Období roku	Počet	Průměr	Medián	Minimální teplot	Maximální teplota	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Horké	5	20,0	17,0	12,4	35,1	9,40	46,70
Středí	6	23,3	24,7	14,3	31,0	7,30	31,30
Chladné	7	26,9	21,1	18,4	28,6	10,40	38,80

Tab. č. 6 a 7 ukazuje, že mezi obdobími nebyl průkazný rozdíl v průměrných teplotních ztrátách a to jak u samic tak u samce. Z těchto tabulek jsou zřejmé také průměrné teploty, které se shodují s údaji v tab. č. 4 a 5.

Tab. č. 6: Tukey test průkaznosti rozdílů teplotních ztrát u samic v horkém, středním a chladném období roku.

Období roku	Horké	Střední	Chladné
Horké		0,5727	0,9972
Středí	0,5727		0,6213
Chladné	0,9972	0,6213	

Tab. č. 7: Tukey test průkaznosti rozdílu teplotních ztrát u samce v horkém, středním a chladném období roku.

Období roku	Horké	Střední	Chladné
Horké		0,8338	0,4340
Středí	0,8338		0,7642
Chladné	0,4340	0,7642	

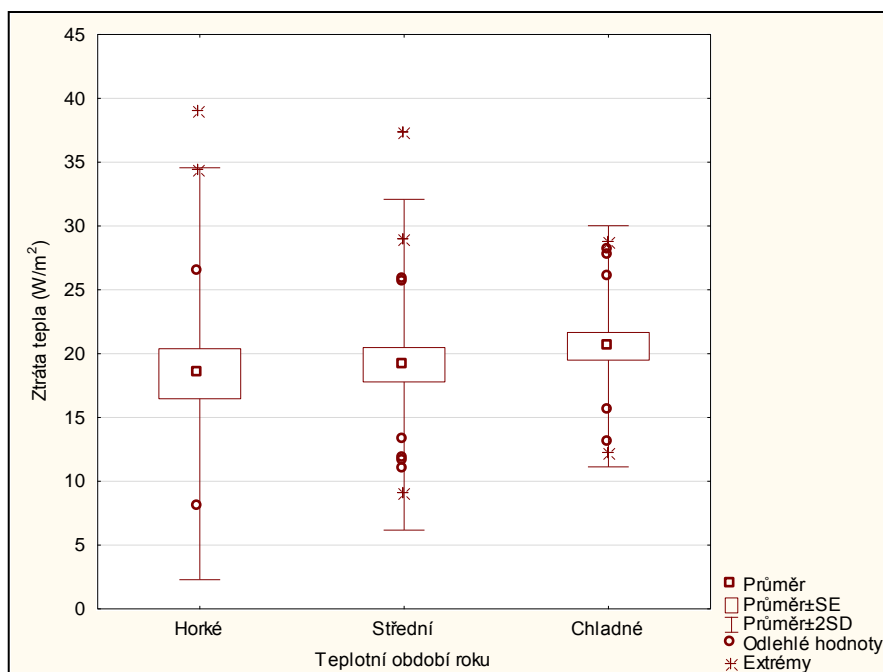
Uvedené výsledky statistických analýz (tab. č. 4 a 5) jsou graficky vyjádřeny v grafu č. 1 (samice) a v grafu č. 2 (samec). Ty vyjadřují průměrné hodnoty a směrodatné odchylky teplotních ztrát u soba polárního v průběhu teplotně různých období roku (horké, střední a chladné). V horkém a středním období roku (graf č. 1) jsou patrné extrémní ztráty tepla zvířat (označovány symbolem +). Tyto extrémy byly zapříčiněny pobytem samic na přímém slunci, které jsou ovšem ojedinělé.

Tyto výsledky nám ukazují, že zvířata dobře zvládají horké letní období, pokud mají možnost ochrany ve stínu před přímým sluncem a také možnost chlazení se (např. vodou). Chlazení zvířat v horkém letním období je velmi důležité a účinné, jak ukazuje obrázek č. 5. Ze snímku je zřejmé, že teplota okolního prostředí je +42,1 °C, zatímco teplota povrchu těla byla u pozorované samice soba polárního pouze +27,4 °C. Při pozorování soba polárního v horkých letních měsících bylo zřejmé, že i díky chlazení a stínu, který mají zvířata k dispozici, zvládají toto období dobře, jsou aktivní a dobře přijímají potravu.

