

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra etologie a zájmových chovů



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Osvětlení v chovu zvířat

Bakalářská práce

Michal Zorychta

Studijní program: Chov zájmových zvířat

Specializace: Chov exotických zvířat

Vedoucí práce Ing. Petra Bolechová, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Osvětlení v chovu zvířat" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé práce Ing. Petře Bolechové, Ph.D. za odborné rady, za ochotu a vstřícný přístup. Poděkování si zaslouží také všichni zástupci zoologických zahrad, kteří byli ochotni se zapojit do dotazníkového šetření. A největší dík patří mým přátelům a mé rodině, za podporu a poskytnutí podmínek pro studium.

Osvětlení v chovu zvířat

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou osvětlení v podmínkách chovu zvířat v lidské péči. První část je literární rešerše, která se zabývá charakterizací světla jako takového, jeho vlnovým délkám a také obecnému popisu způsobu jeho vnímání člověkem a zvířaty. Pozornost je věnována vlivu světla na organismus, například po stránce metabolismu a reprodukce, a na welfare v chovu zvířat v lidské péči. Hlavním tématem je ultrafialové záření, které je pro zvířata podstatným faktorem zdravotního stavu a správného vývoje. Na toto téma navazuje rozbor světelných zdrojů používaných v chovu zvířat, zásady jejich využívání a také popis chovatelských podmínek s převráceným denním rytmem. Při praktické části došlo k dotazníkovému šetření v několika českých a slovenských zoologických zahradách. Jednalo se o otázky zabývající se využíváním zdrojů UV záření a Fergusonových zón, měřením intenzity UV záření, používáním ochranných prostředků pro osvětlení proti zraněním zvířat a technickému poškození, praxí v nočních expozicích a věnování se osvětlení z pohledu návštěvníka. Na základě vyhodnocení dotazníku a literární rešerše bylo navrženo několik praktických doporučení.

Klíčová slova: osvětlení, vnímání světla, denní rytmus, zdravotní stav, reprodukce

Lighting in animal husbandry

Summary

This bachelor's thesis deals with the issue of lighting in the conditions of animal husbandry in human care. The first part is a literature review based, which the characterization of light as such, its wavelengths, as well as a general description of the way it is perceived by humans and animals. Attention is paid to the influence of light on the organism, for example in terms of metabolism and reproduction, and on the welfare of animals in human care. The main topic is ultraviolet radiation, which is an essential factor for animal's health and proper development. This topic is followed by an analysis of light sources used in animal husbandry, the principles of their use, as well as a description of husbandry conditions with an inverted daily rhythm. During the practical part, there was a questionnaire survey in several Czech and Slovak zoos. These were questions dealing with the use of the UV radiation sources and Ferguson zones, measuring the intensity of UV radiation, the use of protective equipment for lighting against animal injuries and technical damage, practice in nocturnaries and attending to lighting from visitor's point of view. Based on the evaluation of the questionnaire and literature research, several practical recommendations were proposed.

Keywords: lighting, light perception, daily rhythm, state of health, reproduction

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Světlo	10
3.1.1 Vnímání světla	11
3.1.2 Zpracování zrakové informace	11
3.1.3 Barevné vidění	12
3.1.4 Zrakové ústrojí bezobratlých	13
3.1.5 Zrakové ústrojí obratlovců.....	13
3.2 Vliv světla na organismus.....	14
3.2.1 Cirkadiánní rytmus	14
3.2.2 Biologické hodiny.....	14
3.2.2 Cirkadiánní systém	15
3.2.3 Melatonin.....	15
3.2.4 Metabolismus.....	16
3.2.5 Rozmnožování	16
3.2.6 Světelné znečištění.....	17
3.2.6.1 Metabolismus.....	17
3.2.6.2 Rozmnožování	18
3.3 Vliv světla na welfare zvířat.....	18
3.3.1 Vliv světla na stres zvířat.....	18
3.3.1.1 Intenzita světla	19
3.3.1.2 Vlnové délky	20
3.3.1.3 Fotoperioda	20
3.4 Ultrafialové záření.....	20
3.4.1 Spektrální oblasti UV záření.....	21
3.4.2 Vlivy na úroveň UV záření	21
3.4.3 Působení UV záření na metabolismus	22
3.4.3.1 Záření UVB	22
3.4.3.2 Záření UVA	24
3.4.4 Globální solární UV Index.....	24
3.4.5 Fergusonovy zóny.....	25
3.4.6 Použití Fergusonových zón.....	25
3.4.6.1 Zóna 1 a 2	26
3.4.6.2 Zóna 3	27
3.4.6.3 Zóna 4	27
3.4.7 Měření UV záření	27
3.4.8 UV-Tool.....	29

3.5 Světelné zdroje	29
3.5.1 Doba osvětlení	29
3.5.2 Ochrana osvětlovacích zdrojů.....	29
3.5.3 Údržba osvětlovacích zařízení	31
3.5.4 Umělé osvětlení	31
3.5.4.1 Použití zdrojů UV záření	31
3.5.4.2 Zářivkové osvětlení.....	33
3.5.4.3 LED osvětlení	33
3.5.4.4 Výbojkové osvětlení	34
3.5.4.5 Žárovkové osvětlení.....	34
3.5.5 Noční expozice	35
3.5.5.1 Princip	35
3.5.5.2 Osvětlení	36
3.5.5.3 Barva světla.....	36
3.5.6 Přirozené osvětlení.....	37
4 Metodika	39
5 Výsledky	40
5.1 Využívání UV záření	40
5.2 Negativní zkušenosti s používáním UV záření	40
5.3 Měření UV záření pomocí speciálních měřičů	40
5.4 Využívání Fergusonových zón	41
5.5 Kombinování umělého a přirozeného osvětlení	41
5.6 Obsluha nočních expozic	42
5.7 Používání ochrany osvětlovacích zařízení	42
5.8 Osvětlení z pohledu návštěvníka	42
6 Diskuze	43
6.1 Využívání UV záření	43
6.2 Negativní zkušenosti s používáním UV záření	43
6.3 Měření UV záření pomocí speciálních měřičů	43
6.4 Využívání Fergusonových zón	43
6.5 Kombinování umělého a přirozeného osvětlení	44
6.6 Obsluha nočních expozic	44
6.7 Používání ochrany osvětlovacích zařízení	44
6.8 Osvětlení z pohledu návštěvníka	44
7 Závěr	45
8 Literatura	46

