

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie a ornitologická laboratoř



**Vyhodnocení schopnosti termoregulace u slona
indického (*Elephas maximus*) chovaného
v klimatických podmínkách České republiky**

Diplomová práce

Bc. Barbora Kučerová

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Zoologie
Forma studia: prezenční
Vedoucí práce: Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D
Olomouc 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Jiřího Bezdíčka, Ph.D a pouze s použitím citované literatury.

V Olomouci dne:

.....

Podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Bezdíčkovi, Ph.D za odborné vedení, připomínky, podněty, cenné rady a poskytnuté materiály. Dále bych chtěla poděkovat všem zoologickým zahradám (jmenovitě Zoo Praha, Zoo Ostrava a Zoo Liberec), kde výzkum probíhal i jejich zaměstnancům za odbornou pomoc při sběru dat. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině a partnerovi za podporu při celém studiu.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Barbora Kučerová

Název práce: Vyhodnocení schopnosti termoregulace u slona indického (*Elephas maximus*) chovaného v klimatických podmínkách České republiky

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra zoologie a ornitologická laboratoř

Vedoucí práce: Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D

Rok obhajoby práce: 2017

Abstrakt:

Sloni jsou největší terestriční živočichové s malým poměrem povrchu těla k objemu. Mohou mít však obtíže s odvodem přebytečného tělesného tepla. Aby nedocházelo k přehřívání těla a následnému úhynu museli se naučit různé mechanismy termoregulace. Existuje názor, že sloni využívají k termoregulaci jejich vysoce prokrvené ušní boltce. Tato diplomová práce se zabývá schopností termoregulace u slona indického (*Elephas maximus*) chovaného v České republice. Výzkum probíhal ve třech zoologických zahradách (Zoo Praha, Zoo Ostrava a Zoo Liberec) během let 2016 a 2017. Celkem bylo do studie zahrnuto 15 jedinců slona indického různého pohlaví i stáří. Sběr dat byl proveden pomocí termovizní kamery FLIR T620, které byly vyhodnoceny v softwaru FLIR Tools a následně statisticky zpracovány v softwaru STATISTICA (verze 12, 2013). Při porovnání průměrných teplot v různých částech těla byla zjištěna statisticky vysoce průkazně nižší teplota právě u uší. Také ve vztahu k teplotě okolního prostředí měly uši vyšší regresní koeficienty než ostatní části těla. Lze tedy říci, že uši jsou hlavním termoregulačním orgánem u slona indického. Dále bylo zjištěno, že termoneutrální zóna u slona indického se nachází v rozsahu 28 – 30 °C. Při porovnání teplot těla u dospělců a mláďat bylo zjištěno, že mláďata mají průkazně vyšší teploty těla než dospělí jedinci.

Klíčová slova: infračervená termografie, slon indický (*Elephas maximus*), termogram, termoregulace, termovizní kamera, zoologická zahrada

Bibliographical identification

Autor's first name and surname: Bc. Barbora Kučerová

Title of thesis: Evaluation of the thermoregulation capability of the Asian elephant (*Elephas maximus*) in the climatic conditions of the Czech Republic

Type of thesis: Diploma thesis

Department: Department of Zoology and laboratory of ornithology

Supervisor: Ing. Jiří Bezdiček, Ph.D

The year of presentation: 2017

Abstract:

Elephants are the largest terrestrial animals with a small surface area to volume ratio. However, they may have a trouble with the extraction of excess body heat. To avoid overheating and subsequent death, they had to learn various mechanisms of thermoregulation. There is an opinion that elephants use their heavily vascularized ears for thermoregulation. This diploma thesis deals with the thermoregulation capability of the Asian elephant (*Elephas maximus*) breed in the Czech Republic. The research was conducted in three zoological gardens (Prague Zoo, Ostrava Zoo and Liberec Zoo) during 2016 and 2017. 15 individuals of different sex and age were included in the study together. Data were captured by the thermal imaging camera FLIR T620, they were evaluated in software FLIR Tools and then statistically processed by STATISTICA (version 12, 2013). When comparing the average temperatures in different parts of the body, a statistically highly evidently lower temperature was found in the ears. Also, in relation to ambient temperature, ears have higher regression coefficients than other body parts. It can be said, that ears are the main thermoregulatory organ of the Asian elephant. Further, it has been found that the thermoneutral zone of the Asian elephant is in the range 28 – 30 °C. Comparing body temperatures in adults and juveniles, it was found that juveniles significantly higher body temperatures than adult.

Keywords: Asian elephant (*Elephas maximus*), infrared thermography, thermogram, thermal imaging camera, thermoregulation, zoological garden

OBSAH

1	SEZNAMY	7
1.1	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	7
1.2	SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ	7
1.3	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	8
2	ÚVOD	10
2.1	CHARAKTERISTIKA SLONA INDICKÉHO (<i>ELEPHAS MAXIMUS LINNÉ, 1758</i>)	11
2.2	INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE A JEJÍ VYUŽITÍ	13
2.3	SCHOPNOST TERMOREGULACE U SAVCŮ.....	14
2.4	SCHOPNOST TERMOREGULACE U SLONA INDICKÉHO	16
3	CÍL PRÁCE	19
4	MATERIÁL A METODIKA	20
4.1	SBĚR DAT	20
4.1.1	Zoologická zahrada Praha	20
4.1.2	Zoologická zahrada Ostrava.....	21
4.1.3	Zoologická zahrada Liberec.....	22
4.2	TERMOVIZNÍ KAMERA FLIR T620	24
4.3	ZPRACOVÁNÍ DAT	25
4.3.1	Software FLIR Tools.....	25
4.3.2	Statistické zpracování dat	27
5	VÝSLEDKY	29
6	DISKUZE	42
7	ZÁVĚR	44
8	LITERATURA	45

1 SEZNAMY

1.1 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: <i>Slon indický v Zoo Ostrava</i>	12
Obrázek 2: <i>Mapa České republiky se zaznačením zoologických zahrad zapojených do výzkumu</i>	20
Obrázek 3: <i>Termovizní kamera FLIR T620</i>	25
Obrázek 4: <i>Termogram samice slona indického zobrazený v softwaru FLIR Tools</i>	26
Obrázek 5: <i>Snímek samice slona indického v reálné digitální podobě zobrazený v softwaru FLIR Tools</i>	26

1.2 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1: <i>Rozdělení hodnot reziduálů</i>	32
Graf 2: <i>Porovnání získaných teplot (°C) jednotlivých částí těla u slona indického</i>	34
Graf 3: <i>Zobrazení regresního vztahu jednotlivých částí těla k teplotě okolního prostředí (°C)</i>	37
Graf 4: <i>Bodový graf regresního vztahu mezi teplotou (°C) okolního prostředí a jednotlivých částí těla pro zjištění termoneutrální zóny slona indického</i>	39
Graf 5: <i>Grafické zobrazení rozdílných teplot (°C) v oblasti trupu u dospělců a mláďat slona indického</i>	41

1.3 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: <i>Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Praha ke dni 28. února 2017</i>	21
Tabulka 2: <i>Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Ostrava ke dni 28. února 2017</i>	22
Tabulka 3: <i>Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Liberec ke dni 28. února 2017</i>	22
Tabulka 4: <i>Sumární tabulka všech jedinců slona indického chovaných ve vybraných Zoo v České republice se základními informacemi ke dni 28. února 2017</i>	23
Tabulka 5: <i>Základní statistické charakteristiky souboru teplot vybraných částí těla u slona indického a teploty okolního prostředí (ve °C)</i>	29
Tabulka 6: <i>Základní statistické charakteristiky souboru teplot vybraných částí těla u slona indického a teploty okolního prostředí (v Kelvinech)</i>	30
Tabulka 7: <i>Souhrnná tabulka zjištěných průměrných hodnot teploty (ve °C) u každého sledovaného jedince slona indického</i>	31
Tabulka 8: <i>Test homogenity pro efekt „část těla“ (pro °C)</i>	32
Tabulka 9: <i>Test homogenity pro efekt „jedinec“ (pro °C)</i>	32
Tabulka 10: <i>Univariate Tests of Significance for "Teplota těla" (pro °C)</i>	33
Tabulka 11: <i>Zjištěné průměrné (LSM) hodnoty teploty (ve °C) tří částí těla při zohlednění efektu jedince</i>	33
Tabulka 12: <i>Zjištěné průměrné (LSM) hodnoty teploty (v Kelvinech) tří částí těla při zohlednění efektu jedince</i>	34
Tabulka 13: <i>Post-hoc Tukey SDH test průkaznosti rozdílů teplot různých částí těla (pro °C)</i>	34

Tabulka 14: <i>Tabulka regresních koeficientů b_{xy} (teplota části těla x teplota okolí) (pro °C)</i>	35
Tabulka 15: <i>Test homogeneity pro efekt „část těla“ (pro °C)</i>	36
Tabulka 16: <i>Test homogeneity pro efekt „jedinec“ (pro °C)</i>	36
Tabulka 17: <i>Univariate Tests of Significance for regresní koeficienty (b_{xy}) (pro °C)</i>	36
Tabulka 18: <i>Zjištěné průměrné (LSM) regresní koeficienty, vyjadřující vztah mezi teplotou konkrétní částí těla a teplotou vnějšího prostředí (pro °C)</i>	36
Tabulka 19: <i>Post-hoc Tukey SDH test průkaznosti rozdílů teplot různých částí těla (pro °C)</i>	37
Tabulka 20: <i>Odhadované teploty jednotlivých částí těla slona indického vypočítaných z regresních rovnic (ve °C)</i>	38
Tabulka 21: <i>Univariate Tests of Significance for trup (pro °C)</i>	39
Tabulka 22: <i>Zjištěné průměrné korelace (LSM hodnoty) pro efekt „dospělí jedinci/mláďata“ vzhledem k teplotám trupu (ve °C)</i>	40
Tabulka 23: <i>Zjištěné průměrné korelace (LSM hodnoty) pro efekt „dospělí jedinci/mláďata“ vzhledem k teplotám trupu (v Kelvinech)</i>	40
Tabulka 24: <i>Post-hoc Tukey SHD test průkaznosti rozdílu teploty trupu u dospělých a mláďat slona indického (pro °C)</i>	40

2 ÚVOD

Každý živočich je vystaven během svého života různým klimatickým podmínkám, které se postupně mění. Je nutné, aby se živočich těmto podmínkám přizpůsobil a naučil se na ně reagovat ve svůj prospěch, jinak to může vést ke snížení jeho fitness až do takové míry, kdy může dojít ke smrti.

Ne jinak je tomu u slona indického (*Elephas maximus*). Sloni jsou největší terestrickí živočichové, kteří se přirozeně vyskytují v teplých a suchých oblastech naší planety. Jako jiní velcí živočichové mají malý poměr povrchu těla k objemu. V důsledku toho musejí čelit potížím s odvodem přebytečného tepla, především když se nacházejí v prostředí s vysokými okolními teplotami, které mohou překročit i jejich vnitřní tělesnou teplotu. Aby nedocházelo k přehřívání těla a následnému úhynu museli se naučit různé mechanismy termoregulace. Vzhledem k tomu, že sloní kůže je téměř lysá a obsahuje minimum potních žláz, museli se naučit regulovat přebytečné teplo jiným způsobem.

V této práci je věnována pozornost především jedincům slona indického, kteří jsou chováni v našich klimatických podmínkách ve třech zoologických zahradách nacházejících se na území České republiky. Pochopení toho, jak zvíře reaguje na okolní podmínky a jak reguluje jeho tělesnou teplotu, tudíž jakých mechanismů v termoregulaci využívá, je důležité pro vytvoření co nejideálnějších podmínek při chovu v zoologických zahradách.