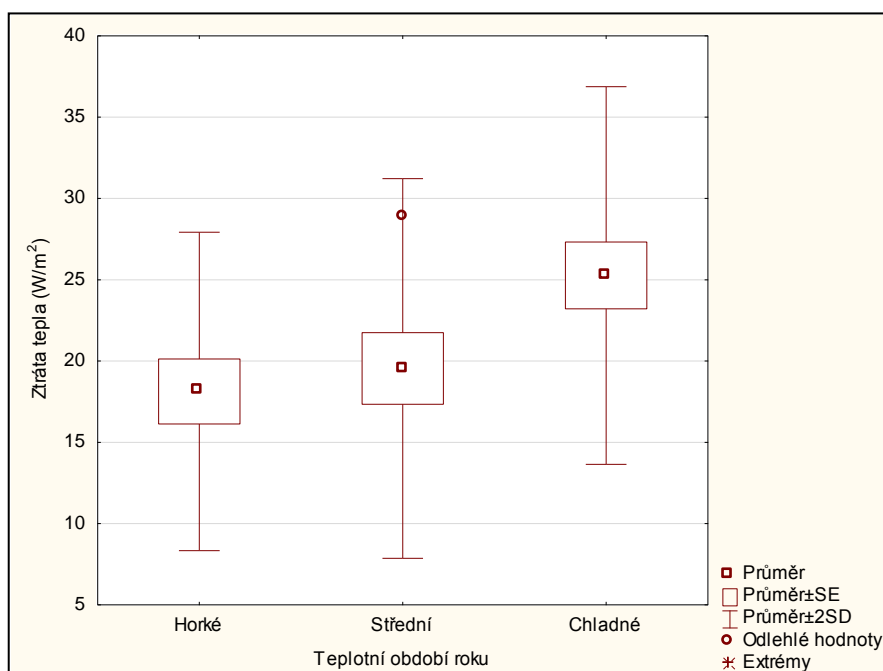
Mimo vyhodnocení teplotních ztrát ve wattech, v teplotně rozdílných obdobích roku, bylo provedeno také přímé srovnání rozdílů teploty povrchu těla mezi samicemi a samcem ve stupních celsia. Všechna měřená zvířata stála během měřeného okamžiku na jednom místě. Měření bylo vždy 1 samec a více samic (např. 1 samec versus 5 samic). Vyhodnocení bylo provedeno v programu STATISTICA neparametrickým párovým t-testem (Wilcoxonův test). V tab. č. 8 je uvedena základní statistika průměrných teplot povrchu těla samic a samců v různých obdobích roku. Celkový počet měřených zvířat byl 117. Maximální teplota povrchu těla v horkém období byla shodná u samic a samce +39,6 a +39,3 °C. Minimální teplota povrchu těla v chladném období roku byla u samic a samce -0,8 a -3,6 °C. Při sledování průměrných hodnot jsou zřejmé velmi podobné teploty (samice vs. samec) v různých obdobích roku. Průměrné hodnoty povrchu těla u samic a samce v horkém období roku činily +37,2 a +37,7 °C, ve středním období roku +26,9 a +26,7 °C a v chladném období roku +4,3

a +2,7 °C. V jednotlivých skupinách byla podobná i směrodatná odchylka, kdy například ve středním období roku byla u samic 3,30 a u samce 3,40.

Graf č. 1: Průměrné a směrodatné odchylky teplotních ztrát u soba polárního (samice) v průběhu teplotně různých období roku.



Graf č. 2: Průměrné a směrodatné odchylky teplotních ztrát u soba polárního (samce) v průběhu teplotně různých období roku.



Tab. č. 8: Základní statistika průměrných teplot povrchu těla zvířat v různém období roku (ve °C).

Období roku *	Počet	Průměr	Medián	Minimální teplot	Maximální teplota	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Samec (H)	6	37,2	38,0	34,0	39,6	2,00	5,40
Samice (H)	41	37,7	38,0	34,3	39,3	1,30	3,40
Samec (S)	7	26,9	28,4	20,8	29,8	3,30	12,30
Samice (S)	10	26,7	25,1	22,5	30,9	3,40	12,60
Samec (CH)	8	4,3	2,7	- 0,8	12,4	5,70	134,40
Samice (CH)	45	2,7	- 2,4	- 3,6	13,4	6,60	240,90

* Horké období (H), střední období (S) a chladné (CH) období roku.