1 Úvod

Základním zdrojem světla je Slunce. Nejdůležitějším přírodním procesem závislým na světle je fotosyntéza rostlin, jelikož je energetickým zdrojem pro fungování celého ekosystému. Sluneční záření však má jako jeden z hlavních enviromentálních faktorů také silný vliv na živočichy. Světlo ovlivňuje chování živočichů vlnovou délkou, intenzitou a délkou působení. Kromě orientace v prostoru a čase má světlo také vliv na řadu metabolických, fyziologických a behaviorálních dějů. Problematika osvětlení se stále vyvíjí a při chovu zvířat v lidské péči je potřeba mu věnovat pozornost, jelikož intenzita, kvalita a délka trvání světla silně ovlivňuje zdraví a psychickou pohodu zvířat v mnoha směrech. Pravidelná proměnlivost v působení světla během denního cyklu vyvolává u živočichů cirkadiánní rytmy, od kterých se odvíjí příjem potravy, teritoriální chování nebo samotné rozmnožování. V případě neuzpůsobení se těmto rytmům může dojít například k obezitě nebo narušení rozmnožovacího chování. Nedostatek světla a určitých vlnových délek může způsobit zdravotní problémy například v podobě metabolické poruchy kostí spojené s nedostatkem vitamínu D. V opačném případě pak příliš velké množství světla může vést ke stresu, zrakovým problémům, zraněním a následným úhynům zvířat. Podstatný je také princip využití osvětlovacích zařízení v chovatelské praxi. Je potřeba se věnovat určitým nárokům pro používání a udržování světel po technické a bezpečnostní stránce. Ve finále je nutné sledovat zdravotní stav a chování zvířat s ohledem na intenzitu a kvalitu světla.

2 Cíl práce

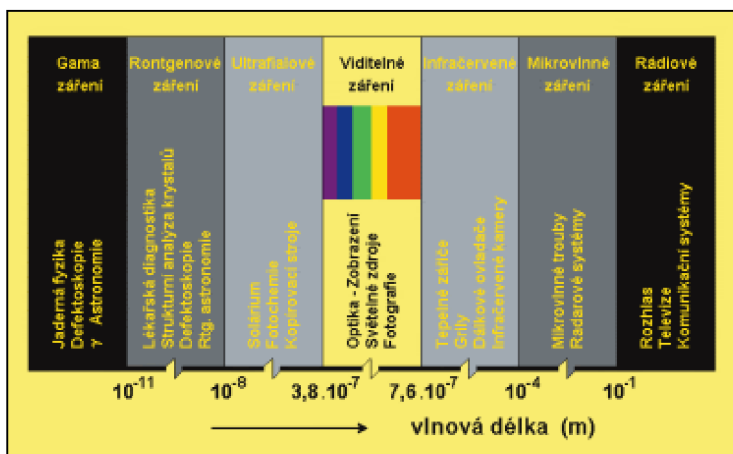
Cílem této práce je základě literární rešerše popsat způsoby vnímání světla u zvířat s rozdílnou denní aktivitou, jeho vliv na různé fyziologické a behaviorální procesy a v neposlední řadě zdroje osvětlení používané v chovatelské praxi. Následně porovnat problematiku osvětlení a doporučení k chovu zvířat na základě informací získaných dotazníkovým šetřením z vybraných zoologických zahrad, a vyhodnotit zjištěné zkušenosti pro budoucí přehled a potřeby při tvorbě expozic.

3 Literární rešerše

3.1 Světlo

Jako světlo jsou označovány biologicky významné vlnové délky, které jsou viditelné lidským okem (Veselovský 2005). Přesný rozsah těchto vlnových délek se často odlišuje, nicméně Veselovský (2005) uvádí rozsah viditelného světla od 400 do 760 nm (viz. Obrázek č.1). Jako viditelné záření se označuje optické záření, které je schopno vyvolat zrakový vjem. Toto záření se poměrně často označuje pojmem záření monochromatické (Habel et al. 2013).

Světlo je podle Novotného (1988) možno také definovat jako část spektra elektromagnetického záření. Elektromagnetické vlny, které dopadají na naši planetu, jsou podstatným zdrojem informací o okolním prostředí. Mezi sebou se odlišují svou délkou a intenzitou (Veselovský 2005). Elektromagnetické záření má dualistickou povahu, čímž se rozumí, že má vlastnosti jak částic, tak také vln. Dá se charakterizovat hlavně co se týče intenzity a frekvence nebo vlnovou délkou. Vlnová délka znázorňuje vzdálenost mezi dvěma vrcholy vln za sebou následujícími. Frekvence naopak udává počet vln nebo také kmitů za sekundu (Novotný 1988).