Aby výzkum zvířata neomezoval a neovlivňoval, byl prováděn pomocí termovizní kamery. Tato metoda je neinvazivní, prováděná na různou vzdálenost, takže nedochází k žádnému bližšímu kontaktu se zvířaty a tudíž nemůže dojít k žádnému ohrožení, jak zvířat, tak i pozorovatele. I přesto, že se jedná o poměrně mladou metodu používanou v zoologických studiích, postupně si nachází své uplatnění pro využití v humánní i veterinární medicíně nebo při zjišťování velikosti živočišné populace.

2.1 CHARAKTERISTIKA SLONA INDICKÉHO (*ELEPHAS MAXIMUS LINNÉ, 1758*)

Říše: živočichové (*Animalia*)

Kmen: strunatci (*Chordata*)

Třída: savci (*Mammalia*)

Podtřída: placentálové (*Placentalia*)

Řád: chobotnatci (*Proboscidea*)

Čeleď: slonovití (*Elephantidae*)

Rod: Slon africký (*Loxodonta africana*)

Rod: Slon pralesní (*Loxodonta cyclotis*)

Rod: Slon indický (*Elephas maximus*)

Sloni jsou největší terestričtí živočichové současnosti. Do čeledi *Elephantidae* řadíme dva rody: rod *Loxodonta* (slon africký a slon pralesní) a rod *Elephas* (slon indický). Hlavními znaky slonů jsou velké tělesné rozměry, silná kůže s řídkými štětinatými chlupy, sloupovité nohy s kopytovitými nehty a krátký ocas. Na hlavě se nachází velké ušní boltce a pohyblivý svalnatý chobot (ohebné prodloužení horního pysku a nosu), podle něhož dostal řád název (*proboscis* – *Proboscidea*). Tento chobot používají sloni jako pátou končetinu k získávání potravy, lámání větví, k postříkávání těla vodou nebo k poprašování těla pískem a prachem. U slonů, hlavně samců, jsou jedinečné jejich řezáky, které jsou přeměněny v kly, tvořené slonovinou, která je lákavá pro pytláky (Anděra a Červený, 2000; Altrichter, 2011).

Slon indický je menší než jeho africký příbuzný, dosahuje velikosti okolo 3 m a váží až 5000 kg. Slon indický má na chobotu pouze jeden prstík (výběžek na konci chobotu sloužící k uchopení menších předmětů) a výrazně menší ušní boltce trojúhelníkovitého tvaru. Hřbet je spíše vyklenutý a na čele má dva výrazné hrboly (obrázek č. 1). Kly slona indického nejsou tak vyvinuty, dosahují velikosti okolo 1 m (u slona afrického až 3 m), u samic většinou chybí, někdy mohou chybět i u samců (Altrichter, 2011; Veselovský, 1977).



Obrázek 1: *Slon indický* v Zoo Ostrava

Sloni indičtí obývají rozmanitá prostředí v tropické oblasti od deštných lesů až po travnaté pláně. Původní rozšíření slona indického sahalo od Sýrie po jižní Čínu, Jávu a Borneo. V současnosti se slon indický vyskytuje jen roztroušeně v Přední a Zadní Indii, na Borneu, na Cejlonu a na Sumatře (Veselovský, 1977; Anděra a Červený, 2000). Veselovský (1977) dále uvádí, že slon indický se rozlišuje podle rozšíření a tvaru lebky na tyto poddruhy:

- Slon indický cejlonský (*Elephas maximus maximus* Linnaeus, 1758) – žije na ostrově Srí Lanka; samci většinou nemají kly
- Slon indický bengálský (*Elephas m. bengalensis* Blainville, 1845) – nejhojnější, obývá Indii
- Slon indický sumaterský (*Elephas m. sumatranus* Temminck, 1847) – typickým znakem jsou téměř čtvercovitý tvar uší
- Slon indický malajský (*Elephas m. hirsutus* Lydekker, 1914) – má silnější ochlupení

2.2 INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE A JEJÍ VYUŽITÍ

Pro tuto diplomovou práci je zásadní využití infračervené termografie a tedy i termovizní kamery při pozorování schopnosti termoregulace u zvířat, respektive u slona indického (*Elephas maximus*).

Infračervená termografie je metoda zahrnující přesné měření infračerveného záření vyzařovaného od pozorovaného objektu, která umožňuje, abychom mohli stanovit teplotu povrchu v souladu s relativně jednoduchými fyzikálními zákony a samotnými vlastnostmi sledovaného povrchu. Infračervená termografie má celou řadu praktických využití od aplikace v průmyslu, stavebnictví, při policejním vyšetřování až po humánní a veterinární medicínu. Jedná se o bezpečnou a neinvazivní metodu, která je využívána pro dálkový výzkum rozložení teplot na povrchu tělesa za pomoci specializovaného detektoru, tj. termovizní kamery, díky němuž je toto infračervené záření viditelné (McCafferty, 2007). Infračervená termografie je užitečným nástrojem při studiu mnoha zvířecích skupin, aniž by byly ohroženy jejich životní podmínky. Využívá se při studiu jak hospodářských zvířat, volně žijících zvířat (při detekci jejich stanoviště nebo odhadu velikosti populace), tak i pro studium zvířat v zoologických zahradách (Lavers et al., 2005).

V humánní a veterinární medicíně se využívá termovizních kamer při měření povrchové tělesné teploty, která je produktem vnitřních tkání a vnějšího povrchu těla. Teplota vnitřních tkání je ovlivňována fyziologickými procesy a to buď zvýšením, nebo snížením průtoku krve, což se odrazí na množství a intenzitě vyzařovaného infračerveného záření (Knížková et al., 2007). Cilulko et al. (2013) ve své práci uvádějí možnosti využití termovizních kamer ve veterinární diagnostice hospodářských a volně žijících zvířat. Termokamery se dají využít ke stanovení příčin kulhání, zranění končetin a zánětům. Dále se díky nim zjišťuje říje a s ní spojená gravidita a také zda daný živočišný druh žije ve vhodných životních podmínkách.

Existuje mnoho prací, které se problematikou termoregulace a využitím termovizních kamer zabývali u jiných živočišných druhů, např. Mohler a Heath (1988) zjišťovali termoregulační schopnost u králíka divokého (*Oryctolagus cuniculus*), Lancaster et al. (1997) studovali termoregulaci u kaloně egyptského (*Rousettus aegyptiacus*), Speakman a Ward (1998) popsali termoregulaci u tří druhů lišek: lišky

obecné (*Vulpes vulpes*), lišky polární (*Vulpes lagopus*) a lišky velkouché (*Vulpes macrotis*), Kuhn a Meyer (2009) studovali povrchovou teplotu těla u vydry říční (*Lutra lutra*) a vydry obrovské (*Pteronura brasiliensis*) a Tattersal a Cadena (2010) provedli komplexní studii změn tělesné teploty u různých druhů zvířat, například u tukana obrovského (*Ramphastos toco*) a u hrocha obojživelného (*Hippopotamus amphibius*). Schopností termoregulace u slona se zabývali již dříve někteří autoři v různých publikacích (Williams, 1990; Phillips a Heath, 1992; Weissenböck, 2010). Termoregulace slona indického je analyzována v samostatné kapitole 1.4.

Technika infračervené termografie má svá určitá omezení, která je nutné vzít v úvahu. Hlavními faktory, které mohou ovlivnit výsledky měření, jsou klimatické faktory, jako je sluneční záření, srážky, vliv větru nebo vlhkost okolí. Dalším faktorem ovlivňujícím výsledek měření je vzdálenost od objektu, a aby objekt nebyl za žádnou překážkou. U pozorování zvířat nesmíme opomenout i vliv přítomnosti nebo nepřítomnosti srsti nebo peří na těle objektu. Zvířata s přítomností těchto tělních povrchů nevyzařují do okolí tolik tepla jako zvířata, která mají kůži lysou nebo jen slabě pokrytou srstí nebo peřím (př.: sloni). V neposlední řadě důležitou roli, která může výsledky měření zkreslit je aktuální fyzický i fyziologický stav zvířete (např. stres, tělesná aktivita, nemoc). Všechny tyto faktory je nutné při měření zohlednit, aby byl výsledek měření co nejpřesnější (McCafferty, 2007; Cilulko et al., 2013).

2.3 SCHOPNOST TERMOREGULACE U SAVCŮ

Všechny organismy jsou schopny různou mírou a způsobem regulovat svou vnitřní tělesnou teplotu, aby si udržely relativně konstantní teplotu v malém teplotním rozmezí. Ve skutečnosti míra získávaného nebo vyrobeného tepla musí být vyvážena ztrátou tepla do okolního prostředí. Z toho vyplývá, že živočichové preferují takové rozmezí teplot (vnitřních i vnějších teplot), při kterém se nacházejí v co největší tepelné pohodě (Terrien et al., 2011).

Zvířata jsou obecně rozdělována podle způsobu udržování vnitřní tělesné teploty na ektotermní nebo endotermní. Ektotermové, dříve označované jako "chladnokrevní", jsou živočichové (bezobratlí, obojživelníci, plazi a ryby), kteří regulují svou vnitřní tělesnou teplotu externě především prostřednictvím behaviorálních mechanismů

(např. využití slunečního záření k zisku tepla). Na rozdíl od ektodermů jsou endotermní živočichové (ptáci a savci), dříve označováni jako „teplokrevní“, schopni si vnitřní teplo vytvářet sami a různými mechanismy si toto teplo udržovat v konstantním rozmezí (vyšší bazální metabolismus, izolace prostřednictvím peří, srsti nebo podkožního tuku, schopnost termoregulace) (Norris a Kunz, 2012). U endotermních živočichů se teplotní preference často spojují s pojmem termoneutrální zóna, což je rozmezí teplot, při kterých je energie vynaložená na výrobu metabolického tepla (tzv. termogeneze) a ztrátu tepla (tzv. termolýza) minimální. Jedná se tedy o rozmezí teplot, při kterých nedochází k termoregulaci. Živočichové, kteří se snaží dosáhnout termoneutrální zóny snižují teplotní rozdíl mezi okolním prostředím a organismem tím, že snižují teplotní gradient mezi vnitřním a vnějším prostředím organismu (Morgan, 1998; Romanovsky et al., 2002; Pöder, 2009).

Stanovením termoneutrální zóny a teplotních preferencí se v minulosti zabývali mnozí autoři u různých živočišných druhů jako např. Jefimow et al. (2004) u křečka zlatého (*Mesocricetus auratus*), Levesque a Tattersall (2009) u čipmanka východního (*Tamias striatus*), Song et al. (1998) u vakomyši písčité (*Sminthopsis macroura*) nebo Aujard et al. (2006) u maki trpasličí (*Microcebus murinus*). Tyto studie ukázaly, že tepelná preference se u každého druhu liší, protože energetické potřeby jsou u každého druhu jiné.

Termoregulace byla a stále je tématem intenzivního výzkumu, jehož hlavním tématem je přizpůsobení se okolnímu prostředí. Termoregulace hraje klíčovou roli při homeostáze organismu a je řízena centrálními nervovými, metabolickými, energetickými a endokrinními systémy. Homoiotermní živočichové jsou schopni udržovat vnitřní tělesnou teplotu v úzkém rozmezí a to i v poměrně širokém rozmezí teplot okolního prostředí (Kingsolver 2009; Crompton et al., 1978). Tento fyziologický proces vede k vnitřní tepelné stabilitě organismu bez ohledu na environmentální rozdíly. Pokud nastane pokles tělesné teploty organismu, nastartuje se termogeneze (př.: svalový třes), když je naopak tělesná teplota vysoká, dochází ke termolýze přebytečného tepla (př.: pocení). Endotermní živočichové se snaží udržovat izotermickou tělesnou teplotu od 35 do 42 °C. Pokud organismus není schopen udržet vnitřní tělesnou teplotu v úzkém rozmezí, tj. když dosahuje abnormálně nízkých nebo vysokých vnitřních tělesných teplot, vede to k patofyziologickým stavům (hypo- nebo hypertermii) (Terrien

et al., 2011; Narasimhan, 2008). Savci se během evoluce dokázali přizpůsobit různým klimatickým podmínkám, které se nachází v různých oblastech naší planety. Terrien et al. (2011) dále uvádějí, že vystavení organismu nízkým nebo naopak vysokým okolním teplotám je velmi stresující a hrozí tak velké nebezpečí hypo- nebo hypertermie, což může vést až k nenávratnému poškození organismu a tedy i ke smrti.