Prvním krokem stanovení průkaznosti rozdílů bylo porovnání teplot povrchu těla u celého souboru zvířat za všechna období roku. Zde jsem zjistila vysoce průkazný rozdíl mezi samicemi a samcem (tab. č. 9). Následná analýza byla provedena samostatně pro horké, střední a chladné období roku s cílem zjištění, ve kterém období jsou patrné rozdíly.

Tab. č. 9: Párový t-test průkaznosti rozdílů mezi teplotou povrchu těla u samic a samce soba polárního v různých obdobích roku.

Období roku	p
Horké	0,0000
Střední	0,0000
Chladné	0,0000

Tab. č. 10: Párový t-test průkaznosti rozdílů mezi teplotou povrchu těla u samic a samce soba polárního v horkém, středním a chladném období roku.

Období roku	p
Horké	0,7925
Středí	0,5168
Chladné	0,0000

Výsledky můžeme vidět v tabulce č. 10. Z těchto výsledků je zřejmé, že v rámci horkého a středního období nebyly zjištěné mezi zvířaty průkazné rozdíly. Naproti tomu, v chladném období roku byly tyto rozdíly vysoce průkazné. Tyto rozdíly mohou být zapříčiněny například různým utvářením srsti, vrstvou podkožního tuku a dalšími vlivy, které jsou specifické pro termoregulaci pro samice a samce v chladném ročním období. Tyto hypotézy by mohly být součástí dalších experimentů a následného výzkumu.

9. Diskuze

Tato diplomová práce je jedna z mála prací, která využívá termovizní kameru pro experimentální výzkum. Hlavním důvodem, malého využití termokamer, může být dlouhodobě vysoká cena těchto přístrojů. Právě díky tomu, se v dané problematice objevuje velmi omezený počet zdrojů, ze kterých bychom mohli čerpat dostatek kvalitních informací. V dnešní době se však tyto kamery začínají stále více využívat v oblasti biologického, veterinárního, etologického či ekologického výzkumu, při zjišťování různých nákaz, zranění, říje a gravidity či při pozorování zvířat a zkoumání hibernace a zimního spánku.

Morgan (1997) ve své práci uvádí, že v horkém období jsou rozdíly mezi teplotami (okolí vs. teplota těla) menší než v rámci chladného období. Tyto závěry uvádí také Autio a kol. (2006), kteří ve své práci například u studenokrevných koní uvádí tyto hodnoty: při teplotě +15 °C je teplotní ztráta 40,5 W/m² a při -8 °C je 68,2 W/m², což potvrzuje Morganovo tvrzení.

Podobné závěry vyplývají také i z mé práce, kdy například v horkém letním období byly u samic teplotní ztráty 18,4 W/m², zatím co v chladném období roku byly tyto ztráty vyšší tj. 20,6 W/m². Shodná tendence byla zjištěná také u samce (20,0 vs. 26,9 W/m²). Pokud jsou teplotní rozdíly mezi teplotou prostředí a povrchem těla vyšší, tak je také vyšší teplotní ztráta.

Podobná studie, která se zbývala výzkumem ztráty tepla, byla popsána v práci Autio a kol., z roku 2006. Tento výzkum byl proveden na čtyřech typech koní. Na rozdíl od této diplomové práce, kdy byla teplota sobů měřena každou hodinu v horkém, střením a chladném období roku (od +36 °C do -8 °C), teplota povrchu těla koní byla měřena každých 30 minut v průběhu 3 hodin při vnějších teplotách +15 °C, +2 °C, -8 °C a -12 °C. Díky velké teplotní škále, kterou jsme v průběhu měření zaznamenali, můžeme výsledky s touto prací porovnat. Autio a kol. (2006) uvádí, že u studenokrevných koní při +15 °C jsou teplotní ztráty 40,5 W/m² (SD 13,1). V této diplomové práci byly zjištěny teplotní ztráty ve středně teplém období (rozmezí teplot od +16 °C do +29 °C) u samic v rozsahu od 9,0 do 37,2 W/m² a u samců od 14,3 do 31,0 W/m². Při porovnání těchto dat si můžeme všimnout velice podobných výsledků.