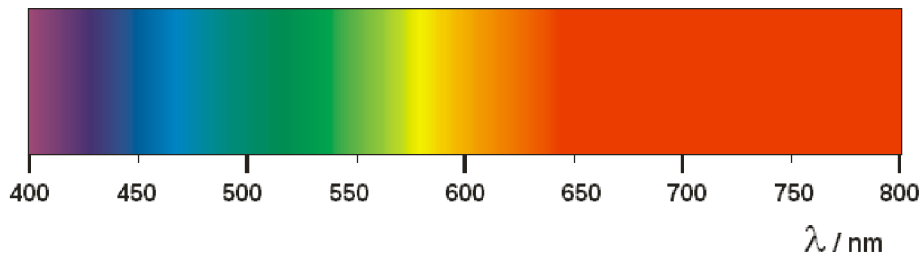
Obr. 2. Oblasti spektra elektromagnetického záření

Obrázek 1: oblasti spektra elektromagnetického záření. zdroj:

<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>

Velmi krátkovlnné formy záření jsou označovány jako paprsky X a gama. Tyto paprsky mají vysokou energii, která poškozuje živé organismy. Zároveň se nehodí pro informaci o okolním prostředí (Veselovský 2005). V oblasti kratších vlnových délek s viditelným zářením sousedí paprsky ultrafialového záření (UV). Naopak v oblasti delších vlnových délek se zářením infračerveným (IR) (Habel et al. 2013). Viditelné záření se skládá z několika barev,

které nazýváme spektrálními (viz. Obrázek č.2). Jednotlivé barvy jsou typické pro určitou vlnovou délku a vzájemně do sebe přecházejí. Mezi tři základní spektrální barvy se řadí modrá s krátkou vlnovou délkou (400 až 500 nm), zelená se střední vlnovou délkou (500 až 560 nm) a s dlouhou vlnovou délkou (625 až 700 nm) červená barva (Guan et al. 2022).



Obrázek 2: spektrum viditelného záření. zdroj: https://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm

3.1.1 Vnímání světla

U převážné většiny živočichů od jednobuněčných prvoků po člověka je vnímání světla zajištěno řadou světločivných receptorů. Základem zraku je světločivá buňka. Tato buňka disponuje membránou obsahující fotopigment zvaný rodopsin, který je složen z bílkoviny opsinu a derivátu vitamínu A retinalu. Komorové oko, které je typické pro obratlovce, je opatřeno světlolomným aparátem. Ten soustřeďuje světelné paprsky na konkrétní místo na sítnici (Veselovský 2005). Jedná se o průsvitnou, poměrně tenkou blánu s velice složitou buněčnou skladbou (Habel et al. 2013). Na sítnici vzniká převrácený obraz, který je světločivnými buňkami rozložen na body. Síla podráždění v každém bodě je závislá na určité intenzitě osvětlení (Veselovský 2005). Mezi specializované nervové buňky ve zrakové nervové dráze se řadí fotoreceptory, což jsou buňky citlivé na světlo, další jsou bipolární a gangliové buňky. Tyto nervové buňky jsou schopny přijímání a odvádění určitých podráždění a signálů (Habel et al. 2013).

3.1.2 Zpracování zrakové informace

Receptorovými buňkami jsou zejména tyčinky a čípky, které byly pojmenovány podle svého tvaru a jsou nejdůležitějšími strukturami v sítnici (Cambell & Reece 2006). Zatímco tyčinky jsou citlivé i na malé množství světla, tak čípky účinkují za dobrého osvětlení a zobrazují ostřeji, ale mají malou adaptabilitu vůči sníženému množství světla (Veselovský 2005). Sítnice například u člověka obsahuje okolo 125 milionů tyčinek a 6 milionů čípků. Dohromady se jedná o 70 % všech receptorů v těle, což podtrhuje celkovou podstatu očí a zraku pro lidské vnímání okolí (Cambell & Reece 2006).

Na neurony, které jsou známé jako bipolární buňky, se napojují axony tyčinek a čípků. Dále se pak připojují ke gangliovým buňkám. Informaci pomáhají upravovat přidatné horizontální a amakrinní buňky v sítnici ještě předtím, než je poslána do mozku. Informace je následně vedena podél očního nervu do mozku v podobě akčního potenciálu. Z tyčinek a čípků jsou signály přenášeny směrem jak vertikálním, tak horizontálním (Cambell & Reece 2006).

Z očí do mozku se přenáší zrakový nerv, který je formován axony gangliových buněk. Tyto nervy obou očí se v místě zvaném oční (optické) chiasma následně kříží. Nervové dráhy v chiasmatu jsou uspořádány tak, aby oční počítky z levého pole na každém oku byly přeneseny do pravé mozkové hemisféry, a naopak do levé hemisféry jsou přeneseny zrakové informace ze zorného pole pravého. Po částech je informace ze zrakového pole podle umístění sítnice podél neuronů vedena do zrakové kůry. Je udáváno, že minimálně 30 % mozkové kůry, což znamená stovky milionů interneuronů v asi dvanácti interagujících centrech, je přítomno u toho, co ve výsledku my a živočichové vidíme (Cambell & Reece 2006).