Mezi nejzákladnější faktory ovlivňující termoregulaci patří velikost, tvar těla a poměr povrchu těla k objemu. Dalšími faktory ovlivňující termoregulaci jsou barva a přítomnost srsti, místní podmínky, roční období, pohlaví a věk (Porter a Kearney, 2009; Terrien et al., 2011). U velkých živočichů dochází k pomalejšímu ochlazování těla než u menších zvířat. Důležitou roli zde hraje poměr povrchu těla k objemu, protože čím je živočich větší, tím se poměr zmenšuje a odvod tepla se snižuje (Phillips a Heath, 1992).

2.4 SCHOPNOST TERMOREGULACE U SLONA INDICKÉHO

Sloni jsou největší terestričtí homeotermní endotermní živočichové žijící v oblastech s vysokými okolními teplotami a jako zbytek velkých endotermů se museli naučit různé způsoby, jak udržovat teplotní komfort, který je velmi důležitý pro jejich přežívání. Jako ostatní endotermní živočichové získávají i sloni teplo ze svého metabolismu a externě ze slunečního záření. Naproti tomu se musí vypořádat s přebytečným teplem, jinak může dojít k přehřátí organismu až ke smrti jedince. K vypořádání se s přebytečným teplem dochází kombinací čtyř hlavních termálních cest: konvekcí, kondukcí, radiací a evaporací (Kinahan et al., 2007; Williams, 1990).

Již v minulosti se někteří autoři ve svých pracích zabývali zjišťováním schopnosti termoregulace u slonů. Ve svých výzkumech využívali různých metod ke zjišťování tělesné teploty, jako např.: použití teploměrů k měření vnitřní tělesné teploty prostřednictvím rekta sledovaného jedince (Rowe et al., 2013), použití speciálních teplotních měřičů ke zjištění vnitřní tělesné teploty v gastrointestinálním traktu (Kinahan et al., 2007; Hidden, 2009; Weissenböck et al., 2012) nebo také využití infračervené termografie ke zjištění povrchové tělesné teploty (Weissenböck et al., 2010; Rowe et al., 2013; Williams, 1990) stejně jako v této diplomové práci. Studie ukázaly, že průměrná vnitřní tělesná teplota se u slonů pohybuje okolo 36 °C

s kolísáním ± 2 °C během 24 hodin a průměrná povrchová tělesná teplota okolo 25 °C bez ohledu na regulaci vnitřního metabolického tepla.

Sloni vzhledem ke svým značným rozměrům mají malý poměr povrchu těla k objemu a tedy i malou plochu k odvodu přebytečného tepla. V minulosti převažoval názor, že kůže slonů je téměř lysá. Ve skutečnosti je řídice pokryta štětinatými chlupy o různé délce a hustotě, což má za následek to, že sloní tělo není dostatečně chráněno před přímým vlivem slunečního záření. U rodu *Elephas* je tělo pokryto chlupy hustěji než u jedinců rodu *Loxodonta*. Také existuje rozdíl mezi hustotou pokryvu u dospělých jedinců a mláďat: mláďata mají chlupů více (Altrichter, 2011). Dalším limitujícím faktorem je minimum potních a mazových žláz, takže se sloni nemohou přebytečného tepla zbavovat pocením, jako např. člověk. (Phillips a Heath, 1992; Wright a Luck, 1984; Feldhamer et al., 1999 in Vanitha a Baskaran, 2010).

Základními behaviorálními způsoby ochlazování jsou koupání, válení se v blátě či písku, pohazování písku po těle nebo aktivní vyhledávání stínu (Phillips a Heath, 1992; Ress, 2002). I přes to, že u slonů nedochází k ochlazování pomocí pocení, naučili se využívat svou kůži, která je sice silná, ale i vysoce propustná pro vodu, pro ochlazování pomocí pasivní difuze vody přes kůži a prostřednictvím dýchacích cest (Wright a Luck, 1984; Dunkin et al., 2013). Tento způsob je však velmi závislý na dostupnosti vody z prostředí (Hetem et al., 2012). Když je voda k dispozici mohou sloni využívat odpařování k ochlazování těla. Nicméně v teplém a suchém prostředí, kde je dostupnost vody omezená, mohou sloni čelit dehydrataci nebo hypertermii, což může vést až ke smrti.

Dále někteří autoři uvádějí, že sloni využívají k rozptylu přebytečného tepla i jejich velké a vysoce vaskularizované ušní boltce sloužící jako tepelná okna. Tyto ušní boltce mají velký poměr povrchové plochy k objemu ve srovnání se zbytkem těla a z tohoto důvodu se předpokládá, že právě sloní uši jsou hlavním termoregulačním orgánem (Phillips a Heath, 1992; Weissenböck et al., 2010). Při teplotách okolního prostředí nižších než je vnitřní tělesná teplota jsou savci a tedy i sloni schopni regulovat tepelné výměny změnou periferního průtoku krve a tím i teploty pokožky v reakci na měnící se klimatické podmínky (Phillips a Heath, 1995). Wright (1984) ve své studii, prováděné na slonech afrických, uvádí, že podstatnou oblastí tepelných ztrát u sledovaných slonů byly právě uši, přičemž zdůrazňuje, že máváním ušními boltci

se velikost těchto ztrát zvyšuje. Rozložení teplot uvnitř ušních boltců se mění vlivem teploty okolního prostředí, která na jedince působí a přítomností specializovaných oblastí, kterými se odvod přebytečného tepla uskutečňuje.

Tato diplomová práce by měla objasnit, zda jsou ušní boltce pro slony opravdu tak důležitými orgány a do jaké míry se na termoregulaci podílejí.

3 CÍL PRÁCE

Cílem předložené diplomové práce je vyhodnocení schopnosti termoregulace u slona indického chovaného ve vybraných zoologických zahradách v České republice během různých teplotních podmínek okolního prostředí.

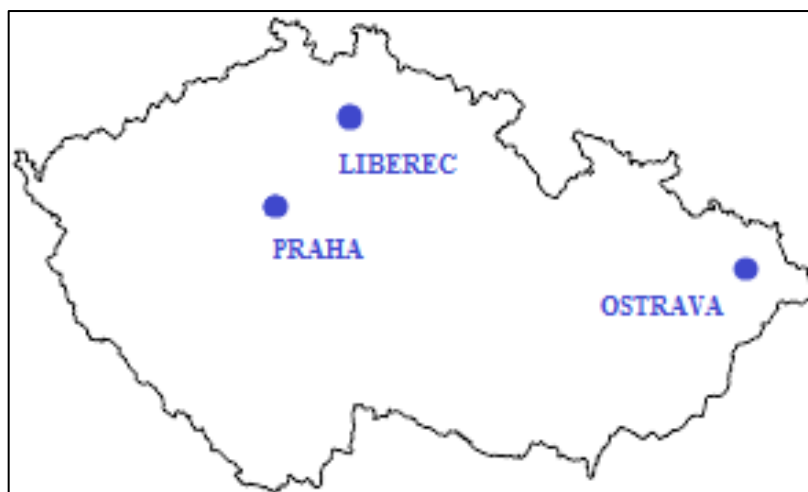
Díličními cíli této diplomové práce bylo:

- Vypracovat literární přehled k termoregulaci a příbuzným tématům.
- Prokázat, zda jsou uši u slona indického hlavním termoregulačním orgánem.
- Zjistit jaká je termoneutrální zóna u slona indického.
- Porovnat teploty těla u mláďat a dospělých jedinců.

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 SBĚR DAT

Sběr dat probíhal ve třech vybraných zoologických zahradách v České republice, kde chovají slona indického, jmenovitě zoologická zahrada Praha, zoologická zahrada Ostrava a zoologická zahrada Liberec (obrázek č. 2). Focení probíhalo ve vnějším i vnitřním prostoru pavilonu, a proto mi při sběru dat pomáhal vedoucí práce pan Ing. Jiří Bezdíček, Ph.D i zaměstnanci zoologických zahrad, kteří mají se zvířaty své osobní zkušenosti. Jejich pomoc byla zvláště potřebná při pořizování dat ve vnitřních prostorách, kde bylo málo volného prostoru a zvíře se muselo nastavit do vhodné polohy pro pořízení snímku. Asistence zaměstnanců zoologických zahrad byla potřebná i z důvodu bezpečnosti.



Obrázek 2: Mapa České republiky se zaznačením zoologických zahrad zapojených do výzkumu

4.1.1 Zoologická zahrada Praha

Zoologická zahrada hl. města Prahy se nachází v členitém terénu městské části Trója. Jedná se o Zoo s celkovou rozlohou skoro 60 ha. Poprvé byla veřejnosti otevřená v roce 1931. Snahou zahrady je vytvořit výběhy, které budou co nejvíce připomínat přirozené podmínky, ve kterých zvířata žijí ve volné přírodě. V pražské Zoo bylo k 31. prosinci 2015 chováno 4716 zvířat v 681 druzích a celkem se podařilo odchovat 1042 mláďat 193 druhů. V roce 2015 činila návštěvnost pražské Zoo

1 318 382 návštěvníků, což je rekordně třetí nejvyšší návštěvností této Zoo (<https://www.zoopraha.cz/vse-o-zoo/historie/42-strucna-historie-prazske-zoo>; Výroční zpráva Zoo Praha z roku 2015).

Zoo Praha se chovu slonů věnuje již od roku 1933, kdy do zdejší Zoo přišel první slon indický. V průběhu existence zoologické zahrady se zde postupně vystřídali jak sloni indiští, afričtí, tak dokonce i jeden slon pralesní. V dnešní době se zoologická zahrada Praha věnuje jen chovu slona indického. V březnu 2013 byl pro veřejnost otevřen nový komplex Údolí slonů v horní části Zoo. Během výzkumu zde bylo celkem devět jedinců (tabulka č. 1), v současnosti se zde nachází pouze sedm slonů (dvě samice byly přesunuty do německé zoologické zahrady v Osnabrücku). Během výzkumu se zde narodila dvě mláďata – samci Max a Rudi, která byla do výzkumu taktéž zahrnuta (<https://www.zoopraha.cz/vse-o-zoo/historie/42-strucna-historie-prazske-zoo>).

Tabulka 1: *Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Praha ke dni 28. února 2017*

	Dospělý samec	Dospělá samice	Mláďě samec	Mláďě samice
Počet jedinců	1	5	2	1

4.1.2 Zoologická zahrada Ostrava

Zoologická zahrada Ostrava byla založena v roce 1951 v Ostravě - Kunčičkách, odkud byla v roce 1960 přestěhována do Stromovky. Zoologická zahrada se rozkládá se na ploše téměř 100 ha listnatého lesa s rybníky a členitým terénem. Svou rozlohou je druhou největší zoologickou zahradou v České republice. Během roku 2015 navštívilo tuto zoologickou zahradu 490 145 návštěvníků. V ostravské Zoo bylo k 31. prosinci 2015 chováno 3862 zvířat v 421 druzích a celkem se podařilo odchovat 846 mláďat 118 druhů zvířat (<http://www.zoo-ostrava.cz/cz/zoo/historie/>; Výroční zpráva Zoo Ostrava z roku 2015).

První slon indický, který zažil jak provizorní dřevěnou ubikaci v Kunčičkách, tak i první sloní pavilon z roku 1962 v ostravské Stromovce, byl do ostravské Zoo převezen v roce 1956 ze Zoo Praha. Ze stejné Zoo byl v roce 1965 přivezen samec slona

afrického, jediný zástupce tohoto druhu chovaný v ostravské Zoo. V roce 2004, kdy po čtrnáctileté pauze došlo k návratu slonů do Zoo Ostrava, byl otevřen nový pavilon pro slony. V současnosti se zde nachází 4 jedinci slona indického (tabulka č. 2), kteří byli zapojeni do mého sledování (<http://www.zoo-ostrava.cz/cz/expozice-zvirata/slondeni/16-15-2-2011-historie-chovu-slonu-v-ostravske-zoo/>).