V této práci se prokázalo, že mezi jedinci mohou být vysoce průkazné rozdíly, což bylo dokázáno při srovnání samic a samců v chladném období roku. A to i přesto, že měření

probíhalo ve stejných podmínkách, kdy všechna měřená zvířata stála během měřeného okamžiku na jednom místě. Z tohoto je zřejmé, že individualita jedinců hraje velkou roli při tomto měření. Vlivy, díky kterým jsou patrné rozdíly mezi jedinci, mohou být např. v utváření srsti, velikosti zvířat a množství tukových zásob. Na tyto vlivy upozorňují také MacComack a Bruce (1991), kteří tvrdí, že velikost těla živočichů hraje velkou roli při stanovení tepelných ztrát. Pyykkönen (1991) ve svém článku poukazuje navíc i na hmotnost zvířat, kdy mají telata na rozdíl od dospělých jedinců, vyšší tepelné ztráty a to díky poměru tělu k jejich hmotnosti. Proto jsem se v této diplomové práci zaměřila pouze na měření teplotních ztrát dospělých jedinců a mladá zvířata (telata) byla z měření vyloučena.

10. Závěr

Teplotní ztráty povrchu těla soba polárního (*Rangifer tarandus*) byly měřeny v zoologické zahradě v Olomouci termovizní kamerou FLIR T620. Získané snímky byly následně zpracovány v programu FLIR TOOLS. Data vycházející z těchto snímků byly zpracovány prostřednictvím programu STATISTICA (verze 12, 2013).

Při porovnání průměrných teplotních ztrát zvířat (ve W/m^2) mezi horkým, středním a chladným obdobím roku, byly zjištěny statisticky neprůkazné rozdíly. Mírně vyšší hodnoty (neprůkazné) přitom byly zjištěny u samic než u samce.

Naproti tomu při přímém porovnání teploty povrchu těla (ve $^{\circ}C$) byly rozdíly mezi samicemi a samcem v chladném období roku vysoce průkazné ($p < 0,001$), zatímco v horkém a teplotně středním obdobím roku tyto rozdíly byly neprůkazné.

Tyto zjištěné rozdíly mezi pohlavími mohly být zapříčiněny například různým utvářením srsti, vrstvou podkožního tuku a dalšími vlivy, které jsou specifické pro termoregulaci pro samice a samce v chladném ročním období.

Při pozorování soba polárního v horkých letních měsících bylo zřejmé, že i díky chlazení a stínu, který mají zvířata k dispozici, zvládají toto období dobře, jsou aktivní a dobře přijímají potravu.

11. Seznam literatury

- ALDERTON D. (2011): *Zvířata: velká ilustrovaná encyklopedie*. 1. české vyd. Praha: Svojtka & Co., 448 s., ISBN 978-80-256-0514-1.
- ARENAS A. J., GÓMEZ F., SALAS R., CARRASCO P., BORGE C., MALDONADO A., O'BRIEN D. J., MARTÍNEZ-MORENO F. J. (2002): *An evaluation of the application of infrared thermal imaging to the tele-diagnosis of sarcoptic mange in the Spanish ibex (Capra pyrenaica)*. *Veterinary Parasitology*, 109, 111 – 117 s.
- AUTIO E., NESTE R., AIRAKSINEN S., HEISKANEN M. (2006): *Measuring the heat loss in horses in different seasons by infrared thermography*. *Journal of applied animal welfare science*, 9 (3), 211 – 221 s.
- BOONSTRA R., KREBS C. J., BOUTIN S., EADIE J. M. (1994): *Finding mammals using far-infrared thermal imaging*. *J Mammal*, 75 (4), 1063 – 1068 s.
- BRYNDA P. (2012): *Úvod do teorie termovizního měření*. České vysoké učení technické. 18 s.
- CIBULKO J., JANISZEWSKI P., BOGDASZEWSKI M., SZCZYGIELSKI E. (2013): *Infrared thermal imaging in studies of wild animals*. *Eur J Wildl Res*, 59, 17 – 23 s.
- COLAK A., POLAT B., OKUMUS Z, KAYA M., YANMAZ L. E., HAYIRLI A. (2008): *Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows*. *J Dairy Sci*. 91, 4244 – 4248 s.
- ČERVENÝ J. a kol. (2010): *Myslivost*. Ottovo nakladatelství s.r.o., 591 s., ISBN 978-80-7360-895-8.
- DUNBAR M. R., JOHSON S. R., RYAN J. C., McCOLLUM M. (2009): *Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (Odocoileus hemionus) experimentally infected with footand- mouth disease*. *J Zoo Wildl Med*, 40 (2), 296 – 301 s.
- DUNBAR M. R., MacCARTHY K. A. (2006): *Use of infrared thermography to detect sings of rabies infection in raccoons (Procyon lotor)*. *J Zoo Wildl Med*, 37 (4), 518 – 523 s.
- DURRANT B., RAVIDA N., SPADY T., CHENG A. (2006): *New technologies for the study of carnivore reproduction*. *Theriogenology*, 66, 1729 – 1736 s.