3.1.3 Barevné vidění

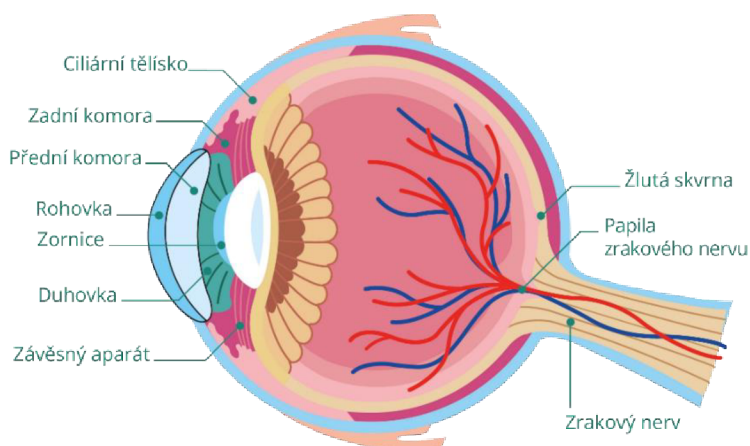
Barevného vidění je schopno mnoho živočichů ať už se jedná o hmyz, ryby, obojživelníky a plazy nebo ptáky a savce (Veselovský 2005). Receptorové buňky tyčinky a čípky mají mnoho různých funkcí a jejich početní množství je závislé na tom, zda je daný živočich aktivní ve dne nebo v noci. Tyčinky, na rozdíl od čípků, i přes svou vyšší citlivost vůči světlu neumožňují barevné vidění. Nicméně vidění ve tmě umožňují, i když jen černobíle. Zatímco čípky ve tmě ztrácejí svůj význam, jelikož je k jejich stimulaci potřeba většího množství světla, tak ve dne dokážou rozlišovat barvy (Cambell & Reece 2006). Pro barevné vidění je potřeba přítomnost alespoň dvou různých typů čípků, jež se odlišují svými fotopigmenty. Molekuly těchto fotopigmentů jsou citlivé na konkrétní barvy (Veselovský 2005). Nočním savcům umožňují výborný zrak v noci tyčinky, jelikož u nich čípky zcela chybí nebo je jejich množství jen nepatrné (Novotný 1988). Například kočky (*Felis.*), které jsou v největší míře aktivní v noci, mají dosti omezenou možnost vidět barevně a přes den vidí okolí pastelově. V oku člověka se v periferních oblastech v největší míře nalézají tyčinky. Naopak zcela absentují ve žluté skvrně, která se nachází přímo v centru zrakového pole a je místem nejostřejšího vidění. Několik zástupců ptáků má dokonce více než milion čípků, a právě to umožňuje například jestřábům (*Accipiter*) vidět malou kořist na velmi velké vzdálenosti. Různorodost v sítnici je tak stejně jako ve všech biologických strukturách adaptací evoluce jednotlivých skupin zvířat (Cambell & Reece 2006).

3.1.4 Zrakové ústrojí bezobratlých

Bezobratlí mají většinou fotoreceptory, které obsahují velké množství typů od jednoduchých shluků fotoreceptorových buněk až po složité oko, které dá vzniknout obrazu. U bezobratlých se vyvinuly dva typy očí vytvářející obraz. Jedná se o oko složené a oko komorové. Složené oko se nachází zejména u hmyzu, korýšů a mnohoštětinatých červů. Čočku u složeného oka nahrazuje krystalinní kuželík se stejnou funkcí. Hmyz má také velmi dobře vyvinuté barvené vidění. Některé druhy jsou schopné vidět dokonce i ultrafialové záření, například včely (Apoidea). Komorové oko je typ oka, který je doménou pro medúzy, mnohoštětinatce, měkkýše a pavouky. Na rozdíl od složeného oka zde světlo na sítnici zaostřuje čočka. Na sítnici se nacházejí receptorové buňky (Cambell & Reece 2006).

3.1.5 Zrakové ústrojí obratlovců

Oči obratlovců jsou podle Novotného (1988) přesným typem komorového oka (viz. Obrázek č.3). Oko má tvar koule a je přizpůsoben rychlému otáčení v očníci. Stěna zadní stěny oka se skládá ze tří vrstev. První vrstva je bělma, která je jejím vnějším obalem a ve přední části oka přechází do přední oční komory rohovky (Habel et al. 2013). Prostor mezi přední oční komorou a duhovkou vyplňuje komorový mok. Ten je neustále vytvářen řasnatým tělískem společně s rosolovitým sklivcem, který vyplňuje zadní komoru. Duhovka je zodpovědná za barvu očí (Cambell & Reece 2006). Uprostřed duhovky se nachází otvor zvaný zornice. Tento otvor umožňuje upravovat množství světelného toku dostávajícího se do oka. Čočka se nachází za zornicí a zaostřuje obraz, který dopadá na sítnici (Habel et al. 2013). Na vnitřní straně cévnatky, která zajišťuje výživu oka, se pak nachází samotná sítnice. Sítnice obsahuje fotoreceptory a zároveň je vnitřní vrstvou oční koule (Cambell & Reece 2006).



Obrázek 3: anatomie oka. Zdroj: <https://www.zeleny-zakal.cz/anatomie-oka>

3.2 Vliv světla na organismus

3.2.1 Cirkadiánní rytmus

Pro kondici a přežití je podstatná adaptace fyziologických a behaviorálních funkcí na sezónní změny v délce dne (Aujard et al. 2007). Od vzniku života na planetě Zemi během několika miliard let došlo k jeho přizpůsobení denním a ročním výkyvům faktorů abiotického prostředí, ve kterém vyniká světlo svou všestranností (Ruchin 2021). Délku dne určuje Slunce a den se během rytmu 24 hodin střídá s nocí. Aby organismy mohly přežít a dále se rozvíjet, musejí se tomuto cyklu přizpůsobit. Život na planetě Zemi je ovlivňován střídáním světla a tmy, podléhá tedy cirkadiánním rytmům. Název cirkadiánní pochází z latinského slova *circa*, což v překladu znamená asi nebo zhruba, a slova *dies* znamenající den. Cirkadiánní rytmy jsou někdy označovány jako diurnální a zahrnují všechny pravidelné změny, jež se opakují během periody 24 hodin. Biologické rytmy se rozdělují do svých kategorií s ohledem na délku své periody (Homolka et al. 2010). Biorytmy mají z většiny vztah k vnějším oscilacím, jako je opakování světla a tmy nebo měsíční cykly. Těmto vnějším cyklům se říká časovače nebo také *Zeitgeber*. Díky těmto časovačům je zajištěn chod vnitřních hodin pro každý organismus (Veselovský 2005).