Tabulka 2: *Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Ostrava ke dni 28. února 2017*

	Dospělý samec	Dospělá samice	Mládě samec	Mládě samice
Počet jedinců	0	3	0	1

4.1.3 Zoologická zahrada Liberec

Zoologická zahrada v Liberci je nejstarší zoologickou zahradou v České republice, byla založena již v roce 1919 v Lidových sadech. Rozloha zoologické zahrady činní okolo 14 ha. V liberecké Zoo bylo k 31. prosinci 2015 chováno 843 zvířat ve 160 druzích a celkem se podařilo odchovat 90 mláďat 34 druhů zvířat. Návštěvnost během roku 2015 činila 326 979 návštěvníků (<http://www.zooliberec.cz/kratka-historie-zoo.html>; <http://www.zooliberec.cz/>; Výroční zpráva Zoo Liberec z roku 2015).

Prvního slona indického se liberecká Zoo dočkala v roce 1958. Stejně jako ostravská Zoo, i zde v minulosti chovali jeden exemplář slona afrického, samici, která byla přivezena ze zoologické zahrady ve Dvoře Králové. Současný pavilon slonů byl v zoologické zahradě zbudován v roce 1972 a v současnosti se zde nacházejí 2 jedinci (tabulka č. 3), kteří byli zahrnuti do výzkumu (<http://old.zooliberec.cz/cz/55-let-chovu-slonu-v-zoo-liberec-1958-2013>).

Tabulka 3: *Přehled dospělých jedinců a mláďat různého pohlaví u slona indického chovaného v Zoo Liberec ke dni 28. února 2017*

	Dospělý samec	Dospělá samice	Mládě samec	Mládě samice
Počet jedinců	0	2	0	0

Celkem bylo do výzkumu zahrnuto 15 jedinců slona indického různého pohlaví i věku (tabulka č. 4). Sběr dat probíhal v průběhu roku 2016 a 2017 při různých teplotách okolního prostředí.

Tabulka 4: *Sumární tabulka všech jedinců slona indického chovaných ve vybraných Zoo v České republice se základními informacemi ke dni 28. února 2017*

	Pohlaví	Mládě/dospělý jedinec	Rok narození	Zoo¹
Ankhor	Samec	Dospělý jedinec	1983	Praha
Donna	Samice	Dospělý jedinec	1987	Praha
Sita	Samice	Mládě	2013	Praha
Tamara	Samice	Dospělý jedinec	2005	Praha
Janita	Samice	Dospělý jedinec	2004	Praha
Gulab	Samice	Dospělý jedinec	1959	Praha
Shanti	Samice	Dospělý jedinec	1976	Praha
Max	Samec	Mládě	2016	Praha
Rudi	Samec	Mládě	2016	Praha
Rashmi	Samice	Mládě	2011	Ostrava
Vishesh	Samice	Dospělý jedinec	1997	Ostrava
Johti	Samice	Dospělý jedinec	1968	Ostrava
Sussela	Samice	Dospělý jedinec	1961	Ostrava
Rání	Samice	Dospělý jedinec	1963	Liberec
Balu	Samice	Dospělý jedinec	1984	Liberec

¹ Zoo = místo pobytu, konkrétní zoologická zahrada, kde se daný jedinec slona indického během výzkumu nacházel

4.2 TERMOVIZNÍ KAMERA FLIR T620

Pro tuto studii byla použita profesionální termovizní kamera s označením FLIR T620 (obrázek č. 3). Specializované termovizní kamery vytvářejí termovizní snímky, tzv. termogramy, na kterých je možné zaznamenat kolísání teploty povrchu daného objektu tak, že se na termogramu zaznamená množství vyzářeného infračerveného záření od daného objektu v různě barevném zastoupení. Získané termogramy mohou být dále analyzovány pomocí vhodného softwaru k měření teplotních hodnot v dané oblasti objektu (McCafferty, 2007; Garner et al., 1995).

Model termovizní kamery FLIR T620 je vybaven detektorem s rozlišením 640 x 480 pixelů a frekvencí opakování obrazu 30 Hz. Teplotní rozmezí, které je tato termovizní kamera schopna zaznamenat je od - 40 °C do + 650 °C s přesností ± 2 °C a tepelnou citlivostí $< 0,04$ °C.

Předností této termovizní kamery je ergonomický tvar a velký 4,3“ dotykový LCD displej. Termokamera je také vybavena integrovaným standardním 5 MPx digitálním fotoaparátem. Fotografie pořízené tímto fotoaparátem je následně možné porovnávat s termogramy. Termovizní kamera je taktéž vybavena LED diodou, díky které je možné pořizovat fotografie i v místech s nedostatečným osvětlením. Další vlastností je automatické i manuální zaostření obrazu, s minimální zaostřovací vzdáleností 25 cm.

Dlouhá výdrž baterie (až 2,5 h) nám umožní získat mnoha dat. Termogramy se zaznamenávají na přiloženou SD kartu v klasickém JPEG formátu i se získanými daty, vhodném pro pozdější analýzu v doporučeném PC programu. Další funkcí termokamery FLIR T620 je zaznamenání videa ve formátu MPEG4. Termokameru je možné propojit s PC pomocí USB nebo HDMI kabelu, další výhodou je schopnosti využití bezdrátové komunikace přes Wi-Fi nebo Bluetooth (<http://www.trinstruments.cz/t620#&panel1-1/>).



Obrázek 3: Termovizní kamera FLIR T620

4.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

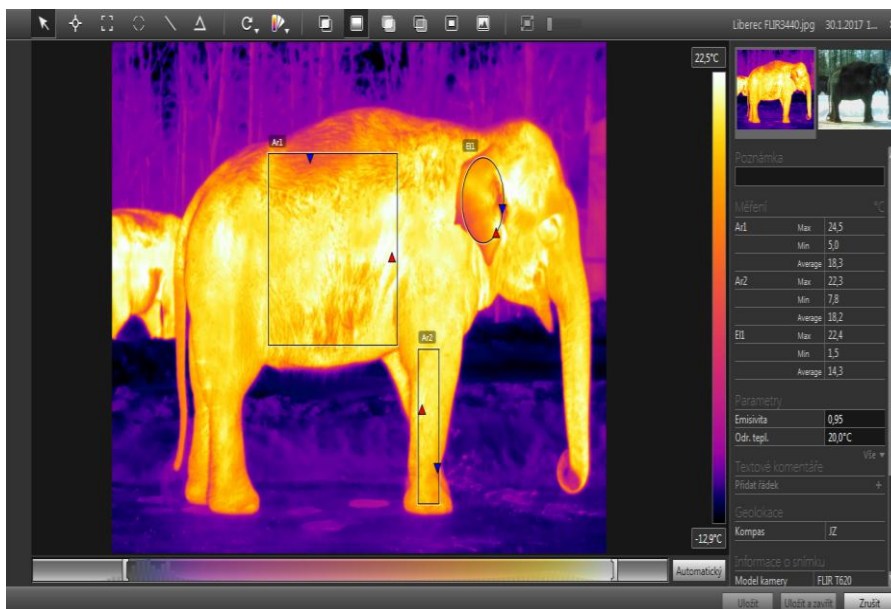
4.3.1 Software FLIR Tools

Zpracování získaných snímků proběhlo v PC softwaru FLIR Tools, který je k těmto termovizním kamerám dodáván jako základní příslušenství. Díky tomuto softwaru se dají získané snímky dále editovat, vytvářet jednoduché protokoly i aktualizovat firmware termokamery.

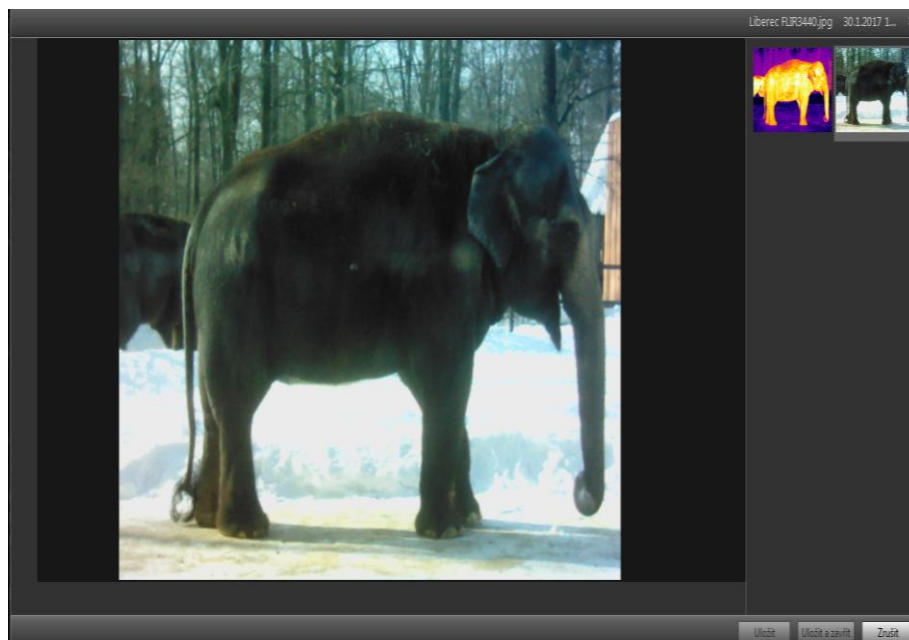
V režimu editace jsme schopni ze snímku zjistit základní informace, jako jsou datum pořízení snímku, typ použité termovizní kamery nebo datum poslední úpravy snímku. V softwaru můžeme přidávat libovolný počet měřících bodů a oblastí (obdélníky, elipsy) včetně zobrazení průměrných, maximálních a minimálních teplot v těchto bodech nebo dále editovat všechny parametry měření (emisivitu, odraženou teplotou, vzdálenost, teplotu a vlhkost atmosféry). Další možností je zpracování snímků v různých teplotních jednotkách (Celsius, Kelvin, Fahrenheit).

Tento software nám umožňuje zobrazení pořízeného snímku v reálné digitální podobě, pokud byla pořízena spolu s termogramem. Provedené změny lze samozřejmě ukládat pro následné zpracování, buď do již existujícího snímku, nebo jako snímek nový (<http://www.termokamery-flir.cz/software-flir-tools/>).

Na následujících obrázcích lze vidět pořízený termogram (obrázek č. 4) i s reálnou digitální podobou (obrázek č. 5), které jsou zobrazené v softwaru FLIR Tools. Na obrázku č. 4 lze nalézt panel s nástroji pro úpravu, kdežto při přepnutí do reálné digitální podoby snímku (obrázek č. 5) o tuto možnost úprav přijdeme.



Obrázek 4: Termogram samice slona indického zobrazený v softwaru FLIR Tools



Obrázek 5: Snímek samice slona indického v reálné digitální podobě zobrazený v softwaru FLIR Tools

4.3.2 Statistické zpracování dat

Statistické zpracování dat bylo provedeno v programu STATISTICA (verze 12, 2013). Mojí snahou v rámci této diplomové práce bylo prokázat tři stanovené cíle:

- prokázat, zda existují mezi jednotlivými částmi těla rozdílné teploty
- prokázat, zda je rozdíl v reakci různých částí těla na teplotu vnějšího prostředí, včetně stanovení termoneutrální zóny
- zjistit, zda je rozdíl teploty těla mezi mláďetem a dospělým jedincem.