- EWBANK R. (1969): *The fall in rectum temperature seen before parturition in sheep*. J Reprod Fertil, 19, 569 – 571 s.
- FLIR (2010): *Uživatelská příručka*. USA, 202 s.
- FLUKE CORPORATION (2009): *Introduction to thermography principles*. American Technical Publishers, 72 s., ISBN 9780826915351. [online]. [cit. 2016-1-18].
Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/62002382/Introduction-to-Thermography-Principles>.
- GARNER D. L., UNDERWOOD H. B., PORTER W. F. (1995): *Use of modern infrared thermography for wildlife population surveys*. Environ Manag, 19 (2), 233 – 238 s.
- GRAHAM C. E., WEANER H., MISENER J., COLLINS D. C., PREEDY J. R. K. (1977): *The association between basal body temperature, sexual swelling and urinary gonadal hormone levels in the menstrual cycle of the chimpanzee*. J Reprod Fertil, 50, 23 – 28 s.
- HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J. (2013): *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 2. přeprac. vyd., Brno: VUTIUM, 1174 s., ISBN 978-80-2144-123-1.
- HANZÁK J. et VESELOVSKÝ Z. (1975): *Světlem zvířat díl I. - Savci*. Albatros, 560 s., ISBN 13-621-KMC-75.
- HELLEBRAND H. J., BREHME U, BEUCHE H., STOLLBERG U., JACOBS H. (2003): *Application of thermal imaging for cattle management*. Proc., 1st European Conference on Precision Livestock Farming, Berlin, Germany, 761 – 763 s.
- HEŘMAN J. (2004): *Vývoj názorů na podstatu elektřiny (39)*. Časopis ELEKTRO, FCC Public, č. 03. [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vyvoj-nazoru-na-podstatu-elektřiny-39--14152>.
- HILSBURG-MERZ S. (2008): *Infrared thermography in zoo and wild animals*. In: FLOWER M. E., MILLER E. R. (eds): *Zoo and wild animal medicine current therapy*, Saunders, Elsevier, St. Louis, 20 – 33 s.
- KATSUMATA E., JAROENPORN S., KATSUMATA H., KONNO S., MAEDA Y., WATANABE G., TAYA K. (2006): *Body temperature and circulating progesterone levels before and after parturition in killer whales (Orcinus orca)*. J Reprod Dev, 52, 65 – 71 s.

- KITTNAR O. (2011): *Lékařská fyziologie*. 1. vyd., Praha: Grada, 800 s., ISBN 978-80-247-3068-4.
- KUNC P., KNÍŽKOVÁ I., PŘIKRYL M., MALOUN J. (2007): *Infrared thermography as a tool to study the milking*. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 40 (1), 29 – 32 s.
- KUSUDA S., WAKIMOTO T., SATO T., NISHIMURA K., KAWAKAMI S., OKUDA K., SAITO E., SHIMADA T., SAKAMOTO H., YANAGIMOTO H., WADA S., NISHIO K., FUJI H., SUZUKI T., HASHIKAWA H., KUSONOKI H., DOI O. (2007): *Relationship between body temperature and ovarian cycle in Asian and African elephants*. *Journal of Reproduction and Development*, 53 (5), 1099 – 1105 s.
- LEPIL O., BEDNAŘÍK M., HÝBLOVÁ R. (2012): *Fyzika pro střední školy I., 5., přeprac. vyd.* Praha: Prometheus, 253 s., ISBN 978-80-7196-428-5.
- LOVEGROVE B. G. (2005): *Seasonal thermoregulatory responses in mammals*. *J Comp Physiol B*, 175, 231 – 247 s.
- MacCORMACK J. A. D. a BRUCE J. M. (1991): *The horse in winter – Shelter and feeding*. *Farm Building Progress*, 105, 10 – 13 s.
- McCAFFERTY D. J. (2007): *The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions*. *Mammal Review*, 37, 207 – 223 s.
- MESTEIG K., TYLER N. J. C., BLIX A. S. (2000): *Seasonal changes in heart rate and food intake in reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*)*. *Acta Physiol Scand*, 170, 145 – 151 s.
- MINKINA W. (2004): *Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody*. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 242 s., ISBN 83-7193-237-5.
- MORGAN K. (1997): *Effects of short-term changes in ambient air temperature or altered insulation in horses*. *Journal of Thermal Biology*, 22, 187 – 194 s.
- OSTROWSKI S., WILLIAMS J. B., ISMAEL K. (2003): *Heterothermy and the water economy of free-living Arabian oryx (*Oryx leucoryx*)*. *The Journal of Experimental Biology*, 206, 1471 – 1478 s.
- PERRYMAN W. L., DONAHUE M. A., LAAKE J. L., MARTIN T. E. (1999): *Diel variation in migration rates of eastern pacific gray whales measured with thermal imaging sensors*. *Marine Mammal Science*, 15, 426 – 445 s.