3.2.2 Biologické hodiny

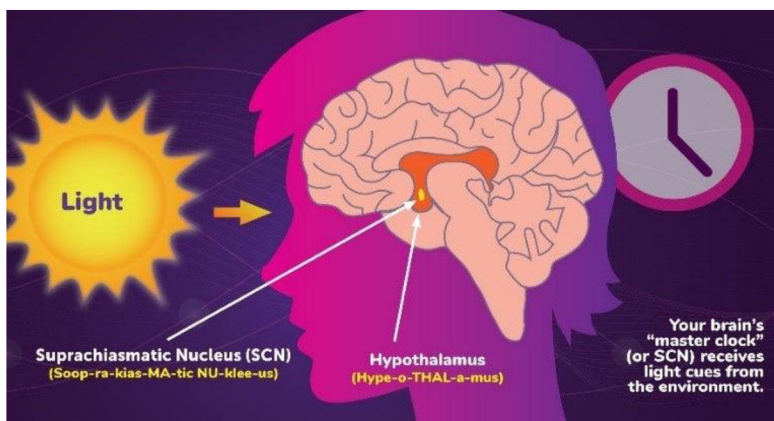
Na přívodu světla je do jisté míry závislá většina organismů, ať už jde o rostliny nebo o živočichy (Homolka et al. 2010). Přirozené světlo předává důležité vizuální i nevizuální informace potřebné k synchronizaci vnitřních biologických hodin. Tato synchronizace umožňuje přizpůsobování se prostředí (LeTallec et al. 2013). Jednotlivé rytmy synchronizují vnitřní biologické hodiny za pomoci nervových nebo humorálních cest (Veselovský 2005). Změny osvětlení se během ročního období a průběhu dne uplatňují při různých životních pochodech. Jako významný faktor se světlo projevuje ať už v případě jeho intenzity, délky trvání nebo také jeho spektrálního složení (Homolka et al. 2010).

Mnoho organismů si tak vytvořilo vrozené hodiny, které vyvíjejí cirkadiánní rytmy. Tyto rytmy organismům umožňují předpovídat a přizpůsobovat se v jejich prostředí cyklickým změnám. Živočichové synchronizovaní s denními i ročními cykly se mohou připravit na změny týkající se dostupnosti potravy, okolní teploty nebo příležitosti k páření a sociálním interakcím. V rámci behaviorálních aktivit, spánku a fyziologických funkcí zahrnujících tělesnou teplotu, produkci a sekreci hormonů, má většina zvířat jednotný rytmus 24 hodin. Avšak velice častý je mezi zvířaty i sezónní rytmus. U druhů z této skupiny zvířat, což jsou například veverky

(*Sciurus*) nebo ovce (*Ovis*), dochází k významným změnám v chování, reprodukci a metabolismu. Jiná zvířata jako myši (*Mus*) a krysy (*Rattus*) pak vykazují změny behaviorální aktivity s ohledem na měnící se délky dne (Coomans et al. 2015).

3.2.3 Cirkadiánní systém

U savců jsou hlavní cirkadiánní hodiny umístěny v suprachiasmatických jádrech (SCN) v hypotalamu (viz. Obrázek č.4). Jedná se o bilaterální strukturu, která se skládá z asi 10 000 neuronů (Coomans et al. 2015). Suprachiasmatická jádra přijímají environmentální vstupy v podobě světla a tmy pomocí ftopigmentů, které se nacházejí v oku, a také z gangliových buněk sítnice. Je nutné, aby byl endogenní cirkadiánní rytmus synchronizován nebo regulován vnějšími podněty. Nejdůležitějším z těchto podnětů je právě cyklus střídání dne a noci (Perret et al. 2010). Cirkadiánní hodiny u ptáků jsou stejně jako u savců podle Veselovského (2001) umístěny v hypotalamu. Zde jsou ale umístěny světelné receptory, které reagují na velmi nízkou intenzitu světla. Z hypotalamu odcházejí spouštěcí hormony krví do řídicí hormonální žlázy podvěsku mozkového neboli hypofýzy. Odtud poté vycházejí hormony, které řídí reprodukční cykly, migraci či dobu pelichání



Obrázek 4: cirkadiánní systém. Zdroj: <https://www.podcinkou.cz/>

3.2.4 Melatonin

U většiny druhů obratlovců je hormon melatonin považován za hlavní synchronizátor cirkadiánních rytmů (Ruchin 2021). U ryb, obojživelníků a plazů řídí tento hormon barvozměnu, u ptáků a savců pak tlumí rozvoj pohlavních žláz (Veselovský 2005). Melatonin je u savců tvořen v šišince z aminokyseliny tryptofanu. Tvorba melatoninu probíhá cyklicky, zejména v noci, a to jak u denních, tak i nočních druhů (Illnerová 1996). Naopak vznik melatoninu potlačuje denní i umělé světlo (Veselovský 2005). Vysoká hladina melatoninu dává organismu informaci o subjektivní noci jedince (Illnerová 1996). Délce noci je sekrece

melatoninu přizpůsobena a jeho hlavní funkcí je vedení informace, která je spjatá s denním cyklem světla a tmy, a to do tělesných struktur. Zde je pak využita při organizaci funkcí, které reagují na změny ve fotoperiodě, což jsou například sezónní rytmy (Claustrat et al. 2015).

Sezónní změny sekrece melatoninu se pak odrážejí na funkční změny v samotných biologických hodinách. Zvířata na informace o změnách v délce dne reagují funkčními změnami. Tento fakt nejvíce vyniká při rozmnožování. Pro malé hlodavce, kteří se řadí mezi zvířata s krátkodobou březostí je na jaře snižující se hladina melatoninu signálem pro začátek reprodukční aktivity. Podzimní zvyšující se hladina melatoninu pak signalizuje její konec. Naopak je tomu u zvířat, která se vyznačují dlouhou dobou březosti jako jsou například ovce (*Ovis*). U obou těchto zmíněných případů je hlavní strategií načasování porodů mláďat na jaro, což je pro jejich přežití nejvýhodnější období (Illnerová 1996).