K analýze těchto cílů výpočtu jsem použila různé statistické metody. Pro zjištění, zda mezi jednotlivými částmi těla slona indického existují rozdílné hodnoty teplot (°C, Kelvin), jsem použila dvoucestnou analýzu rozptylu (two-way ANOVA – analysis of variance) bez opakování. Tato metoda se také nazývá dvoufaktorová ANOVA (two-factor ANOVA) nebo také ANOVA dvojného třídění. Při tomto statistickém zpracování byl zohledněn vliv efektu „část těla“ a efektu „jedinec“, které mohou při zjišťování teplotního rozdílu hrát různou roli. Modelem této konkrétní dvoucestné analýzy rozptylu je:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \text{ kde}$$

μ = průměrná hodnota zkoumané vlastnosti

α_i = vliv i-té úrovně části těla (trup, končetiny, ucho)

β_j = vliv j-tého jedince

ε_{ij} = vliv náhodné veličiny

y_{ij} = hodnota empirického pozorování.

Obecným pravidlem statistického zpracování dat uvedenou analýzou je nutnost kontroly dat z pohledu jejich homogenity rozptylů. To bylo provedeno testem Cochran-

Hartley-Bartlett. Pro vyhodnocení vhodnosti modelu byly také použity reziduály (viz. kapitola Výsledky), což ukázalo vhodnost statistického zpracování.

Další cíl, který mě zajímal, bylo zjistit, zda existuje regresní vztah mezi teplotou okolního prostředí a teplotou jednotlivých částí těla. V tomto případě jsem použila regresní analýzu získaných dat, za použití regresních koeficientů. S tímto bodem souviselo i zjištění termoneutrální zóny pro slona indického. Zde jsem stanovila regresní rovnici pro jednotlivé části těla ze všech sledování.

Při posledním bodu mého výpočtu, kde jsem zjišťovala rozdíl v teplotě těla mezi dospělými jedinci a mláďaty slona indického jsem použila ANOVA test s opakováním bez interakce. V tomto případě byly zohledněny vlivy efektu „zoologické zahrady“ a vliv efektu „dospělý jedinec / mláďe“.

Vzhledem k tomu, že manipulace s termovizní kamerou je velmi jednoduchá a díky tomu, že jsem vybrané zoologické zahrady navštívila několikrát během roku 2016 a 2017 při různých teplotách okolního prostředí (teplota okolního prostředí se pohybovala od - 5 °C do + 29 °C), získala jsem velmi rozsáhlou databázi snímků. Vždy jsem si musela zaznamenat, který jedinec byl na daném snímku zaznamenán a při jaké teplotě okolního prostředí byl snímek pořízen. Pořízené termogramy jsem následně vyselektovala podle předem daných kritérií (snímky musely být kvalitní, zvíře nebylo za překážkou, všechny zkoumané části těla byly dobře viditelné, atd.). Po této selekci mi v databázi zůstalo 504 termogramů, které jsem následně zpracovala v softwaru FLIR Tools. V tomto softwaru jsem z jednotlivých termogramů zjistila průměrnou teplotu každé vybrané části těla při dané teplotě okolního prostředí.

5 VÝSLEDKY

Statistické zpracování získaných dat probíhalo na několika úrovních výpočtů (1. prokázání, zda jsou uši termoregulačním orgánem; 2. jaký je vztah teploty vnějšího prostředí k teplotě těla vč. stanovení termoneutralní zóny; 3. zda je rozdílná teplota těla u mláďat vs. dospělá zvířata). Metodika výpočtu odpovídala jeho cíli a je uvedena v kapitole Materiál a metody. Výpočty byly prováděny ve °C, ale jelikož se nejedná o oficiální jednotku SI, byly nejdůležitější výpočty přepočítány také na Kelviny. Proto mají některé tabulky (konkrétně tabulka č. 5, 10 a 20) dvojí charakter, tj. pro °C (např. tabulka č. 5) a pro Kelviny (např. tabulka č. 6).

Úvodní tabulky č. 5, 6 a 7 mají informativní doplňující charakter o souboru studovaných dat. V tabulkách č. 5 a 6 jsou uvedeny základní statistické charakteristiky, které byly použity u 67 datových souborů. Tato čísla jsou průměrem ze získaných dat ze všech termogramů při stejných podmínkách u každého jedince. Tento krok byl proveden z důvodu eliminace vzniku náhodných chyb, které mohly nastat při měření nebo zpracování snímků. Z tabulky č. 5 je také zřejmý rozsah měřených teplot okolního prostředí, které se pohybovaly od - 5 °C do + 29 °C.

Tabulka 5: *Základní statistické charakteristiky souboru teplot vybraných částí těla u slona indického a teploty okolního prostředí (ve °C)*

	Počet	Teplota Průměr	Teplota min	Teplota max	Teplota Std.Err.
Ucho	67	24,01	7,17	34,43	6,94
Trup	67	28,32	16,03	35,17	4,73
Končetiny	67	27,22	15,70	34,13	4,88
Teplota okolního prostředí	67	19,48	- 5,00	29,00	10,39

Tabulka 6: *Základní statistické charakteristiky souboru teplot vybraných částí těla u slona indického a teploty okolního prostředí (v Kelvinech)*

	Počet	Teplota Průměr	Teplota min	Teplota max	Teplota Std. Err.
Ucho	67	297,16	280,32	307,58	6,94
Trup	67	301,47	289,18	308,32	4,73
Končetiny	67	300,37	288,85	307,28	4,88
Teplota okolního prostředí	67	292,63	268,15	302,15	10,39

Následující tabulka č. 7 uvádí zjištěné průměrné hodnoty teploty částí těla podle konkrétního sledovaného jedince. Přestože se jedná pouze o úvodní, základní statistiku, již zde můžeme sledovat tendenci, která byla rozpracována v další části výpočtů, tedy velmi podobné průměrné teploty trupu a končetin a částečně rozdílné teploty uší. Tyto rozdíly byly analyzovány v další části se zohledněním vybraných efektů (teplota vnějšího prostředí, atd.).

Tabulka 7: Souhrnná tabulka zjištěných průměrných hodnot teploty (ve °C) u každého sledovaného jedince slona indického

	ucho	trup	končetiny
Ankhor	18,49	24,28	24,74
Donna	20,02	24,87	23,35
Sita	24,43	27,15	26,07
Tamara	21,89	26,42	25,08
Janita	19,14	24,76	22,76
Gulab	18,80	23,97	22,15
Shanti	18,90	23,90	22,10
Max	22,68	27,00	25,60
Rudi	23,02	28,07	25,76
Rashmi	27,77	31,34	30,01
Vishesh	25,03	29,79	28,86
Johti	25,94	30,24	29,39
Sussela	26,29	30,17	29,74
Rání	19,57	24,63	23,13
Balu	20,48	21,67	21,50
Průměrná teplota všech jedinců:	22,16	26,55	23,35

Cílem prvního okruhu analýz bylo zjistit, zda existují teplotní rozdíly mezi zkoumanými částmi těla (trup, ucho a končetiny). Nejprve jsem použitím testu homogenity rozptylů (Cochran-Hartley-Bartlett test) pro testované soubory dat (tabulka č. 8 a 9) zjistila, že rozptyly jsou homogenní, tedy je mezi nimi neprůkazný rozdíl, protože vypočítaná hladina významnosti je v obou případech vyšší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Výsledky prokazují homogenitu souborů a tak jejich vhodnost pro další zpracování. Pro diagnostiku modelu byly také použity reziduály (graf č. 1), které ukázaly symetrické rozložení dat kolem osy X, což opět ukazuje vhodnost pro

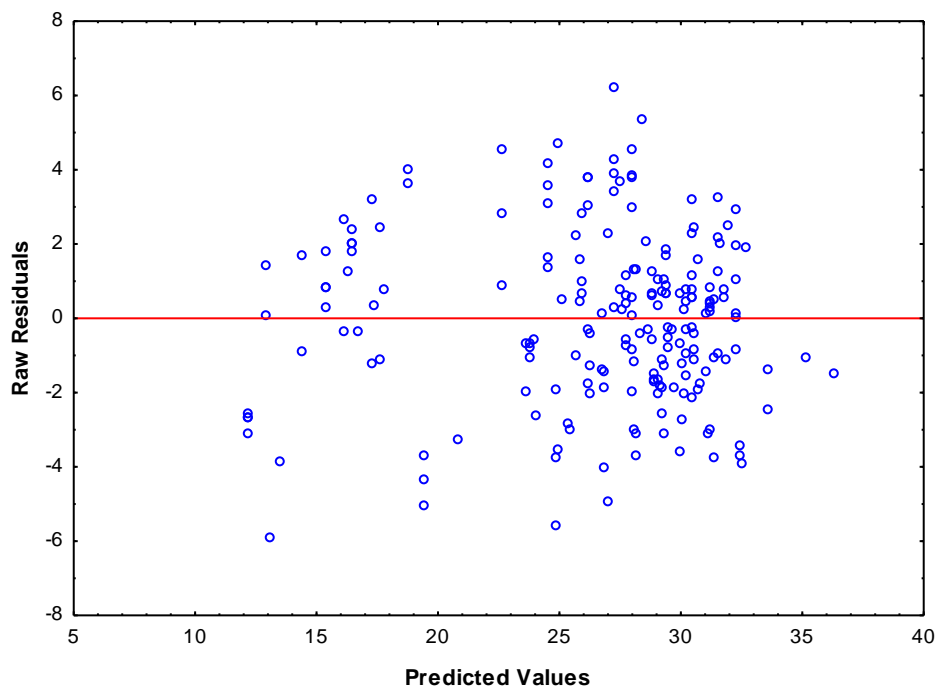
další statistické zpracování v rámci GLM analýzy. Základní výsledky použitého modelu jsou zřejmé z tabulky č. 10.

Tabulka 8: *Test homogeneity pro efekt „část těla“ (pro °C)*

	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	df	p
teplota	1,18	0,36	0,09	2	0,954927

Tabulka 9: *Test homogeneity pro efekt „jedinec“ (pro °C)*

	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	df	p
teplota	29,62	0,14	4,78	14	0,988649



Graf 1: *Rozdělení hodnot reziduálů*

Tabulka 10: *Univariate Tests of Significance for "Teplota těla" (pro °C)*

	SS	df	MS	F	p
intercept	27425,91	1	27425,91	50283,76	0,000000
Část těla	154,27	2	77,13	141,42	0,000000
Jedinec	358,10	14	25,58	46,90	0,000000
Error	15,27	28	0,55		

Tabulky č. 11 a 12 ukazují zjištěné průměrné hodnoty teploty tří částí těla při zohlednění efektu jedince (GLM metoda). Následující tabulka č. 13 potom vyjadřuje průkaznost rozdílů mezi těmito hodnotami (metoda Tukey HSD test). Tyto výsledky ukázaly vysoce průkazně nižší teplotu u uší (22,16 °C) slona indického než byla teplota jeho trupu (26,55 °C) eventuelně také končetin (25,35 °C). Tyto rozdíly jsou zřejmé také z grafického vyjádření v grafu č. 2. Přitom se jedná o výsledky, které zahrnují průměrné teploty těla u všech sledovaných 15 slonů indických. Přestože byl zjištěn průkazný rozdíl také mezi teplotou trupu a končetin, nebyly tyto hodnoty tak výrazně rozdílné (26,55 vs. 25,35 °C), jako tomu bylo v případě uší, kde byl rozdíl těchto teplot až více jak 4 °C. Uvedená analýza tak prokázala, vysoce průkazný rozdíl v teplotě uší, oproti jiným částem těla.