- PŘIKRYLOVÁ M. (2015): *Návštěvnost Zoo Olomouc v roce 2015*. Výroční zpráva 2015, Zoologická zahrada Olomouc. ZOO Olomouc. 76 – 77 s.
- PYYKKÖNEN M. (1991): *Measuring the thermal environment of calves under sheltered winter condition*. Helsinki, Finland: University of Helsinki, Department of Agricultural Technology.
- RYBOLT T. R. (2015): *Thermometers*. Salem Press Encyclopedia of Science, 6 s.
- SOPPELA P., NIEMINEN M., TIMISJÄRVI J. (1986): *Thermoregulation in reindeer*. Rangifer, Special Issue 1, 273 – 278 s.
- SPEAKMAN J. R. a WARD S. (1998): *Infrared thermography: principles and applications*. Zoology, 101, 224 – 232 s.
- TERASAWA F., YOKOYAMA Y., KITAMURA M. (1999): *Rectal temperature before and after parturition in bottlenose dolphins*. Zoo Biol, 18, 153 – 156 s.
- VAVŘIČKA R. (2013): *Bezkontaktní způsoby měření teploty*. 1. vyd., Praha: Společnost pro techniku prostředí. 65 s., ISBN 978-80-02-02515-3
- VESELÁ L. (2014): *Chov sobů v Zoo Olomouc*. Výroční zpráva 2014, Zoologická zahrada Olomouc. ZOO Olomouc. 29 – 30 s.
- VESELÁ L. a VOKURKOVÁ J. (2015): *Přehled druhů a kusů zvířat chovaných v Zoo Olomouc k 31. 12. 2015 – Kopytníci*. Výroční zpráva 2015, Zoologická zahrada Olomouc. ZOO Olomouc. 26 s.
- VOKURKOVÁ J. a KOŘÍNEK M. (2015): *Přehled chovaných druhů zvířat v roce 2015*. Výroční zpráva 2015, Zoologická zahrada Olomouc. ZOO Olomouc. 149 s.
- WEISSENBOCK N. M., WEISS CH. M., SCHWAMMER H. M., KRATOCHVIL H. (2010): *Thermal windows on the body surface of African elephants (*Loxodonta africana*) studied by infrared thermography*. Journal of Thermal Biology, 35, 182 – 188 s.
- YOUSEF M. K. a LUICK J. R. (1975): *Responses of reindeer, Rangifer tarandus, to heat stress*. — In: LUICK J. R., LENT P. C., KLEIN D. R. et WHITE, R. C. (eds.): *Proceedings of the First International Reindeer/Caribou Symposium*, Fairbanks, Alaska 1972. Biological Papers of the University of Alaska, Special Report, 1, 360 – 367 s.

Internetové zdroje:

- Anonymous (2016): FLIR TOOLS (online). [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.termokamery-flir.cz/software-flir-tools>
- Anonymous (2016): Zoo Olomouc (online). [cit. 2016-04-2]. Dostupné z: <http://www.zoo-olomouc.cz>
- Anonymous (2013): FLIR (online). [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.eshop.micronix.cz/merici-technika/termokamery/flir-t620.html>
- Anonymous (2016): Wikipedia: the free encyclopedia (online). [cit. 2016-2-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann_law