3.2.5 Metabolismus

Jak již bylo popsáno, cirkadiánní rytmus má mnoho funkcí a jednou z nich je také řízení metabolismu. Cirkadiánní systém obsahuje centrální oscilátory v SCN hypotalamu a periferní oscilátory, které fungují v orgánu. Případná poškození nebo narušení cirkadiánních hodin mohou velmi negativně ovlivňovat energetický metabolismus. Cirkadiánní systém totiž zajišťuje rytmus pro metabolické procesy. Právě proces příjmu a výdeje energie značně kolísá v návaznosti na cykly spánku a bdění, odpočinku a aktivity či hladovění a krmení po dobu celého dne. Při organizování metabolismu hrají významnou roli molekulární cirkadiánní hodiny a hormonální signály. Molekulárními hodinami jsou mechanicky poháněny mnohé enzymy, které jsou geneticky kódované a metabolismus regulují (Guan et al. 2022).

Cirkadiánní hormony jsou důležitou součástí cirkadiánního systému, protože regulují četné procesy v energetickém metabolismu. Nedostatečným množstvím signálů střídání světla a tmy v SCN může dojít k narušení cirkadiánního rytmu. Jakákoliv změna světelných podmínek má za následek změny metabolické homeostázy (Guan et al. 2022).

3.2.6 Rozmnožování

Mnoho organismů využívá k přizpůsobení své fyziologie a chování sezónním změnám v prostředí podle délky dne fotoperiodismus. Fotoperioda je nejspolehlivější informací pro detekci roční doby (Tsutsui & Ubuka 2018). Díky konzistentnosti fotoperiody a jejích sezónních změn mohou zvířata správně načasovat své behaviorální a fyziologické rytmy. Synchronizace reprodukční funkce umožňuje narození potomstva během jara a začátku léta,

tedy v době, kdy jsou faktory pro jejich přežití nejpříznivější, jak co se týče teploty, tak i dostupnosti potravy (LeTallec et al. 2015).

3.2.7 Světelné znečištění

Po celém světě je světelné znečištění velmi rozšířeno a nepřetržitě roste. Většina studií, které se zabývaly účinky světelného znečištění u savců, byla provedena u hlodavců a netopýrů. Poukázaly například na pokles lokomotorické aktivity, omezení shánění potravy či negativní dopad na růst mláďat, tělesnou hmotnost a imunitní funkce (LeTallec et al. 2013). I když se noční světlo zdá jako neškodné, tak může mít negativní následky pro zdraví organismů. Pravidelná rytmická a synchronní aktivita SCN je pro koordinaci velkého množství behaviorálních a fyziologických procesů v celém těle velmi podstatná. Pokud dojde k narušení, například právě světlem v noci, může dojít k vnitřní desynchronizaci cirkadiálních rytmů (Bumgarner & Nelson 2021).

3.2.7.1 Metabolismus

Metabolické funkce široce narušuje světlo v noci, jelikož mění chování zvířat při hledání potravy. To může mít pro živočichy škodlivé následky (Bumgarner & Nelson 2021). U zvířat proběhly studie, během kterých bylo světlo v noci individuálně manipulováno, aby bylo možné určit jeho přímý účinek na metabolickou dysregulaci. Molekulární, buněčné a fyziologické mechanismy, které jsou zapojené do světla v noci na úrovni metabolismu a energetické homeostázy jsou komplexní. Následkem nočního svícení dochází ke změnám vzorců příjmu potravy během dne, hladin hormonů a exprese hodinových genů, což vede k narušení metabolické homeostázy. U savců může noční světlo způsobovat metabolické abnormality (Guan et al. 2022). Jak chronická, tak i přerušovaná expozice nízké intenzity nočního světla mohou negativně ovlivňovat metabolismus, a dokonce zvyšovat tělesnou hmotnost (Borniger et al. 2014; Batra et al. 2019).

Důkazy o rušivých účincích tlumeného nočního světla poskytla například studie (Batra et al. 2019) u zebříček pestrých (*Taeniopygia guttata* Vieillot 1817). Jedinci byli během tohoto výzkumu vystaveni nižší intenzitě světla v noci po dobu dvou až pěti týdnů. Tlumené noční světlo rušivě působilo na chování, fyziologii, hormony a genové exprese. Tato studie zejména poukázala na nevhodnou dobu příjmu potravy, které mělo za následek ukládání tuku, nárůst tělesné hmotnosti a zhoršený metabolismus.

3.2.7.2 Rozmnožování

Světelné znečištění narušuje pravidelnou délku trvání noci, což má za následek změnu reprodukce savců. Studie LeTallec et al. (2015) ukázala, že i mírné světelné znečištění je schopné narušit sezónní reprodukci u maki trpasličích (*Microcebus murinus* Miller 1777). Během výzkumu byla po dobu 5 týdnů jedna skupina samic pozorována pod měsíčním svitem a druhá pod umělým osvětlením. Dříve začal cyklus u skupiny samic umístěným pod umělým světlem. Rozdíl v počátku estrálního cyklu byl mezi skupinami 10 dní. Navíc byla u skupiny pod umělým světlem pozorována snížená pohybová aktivita, která mohla snížit pravděpodobnost setkání s potenciálním partnerem.

3.3 Vliv světla na welfare zvířat

Pro správný welfare zvířat chovaných v lidské péči je důležité se věnovat osvětlení (Morgan & Tromborg 2006). Welfare je popisován jako aktuální stav dobrého duševního, fyzického a emocionálního zdraví, což je předpokladem zdravého organismu, kdy je zvíře v souladu se životním prostředím, ve kterém žije. Stav pohody určuje pouze zvíře jako jedinec, a ne my jako lidští pozorovatelé nebo chovatelé. Základem poskytnutí správného welfare pro námi chovaný druh zvířete je co nejlepší porozumění jeho ekologii a chování. Dobrý welfare zvířete je brán také s ohledem na jeho fyzickou kondici a na fakt, zda je jedinec schopen projevit přirozené chování, které je pro jeho druh typické. Opakem jsou známky úzkosti, nepohodlí nebo dlouhodobého stresu, což má za následek výrazný úpadek jak fyzického, tak duševního zdraví (Kagan & Veasey 2010).