Tabulka 11: *Zjištěné průměrné (LSM) hodnoty teploty (ve °C) tří částí těla při zohlednění efektu jedince*

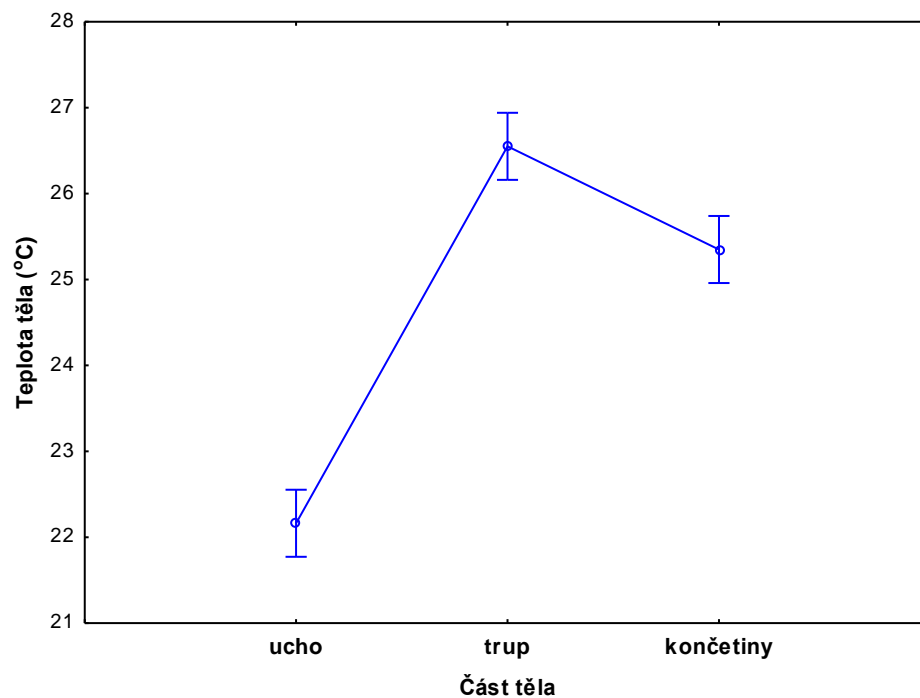
	Teplota těla Průměr	Teplota těla Std. Err.	N
Ucho	22,16	0,19	15
Trup	26,55	0,19	15
Končetiny	25,35	0,19	15

Tabulka 12: Zjištěné průměrné (LSM) hodnoty teploty (v Kelvinech) tří částí těla při zohlednění efektu jedince

	Teplota těla Průměr	Teplota těla Std. Err.	N
Ucho	295,31	0,19	15
Trup	299,70	0,19	15
Končetiny	298,50	0,19	15

Tabulka 13: Post-hoc Tukey SDH test průkaznosti rozdílů teplot různých částí těla (pro °C)

	{1} 22,16	{2} 26,55	{3} 25,35
Ucho		0,000125	0,000125
Trup	0,000125		0,000458
Končetiny	0,000125	0,000458	



Graf 2: Porovnání získaných teplot (°C) jednotlivých částí těla u slona indického

Dalším krokem bylo zjistit, jak jednotlivé části těla reagují na teplotu okolního prostředí, tedy jestli existuje regresní vztah mezi teplotou části těla a okolní teplotou. V následující tabulce č. 14 jsou uvedeny vstupní hodnoty (jednotlivé regresní koeficienty) pro konkrétního zkoumané jedince a jeho částí těla. Do této studie bylo zahrnuto deset jedinců. Z této tabulky (č. 14) můžeme vidět obecnou tendenci nižších regresních koeficientů pro končetiny a trup, tedy nižší závislost těchto částí těla na teplotě vnějšího prostředí. Tato tendence byla potvrzena také v následujících GLM analýzách. GLM analýze předcházela test homogenity sledovaných souborů regresních koeficientů, kde jsem zjistila, že variance mezi skupinami se neliší, jsou tedy homogenní (tabulka č. 15 a 16). To tedy umožňuje následné statistické testování.

Tabulka 14: *Tabulka regresních koeficientů b_{xy} (teplota části těla x teplota okolí) (pro °C)*

	ucho	trup	končetiny
Ankhor	0,64	0,38	0,41
Donna	0,64	0,37	0,42
Tamara	0,70	0,45	0,50
Janita	0,56	0,34	0,41
Max	0,38	0,25	0,32
Rudi	0,54	0,33	0,53
Rashmi	0,83	0,44	0,43
Vishesh	0,81	0,56	0,43
Johti	0,79	0,46	0,22
Sussela	1,05	0,63	0,28

Tabulka 15: *Test homogeneity pro efekt „část těla“ (pro °C)*

	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	df	p
b_{xy}	3,84	0,62	4,55	2	0,102874

Tabulka 16: *Test homogeneity pro efekt „jedinec“ (pro °C)*

	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-Sqr.	df	p
b_{xy}	36,47	0,37	8,15	9	0,519390

V tabulce č. 18 jsou uvedeny průměrné (LSM) regresní koeficienty, vyjadřující vztah mezi teplotou konkrétní částí těla a teplotou vnějšího prostředí. Následující tabulka č. 19 a také tabulka č. 17 prezentuje statistickou průkaznost mezi hodnotami (Tukey HSD test).

Tabulka 17: *Univariate Tests of Significance for regresní koeficienty (b_{xy}) (pro °C)*

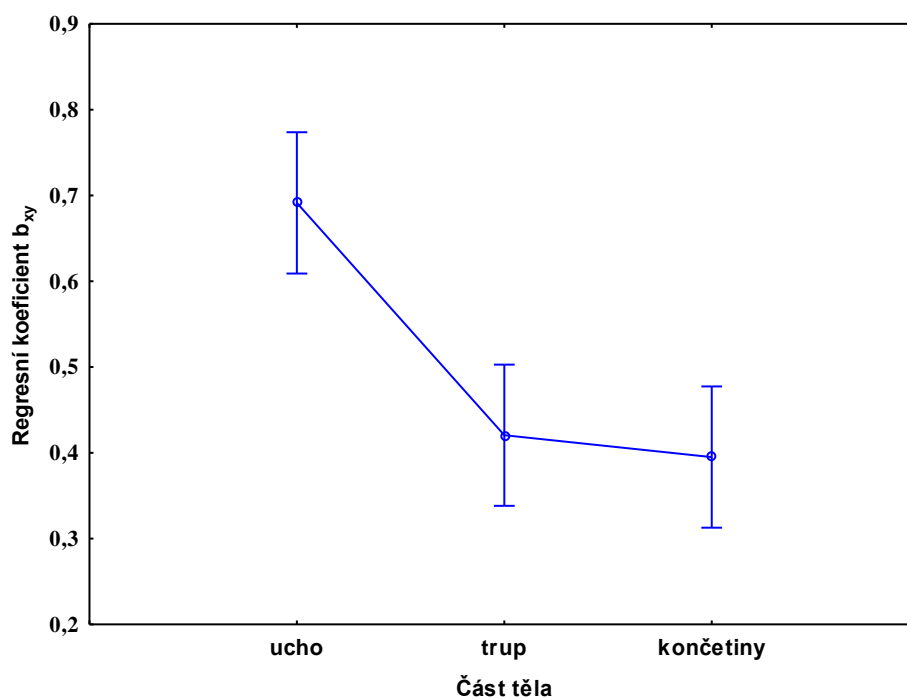
	SS	df	MS	F	p
intercept	7,57	1	7,57	492,82	0,000000
Část těla	0,54	2	0,27	17,56	0,000059
Jedinec	0,24	9	0,02	1,76	0,146351
Error	0,28	18	0,02		

Tabulka 18: *Zjištěné průměrné (LSM) regresní koeficienty, vyjadřující vztah mezi teplotou konkrétní částí těla a teplotou vnějšího prostředí (pro °C)*

	b_{xy} Průměr	b_{xy} Std. Err.	N
Ucho	0,70	0,04	10
Trup	0,42	0,04	10
Končetiny	0,40	0,04	10

Tabulka 19: *Post-hoc Tukey SDH test průkaznosti rozdílů teplot různých částí těla (pro °C)*

	{1} 0,70	{2} 0,42	{3} 0,40
Ucho		0,000452	0,000255
Trup	0,000452		0,890870
Končetiny	0,000255	0,890870	



Graf 3: *Zobrazení regresního vztahu jednotlivých částí těla k teplotě okolního prostředí (°C)*

Z výsledků uvedených v tabulce č. 18 vyplývá, že jednotlivé části těla reagují rozdílně na teplotu vnějšího prostředí. Ucho má statisticky průkazně vyšší regresní koeficienty než končetiny a trup. Dá se tedy říci, že na teplotu vnějšího prostředí reagují u slona indického nejvíce uši (mají vysoce průkazné rozdíly oproti ostatním částem těla). Z tohoto důvodu můžeme uši označit jako hlavní termoregulační orgán. Tato tendence je velmi dobře zřejmá také z grafu č. 3.

Vzhledem k tomuto výsledku se nabízí otázka, při jaké teplotě okolního prostředí již nedochází k termoregulaci, jinými slovy, kdy je rozdíl mezi teplotou uší

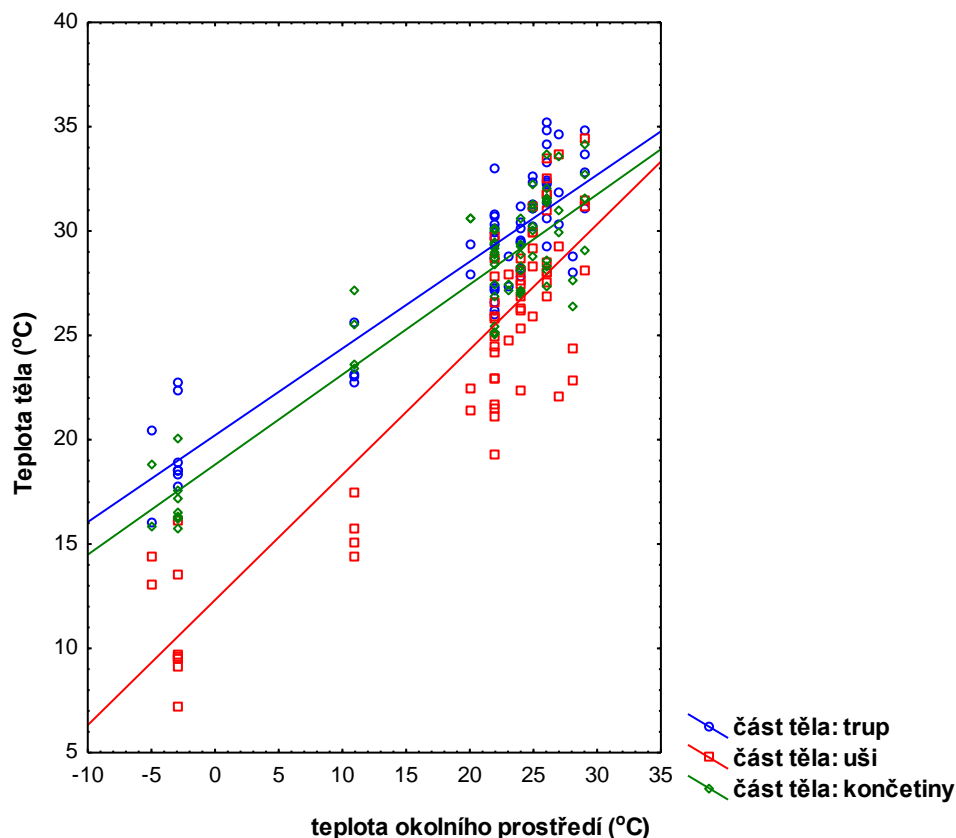
a okolním prostředí nejmenší. Určení termoneutrální zóny jsem dosáhla stanovením regresní rovnice pro jednotlivé části těla ze všech sledování. Tyto rovnice měly podobu:

- regresní rovnice pro teplotu trupu = $20,2148 + 0,4161x$
- regresní rovnice pro teplotu uší = $12,3227 + 0,6001x$
- regresní rovnice pro teplotu končetin = $18,8096 + 0,4317x$.

Tyto rovnice jsem použila pro výpočet odhadu teploty těla v závislosti na teplotě prostředí. Pro zvolenou teplotu vnějšího prostředí 30 °C; 15 °C a 0 °C jsou výsledky uvedené v tabulce č. 20. Tyto výsledky ukazují, že při teplotě nula a 15 °C reagují uši slona na teplotu vnějšího prostředí, zatímco při teplotě kolem 30 °C se regulace teploty prostřednictvím uší zastavuje. Tuto teplotu tak můžeme u slona indického označit jako termoneutrální zónu. Tyto závěry z tabulky č. 20 jsou také v relaci s grafickým vyjádřením uvedených regresních závislostí v grafu č. 4. Tento graf ukazuje, že ušní boltce u sledovaných jedinců slona indického přestávají reagovat na teplotu okolního prostředí, která se pohybuje v rozmezí 28 – 30 °C. Tato teplota se tedy dá označit za termoneutrální zónu, při které se slon indický cítí nejlépe a nejlépe prospívá.

Tabulka 20: *Odhadované teploty jednotlivých částí těla slona indického vypočítaných z regresních rovnic (ve °C)*

příklad teploty	odhadovaná teplota	odhadovaná teplota	Odhadovaná teplota
okolí	uší	trupu	končetin
0 °C	12,32	20,21	18,81
15 °C	21,32	26,46	25,29
30 °C	30,33	32,70	31,76



Graf 4: Bodový graf regresního vztahu mezi teplotou (°C) okolního prostředí a jednotlivých částí těla pro zjištění termoneutrální zóny slona indického

V neposlední řadě mě zajímalo, zda se liší teplota těla u mláďat a dospělých jedinců slona indického. Do této části studie byly zahrnuty jen zoologické zahrady, kde se nacházela mláďata i dospělci, tedy Zoo Praha a Zoo Ostrava. Porovnávala jsem získaná data z oblasti trupu, protože zde dochází k minimálnímu teplotnímu kolísání. Součástí analýzy bylo zohlednění efektu Zoo (Ostrava; Praha). Opět bylo podstatné zjistit průkaznost jednotlivých efektů (tabulka č. 21, 22, 23 a 24).

Tabulka 21: Univariate Tests of Significance for trup (pro °C)

	SS	df	MS	F	p
intercept	7645,80	1	7645,80	12236,29	0,000000
Zoo	68,17	1	68,17	109,10	0,000001
Dospělci/mláďata	14,75	1	14,75	23,61	0,000663
Error	6,25	10	0,63		

Tabulka 22: Zjištěné průměrné korelace (LSM hodnoty) pro efekt „dospělí jedinci/mlád'ata“ vzhledem k teplotám trupu (ve °C)

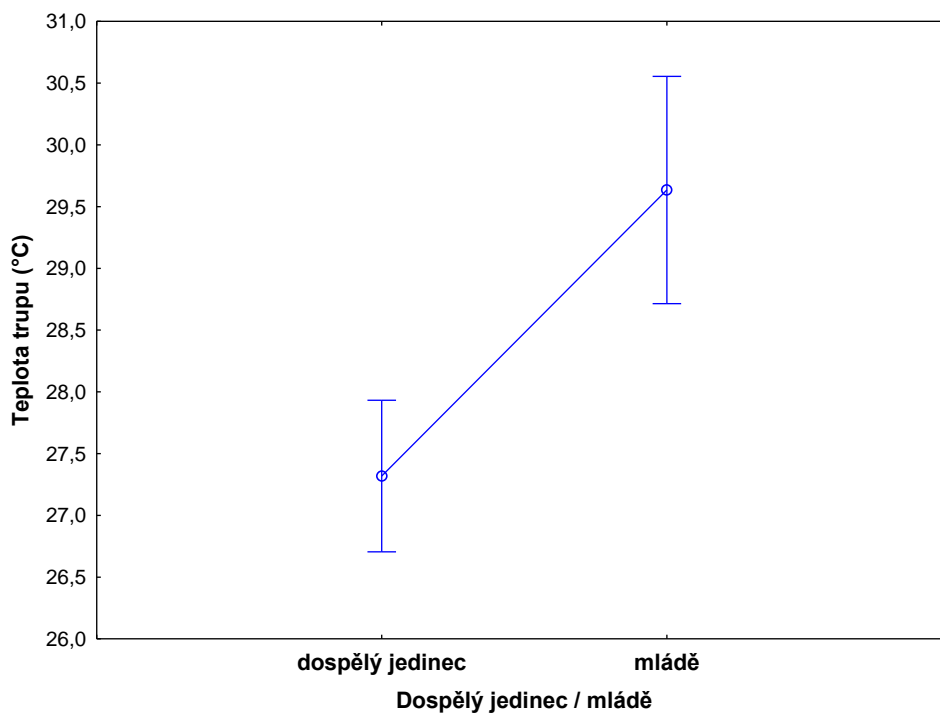
	Trup Průměr	Trup Std. Err.	N
Dospělí jedinci	27,32	0,28	9
Mlád'ata	29,63	0,41	4

Tabulka 23: Zjištěné průměrné korelace (LSM hodnoty) pro efekt „dospělí jedinci/mlád'ata“ vzhledem k teplotám trupu (v Kelvinech)

	Trup Průměr	Trup Std. Err.	N
Dospělí jedinci	300,47	0,28	9
Mlád'ata	302,78	0,41	4

Tabulka 24: Post-hoc Tukey SHD test průkaznosti rozdílu teploty trupu u dospělých a mlád'at slona indického (pro °C)

	{1} 27,32	{2} 29,63
Dospělý jedinci		0,002653
Mlád'ata	0,002653	



Graf 5: Grafické zobrazení rozdílných teplot (°C) v oblasti trupu u dospělců a mláďat slona indického

Z výsledku testu, který ukázal vyšší teplotu trupu u mláďat slona indického, je patrný statisticky průkazný rozdíl (tabulka č. 24). Lze tedy říct, že věk slona indického hraje v hodnotě tělesné teploty určitou roli. Tato zvýšená teplota těla u mláďat, která je zřejmá také z grafu č. 5, může být zapříčiněna zvýšenou intenzitou metabolismu, vzhledem k probíhajícímu intenzivnímu růstu mláďat.

6 DISKUZE

Tato studie je jednou z mála, která se zaměřuje na zjištění schopnosti termoregulace u slona indického s využitím termovizní kamery. I přesto se však dá říci, že výsledky prezentované v této diplomové práci jsou v souladu s výsledky jiných autorů.

Zjišťováním rozdílných teplot v různých částech těla u slonů se zabýval ve své studii Williams (1990), který prováděl tato sledování na dospělé samici slona afrického a na mladé samici slona indického chovaných v zoologické zahradě v San Diegu (USA, Kalifornie). Průzkum byl prováděn při okolní teplotě 12,6 °C na 6-ti různých částech těla (tělo, končetiny, hlava, uši, krk a chobot) obou jedinců. Autor dospěl k závěru, že jednotlivé části těla mají rozdílnou teplotu. Prokazatelně nižší teploty měli uši u obou sledovaných jedinců oproti ostatním částem těla.

Obsáhlou studii popisující použití termovizní kamery vypracovala Hilsberg (2000). Autorka sledovala různé aspekty klinického využití termovizních kamer pro veterinární účely. Část práce byla zaměřena na termoregulaci u různých zvířecích druhů, součástí byl i výzkum tělesné teploty a termoregulace u slonů. Také v této práci se dospělo k závěru, že teplota uší se pohybuje v nižších hodnotách než ve zbylých částech těla. Lze tedy potvrdit myšlenku, že ušní boltce u slonů hrají důležitou roli v termoregulaci.

V oblasti studia termoneutrální zóny u slonů, kdy zvíře přestává reagovat na teplotu okolního prostředí a přestává termoregulovat, zatím nebyly provedeny žádné studie, tedy nemám k porovnání žádná data, abych mohla říct, že mé výsledky jsou v pořádku. Z tohoto důvodu se domnívám, že by se v této problematice mělo i nadále pokračovat. Zjištění termoneutrální zóny může pomoci zlepšit způsob chovu slona indického v našich podmínkách a snížit negativní vliv nevhodných podmínek na fitness. Nepřímo lze říci, že Hilsberg (2000) ve své práci uvádí, že při okolní teplotě 29 °C byla teplota v oblasti ucha relativně vyrovnaná, tedy docházelo k minimální termoregulaci. Toto pozorování bylo provedeno u slona afrického.

I další studie se zabývaly problematikou termoregulace u slonů. Pöder (2013) se ve své závěrečné práci zaměřovala na spodní kritickou teplotu v termoneutrální zóně u 13 jedinců slona afrického chovaných v rakouské zoologické zahradě Schönbrunn

a německé zoologické zahradě Wuppertal. Během svých pozorování, která probíhala při různých teplotách okolního prostředí (- 3 až + 19,5 °C), dospěla k tomu, že průměrná povrchová teplota trupu byla 21,5 °C a průměrná teplota uší byla 14,9 °C. Lze tedy říct, že teplota trupu byla prokazatelně vyšší než teplota uší. Tento výsledek je tedy v souladu s výsledky uváděnými v této diplomové práci. Na rozdíl od mých výsledků se tato autorka zabývala spodní kritickou teplotou termoneutrální zóny, takže je možné jen srovnání části výsledků. Závěrem její studie bylo, že spodní kritická teplota se u trupu pohybuje okolo 8,8 °C a u uší okolo 13,3 °C. Při těchto teplotách byly rozdíly s okolní teplotou minimální.

Ve studii Weissenböck et al. (2010) lze nalézt myšlenku, že spodní kritická teplota u slona afrického se pohybuje okolo 9 °C. Při této teplotě nebyla na těle slona nalezena žádná tepelná okna. Dále ve své práci uvádí, že průměrná teplota uší u šesti sledovaných slonů afrických byla okolo 24 °C (okolní teplota 15,0 až 20,3 °C) respektive okolo 13 °C při nižší okolní teplotě (- 4,1 až + 7,5 °C). Tyto výsledky korespondují s tím, k čemu jsem dospěla já ve svém výzkumu.

Mnozí autoři do svých sledování zahrnuli dospělé jedince i mláďata, avšak ve výsledku nesledovali, zda existuje rozdíl mezi teplotami u jednotlivých věkových skupin. V mé práci jsem zjistila, že mezi tělesnou teplotou u dospělců a mláďat existuje vysoce průkazný rozdíl. Mláďata měla v oblasti trupu naměřené vyšší teploty, než tomu bylo u dospělých jedinců. Tento výsledek může být způsoben intenzivním metabolismem, ke kterému u mláďat dochází z důvodu jejich intenzivního růstu. Podobný výsledek byl prezentován i v práci Williams (1990). Ten pozoroval rozdílnost mezi naměřenými hodnotami u dospělé slonice a u mláďete (mláďe mělo vyšší teplotu v oblasti trupu než dospělý jedinec). Výsledky však mohou být zkresleny tím, že se jedná pouze o dva jedince, z nichž každý je příslušníkem jiného živočišného druhu.

Při srovnání výsledků v této diplomové práci s výsledky jiných autorů lze konstatovat shodné závěry v oblasti termoregulace slonů a to i ve vztahu ke skutečnosti, že sledování byla prováděna v klimaticky různých oblastech. Obecně lze tedy říci, že uši jsou velmi citlivý orgán pro regulaci tělesné teploty u slonů.

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na schopnost termoregulace u slona indického chovaného v našich podmínkách ve vybraných zoologických zahradách v České republice, kde se chovem těchto zvířat dlouhodobě zabývají. Během let 2016 a 2017 se mi podařilo sesbírat mnoho materiálu pro vznik této studie a zodpovědět tak otázky, které jsem si na začátku vytyčila.