V přírodě sice existuje mnoho faktorů ohrožujících životní pohodu zvířat, ale člověk, který je pracovníkem chovu zvířat přímo zodpovídá za zajištění co nejlepších podmínek pro zvíře, které se do stalo do chovu v lidské péči. Podle Kagan & Veasey (2010) se „zoologické zahrady musejí zabývat tím, jak mohou uspokojit kompletní potřeby všech svých zvířat bez ohledu na věk, popularitu nebo hodnotu zvířete“.

3.3.1 Vliv světla na stres zvířat

Dle Veselovského (2005) je stres dlouhodobě trvající konflikt organismu a prostředí a soubor reakcí organismu na okolní podmínky, které podstatně překračují obvyklou normu. Zvíře se setkává se situacemi, během kterých nemůže uniknout nepříjemným vlivům. Těmto negativně působícím faktorům se říká stresory.

Nepříznivě ovlivnit pohodu zvířat chovaných v lidské péči může intenzita a vlnové délky světla. Vyzdvihované zářivkové osvětlení s ohledem na nízké náklady může omezit přístupnost k potřebným vlnovým délkám, které jsou podstatné pro pohodu zvířat. Moc vysoké kontrasty mezi tmavými a světlými částmi prostředí zvířat mohou podnítit vznik strachu. Pro zlepšení životních podmínek v lidské péči je důležité stále rozvíjet informace o vizuálních světech chovaných druhů a o tom, jaký vliv na jejich chování a fyziologii můžou mít vlnové délky, intenzita a kvalita světla (Morgan & Tromborg 2006).

3.3.1.1 Intenzita světla

Intenzita světla se v závislosti na aktuální situaci v chovu odlišuje (Morgan & Tromborg 2006). Na základě různých výzkumných pozorování zvířat bylo zjištěno, že vyšší intenzita osvětlení běžná ve venkovním prostředí může být základem ochranného účinku před vznikem krátkozrakosti. U primátů však nebyly zaznamenány žádné zjevné účinky, což bylo pozorováno ve studii She et al. (2020) u makaků rhesus (*Macaca mulatta* Zimmermann 1780). Rozšířenou praktikou na snížení agrese u chovaných zvířat je chov pod slabší intenzitou osvětlení. Naopak příliš jasné světlo může mít také velmi negativní dopad. Z výzkumu Pollard & Littlejohn (1994), které proběhlo u osmi skupin o deseti ročních jedincích jelena lesního (*Cervus elaphus* Linné 1758) vyplynulo, že osvětlení mělo poměrně zásadní vliv na jejich chování v uzavřeném prostředí. V zatemnějším ustájení vykazovali jedinci větší pohybovou aktivitu a byli více rozptýleni na ploše chovaných prostor ve srovnání s ustájením pod jasným světlem. Vysvětlením účinků tmy bylo snížení strachu, čímž se může zlepšit životní pohoda jelenů ztmavením chovných prostor.

Podstatným faktorem pro správný welfare zvířat může mít i výška ubikace. Minimálně kvůli odlišujícímu množství světla u zvířat pohybujících se vyšších úrovních expozic, které světlo vnímají. Zdrojem stresu v tomto případě může být přímý pohled chovatelů nebo návštěvníků, nicméně chovaná zvířata mohou být vystavena různé intenzitě a množství světla z okolí (Morgan & Tromborg 2006). Volba mezi úrovnemi osvětlení může být prospěšná například u šimpanzů (*Pan*), kteří se ve svém přirozeném prostředí běžně setkávají s prostorovými odchylkami v úrovních světla (Carlsen et al. 2022).

Intenzita světla má rozdílně ovlivňuje i větší množství fyziologických a biochemických procesů a reakcí ryb a obojživelníků v různých fázích života. Podle Ruchin (2021) je předpokládáno, že druhově odlišné ekologické preference mají být pro daný organismus adaptací pro specifickou ekologickou niku. S ohledem na tento fakt má vývoj a růst nižších obratlovců významný vztah k na ně působící intenzitě světla, a to jak pozitivně, tak i negativně.

Na úrovni osvětlení je závislá i spotřeba kyslíku a potravy. Znalost potřebných hodnot intenzity světla je tak důležitá pro reprodukci a produktivitu ryb. Podle Morgan & Tromborg (2006) se evidentně mnoho odborných výzkumníků domnívá, že přístup ke světlu může mít podstatný vliv na pohodu zvířat chovaných v lidské péči, což dokládají doporučení pro jednotlivé osvětlení v prostředích v lidské péči.