Tato studie byla prováděna za teplot okolního prostředí, které se pohybovaly od - 5 °C do 29 °C. Podařilo se mi prokázat, že existují teplotní rozdíly mezi zkoumanými částmi těla (trup, ucho a končetiny). Tyto výsledky ukázaly vysoce průkazně nižší teplotu u uší slona indického, než byla teplota jeho trupu eventuelně také končetin. Také ve vztahu k teplotě okolního prostředí vykazují ušní boltce slona vysoce průkazný rozdíl oproti ostatním částem těla. Potvrzuje to tedy teorie o tom, že uši jsou hlavním termoregulačním orgánem u slonů. Při teplotě okolo 28 – 30 °C přestávají však uši plnit svou termoregulační funkci, termoregulace se zastavuje a zvíře přestává reagovat na teplotu okolního prostředí. Lze tedy říct, že okolo těchto teplot se slon indický nachází v termoneutralní zóně. Při porovnání teplot těla u dospělých jedinců a mláďat slona indického jsem dospěla k tomu, že existuje vysoce průkazný rozdíl mezi jednotlivými věkovými skupinami. Můžeme tedy říci, že věk slona indického hraje v hodnotě tělesné teploty určitou významnou roli. Zvýšená teplota těla u mláďat může být zapříčiněna zvýšenou intenzitou metabolismu, vzhledem k probíhajícímu intenzivnímu růstu mláďat.

Problematika schopnosti termoregulace u slona indického je stále nedostatečně prozkoumaná a to hlavně při klimatických podmínkách, kdy se okolní teplota pohybuje vysoce nad jejich vnitřní tělesnou teplotou, proto by bylo vhodné s výzkumem i nadále pokračovat. Tato i následné studie, které se touto problematikou budou zabývat, mohou různou mírou přispět k vytvoření co nejlepších podmínek pro chov slonů indických v zoologických zahradách.

8 LITERATURA

- ALTRICHTER, M. (2011): *Handbook of the mammals of the world. 2. Hoofed mammals*. Barcelona: Lynx. 885 s. ISBN 978-84-96553-77-4.
- ANDĚRA, M. a ČERVENÝ, J. (2000): *Svět zvířat III. Savci 3*. Praha: Albatros, 154 s. ISBN 80-000-0829-7.
- AUJARD, F., SÉGUY, M., TERRIEN, J., BOTALLA, R., BLANC, S. a PERRET, M. (2006): Behavioral thermoregulation in a non human primate: effects of age and photoperiod on temperature selection. *Experimental gerontology*, 41(8), 784-792.
- CILULKO, J., JANISZEWSKI, P., BOGDASZEWSKI, M. a SZCZYGIELSKA, E. (2013): Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research*, 59(1), 17-23.
- CROMPTON, A. W., TAYLOR, C. R. a JAGGER, J. A. (1978): Evolution of homeothermy in mammals. *Nature*, 272(5651), 333-336.
- DUNKIN, R. C., WILSON, D., WAY, N., JOHNSON, K. a WILLIAMS, T. M. (2013): Climate influences thermal balance and water use in African and Asian elephants: physiology can predict drivers of elephant distribution. *Journal of Experimental Biology*, 216(15), 2939-2952.
- GARNER, D. L., UNDERWOOD, H. B. a PORTER, W. F. (1995): Use of modern infrared thermography for wildlife population surveys. *Environmental Management*, 19(2), 233-238.
- HETEM, R. S., STRAUSS, W. M., FICK, L. G., MALONEY, S. K., MEYER, L. C. R., SHOBRAK, M., FULLER, A. a MITCHELL, D. (2012): Does size matter? Comparison of body temperature and activity of free-living Arabian oryx (*Oryx leucoryx*) and the smaller Arabian sand gazelle (*Gazella subgutturosa marica*) in the Saudi desert. *Journal of Comparative Physiology B*, 182(3), 437-449.
- HIDDEN, P. A. (2009): *Thermoregulation in African elephants (Loxodonta africana)*. Johannesburg, 2009. Dissertation (MSc.). University of the Witwatersrand,

Faculty of Science. Dostupné z: <
<http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/7262/?sequence=1>>.

HILSBURG, S. (2000): *Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo-und Wildtiermedizin*. Leipzig, 2000. Inaugural-Dissertation (Dr. med. vet.). Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät. Dostupné z: <
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa-37148>>.

JEFIMOW, M., WOJCIECHOWSKI, M. a TĘGOWSKA, E. (2004): Seasonal changes in the thermoregulation of laboratory golden hamsters during acclimation to seminatural outdoor conditions. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 139(3), 379-388.

KINAHAN, A. A., INGE-MOLLER, R., BATEMAN, P. W., KOTZE, A. a SCANTLEBURY, M. (2007): Body temperature daily rhythm adaptations in African savanna elephants (*Loxodonta africana*). *Physiology & behavior*, 92(4), 560-565.

KINGSOLVER, J. G. (2009): The Well-Tempered Biologist: (American Society of Naturalists Presidential Address). *The American Naturalist*, 174(6), 755-768.

KNÍŽKOVÁ, I., KUNC, P., GÜRDIL, G. A. K., PINAR, Y. a SELVI, K. C. (2007): Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 22(3), 329-336.

KUHN, R. A. a MEYER, W. (2009): Infrared thermography of the body surface in the Eurasian otter *Lutra lutra* and the giant otter *Pteronura brasiliensis*. *Aquatic Biology*, 6, 143-152.

LANCASTER, W. C., THOMSON, S. C. a SPEAKMAN, J. R. (1997): Wing temperature in flying bats measured by infrared thermography. *Journal of thermal biology*, 22(2), 109-116.

LAVERS, C., FRANKS, K., FLOYD, M. a PLOWMAN, A. (2005): Application of remote thermal imaging and night vision technology to improve endangered wildlife resource management with minimal animal distress and hazard to

- humans. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 15, No. 1, p. 207). IOP Publishing.
- LEVESQUE, D. L. a TATTERSALL, G. J. (2009): Seasonal changes in thermoregulatory responses to hypoxia in the Eastern chipmunk (*Tamias striatus*). *Journal of Experimental Biology*, 212(12), 1801-1810.
- McCAFFERTY, D. J. (2007): The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3), 207-223.
- MOHLER, F. S. a HEATH, J. E. (1988): Comparison of IR thermography and thermocouple measurement of heat loss from rabbit pinna. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 254(2), R389-R395.
- MORGAN, K. (1998): Thermoneutral zone and critical temperatures of horses. *Journal of Thermal Biology*, 23(1), 59-61.
- NARASIMHAN, A. (2008): Why do elephants have big ear flaps. *Resonance*, 13(7), 638-647.
- NORRIS, A. L. a KUNZ, T. H. (2012): Effects of solar radiation on animal thermoregulation. In *Solar Radiation*. InTech.
- PHILLIPS, P. K. a HEATH, J. E. (1992): Heat exchange by the pinna of the African elephant (*Loxodonta africana*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 101(4), 693-699.
- PHILLIPS, P. K. a HEATH, J. E. (1995): Dependency of surface temperature regulation on body size in terrestrial mammals. *Journal of Thermal Biology*, 20(3), 281-289.
- PÖDER, C. (2013): *Die untere kritische Temperatur der Thermoneutralzone bei afrikanischen Elefanten (Loxodonta africana)*. Wien, 2013. Dissertation (Mag.rer.nat.). Universität Wien, Fakultät für Lebenswissenschaften. Dostupné z: <<https://othes.univie.ac.at/29348>>.

- PORTER, W. P. a KEARNEY, M. (2009): Size, shape, and the thermal niche of endotherms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19666-19672.
- REES, P. A. (2002): Asian elephants (*Elephas maximus*) dust bathe in response to an increase in environmental temperature. *Journal of thermal biology*, 27(5), 353-358.
- ROMANOVSKY, A. A., IVANOV, A. I. a SHIMANSKY, Y. P. (2002): Selected contribution: ambient temperature for experiments in rats: a new method for determining the zone of thermal neutrality. *Journal of applied physiology*, 92(6), 2667-2679.
- ROWE, M. F., BAKKEN, G. S., RATLIFF, J. J. a LANGMAN, V. A. (2013): Heat storage in Asian elephants during submaximal exercise: behavioral regulation of thermoregulatory constraints on activity in endothermic gigantotherms. *Journal of Experimental Biology*, 216(10), 1774-1785.
- SONG, X., KÖRTNER, G. a GEISER, F. (1998): Temperature selection and use of torpor by the marsupial *Sminthopsis macroura*. *Physiology & Behavior*, 64(5), 675-682.
- SPEAKMAN, J. R. a WARD, S. (1998): Infrared thermography: principles and applications. *ZOOLOGY-JENA-*, 101, 224-232.
- StatSoft, Inc. (2013). STATISTICA (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com.
- TATTERSALL, G. J. a CADENA, V. (2010): Insights into animal temperature adaptations revealed through thermal imaging. *The Imaging Science Journal*, 58(5), 261-268.
- TERRIEN, J., PERRET, M. a AUJARD, F. (2011): Behavioral thermoregulation in mammals: a review. *Front Biosci*, 16, 1428-1444.

- VANITHA, V. a BASKARAN, N. (2010): Seasonal and Roofing Material Influence on the Thermoregulation by Captive Asian Elephants and Its Implications for Captive Elephant Welfare. *J. IUCN/SSC Asian Elephant Spec. Group*, 33, 35-40.
- VESELOVSKÝ, Z. (1977): *Sloni a jejich příbuzní*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 123 s. ISBN 07-014-81.
- WEISSENBÖCK, N. M., ARNOLD, W. a RUF, T. (2012): Taking the heat: thermoregulation in Asian elephants under different climatic conditions. *Journal of Comparative Physiology B*, 182(2), 311-319.
- WEISSENBÖCK, N. M., WEISS, C. M., SCHWAMMER, H. M. a KRATOCHVIL, H. (2010): Thermal windows on the body surface of African elephants (*Loxodonta africana*) studied by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 35(4), 182-188.
- WILLIAMS, T. M. (1990): Heat transfer in elephants: thermal partitioning based on skin temperature profiles. *Journal of Zoology*, 222(2), 235-245.
- WRIGHT, P. G. (1984): Why do elephants flap their ears?. *South African Journal of Zoology*, 19(4), 266-269.
- WRIGHT, P. G. a LUCK, C. P. (1984): Do elephants need to sweat?. *African Zoology*, 19(4), 270-274.

Internetové zdroje:

- 55 let chovu slonů v Zoo Liberec 1958 – 2013. Zoo Liberec. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <<http://old.zooliberec.cz/cz/55-let-chovu-slону-v-zoo-liberec-1958-2013>>.
- Historie chovu slonů v ostravské Zoo. Zoo Ostrava. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <<http://www.zoo-ostrava.cz/cz/expozice-zvirata/slони-denik/16-15-2-2011-historie-chovu-slону-v-ostravske-zoo/>>.

Historie. Zoo Ostrava. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <<http://www.zoo-ostrava.cz/cz/zoo/historie/>>.

Krátká historie Zoo. Zoo Liberec. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <<http://www.zooliberec.cz/kratka-historie-zoo.html>>.

Sloni v Zoo Praha. Zoo Praha. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <<https://www.zoopraha.cz/multimedia/prenos-z-udoli-slону-zive/zakladni-informace/8858-sloni-v-zoo-praha>>.

Software Flir Tools. Termokamera FLIR - Oficiální dodavatel termokamer FLIR pro ČR a SK. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <<http://www.termokamery-flir.cz/software-flir-tools/>>.

Stručná historie Zoo. Zoo Praha. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <<https://www.zoopraha.cz/vse-o-zoo/historie/42-strucna-historie-prazske-zoo>>.

Termokamera FLIR T620. TR instruments spol. s r. o. - Měřicí přístroje a monitorovací systémy [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <<http://www.trinstruments.cz/t620#&panel1-1/>>.

Výroční zpráva Zoo Liberec za rok 2015. Zoo Liberec. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.zooliberec.cz//User_Files/VZ/VZ%20ZOO%20za%202015%20tisk%20web.pdf>.

Výroční zpráva Zoo Ostrava za rok 2015. Zoo Ostrava. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.zoo-ostrava.cz/soubory_texty/51_13.pdf>.

Výroční zpráva Zoo Praha. Zoo Praha. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <<https://www.zoopraha.cz/component/joomdoc/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1vy/Zoo%20Praha%20-%20Vyrocni%20zprava%202015.pdf/stahnout>>.

Zoo Liberec. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <<http://www.zooliberec.cz/>>.