3.3.1.2 Vlnová délka

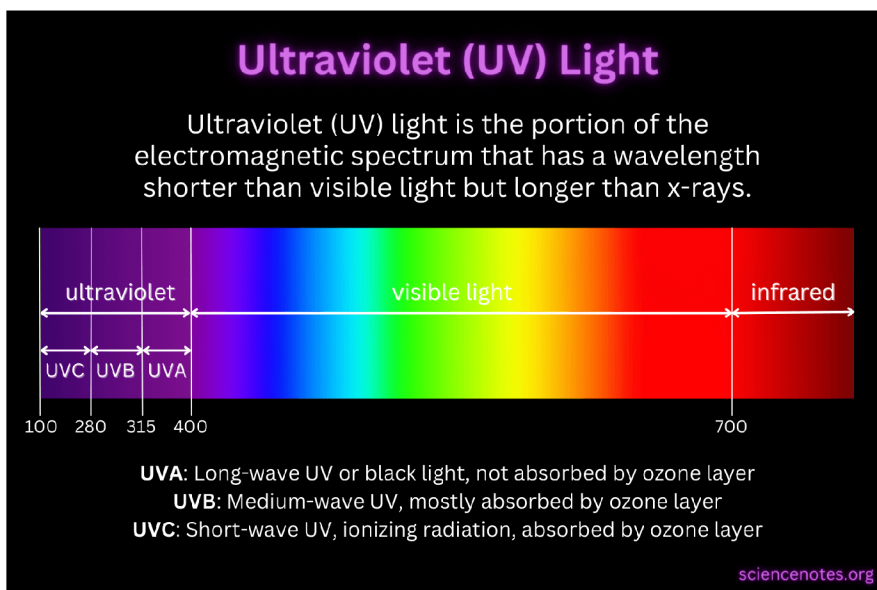
Co se týče vlnové délky světla, každá skupina zvířat se mezi sebou i od lidí odlišuje různou citlivostí na jejich vnímání. To může být faktorem úrovně stresu zvířat v lidské péči (Morgan & Tromborg 2006). Existuje velké množství druhů ptáků, bezobratlých, a menší množství druhů plazů a savců, které dokážou vnímat vlnové délky ultrafialového záření. Informace o UV záření je využíváno při rozhodování o chování například při hledání potravy nebo sociálních interakcích. Neposkytnutí oněch vlnových délek může ve výsledku ovlivnit výběr partnera (Cuthill et al. 2000).

3.3.1.1 Fotoperioda

Důležité je správné načasování světelných cyklů, které v opačném případě mohou být zdrojem stresu pro takto chovaná zvířata v lidské péči. Neustálé vystavení světlu inhibuje cirkadiánní aktivitu (Ikeda et al. 2000). Takovéto narušení normálních cirkadiánních rytmů je silně stresující (Morgan & Tromborg 2006).

3.4 Ultrafialové záření

Každý z nás je denně vystaven ultrafialovému UV záření, a to zejména ze slunce. Jedná se o elektromagnetické pásmo se světelným spektrem o rozsahu vlnových délek od 100 do 400 nm (viz. Obrázek č.5). Vlnová délka UV záření je kratší než viditelné světlo o 400 až 700 nm a infračervené světlo sahající od 700 do 3 200 nm. Lidské oko však může vnímat záření až od 400 nm, takže ultrafialové světlo je pro člověka neviditelné, i když ne pro všechny živočichy. I přesto, že se jedná o světelnou formu, která je pro lidi neviditelná, tak má poměrně výrazný vliv na fyziologické a psychické zdraví většiny živočišných druhů, včetně člověka (Adkins et al. 2003).



Obrázek 5: rozsah ultrafialového záření. Zdroj: <https://sciencenotes.org/ultraviolet-light-or-uv-radiation/>

3.4.1 Spektrální oblasti UV záření

Vlnové délky ultrafialového záření se rozdělují na tři základní spektrální oblasti různého rozsahu oněch vlnových délek. Tyto tři spektrální pásma byla Mezinárodní komisí pro osvětlení (CIE) popsána jako UVC, UVB a UVA. Dlouhovlnné UVA bylo definováno jako rozsah vlnových délek od 315 do 400 nm, dále středněvlnné UVB se popisuje jako rozsah 280 až 315 nm a poslední UVC, které je krátkovlnné je pak mezi 100 a 280 nm (Angelo 2002).

3.4.2 Vlivy na úroveň UV záření

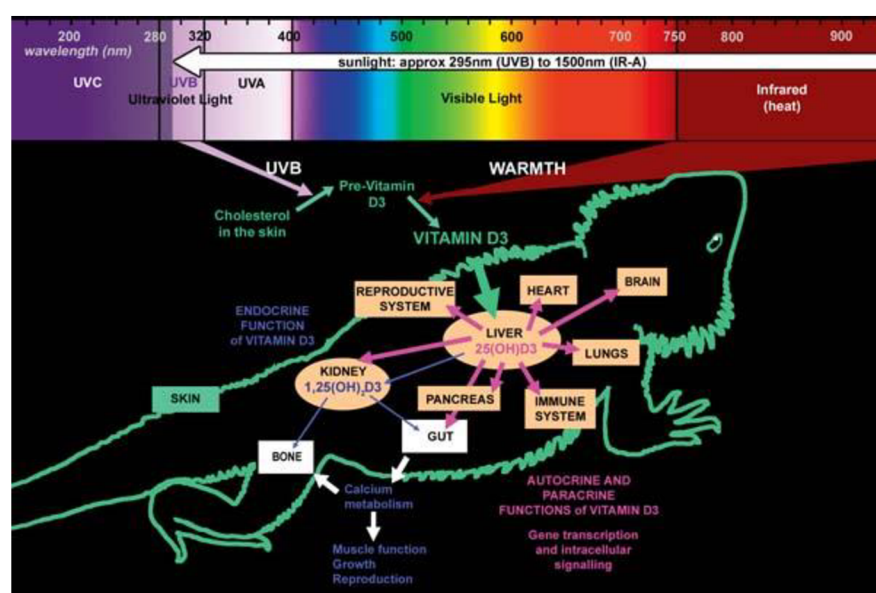
To, v jakém množství a kvalitě se na zemský povrch dostane ultrafialové záření záleží na výdeji slunce a propustných vlastnostech atmosféry. Ve výšce od 25 do 100 km ve stratosféře vzniká disociací kyslíku za účasti krátkovlnného UV záření ozón. Záslouhou této disociace je zabráněno dopadu na zemský povrch životu nebezpečnému záření o vlnových délkách, které jsou nižší než 290 nm, tedy hlavně UVC a z menší části UVB záření (Diffey 1991). Záření v pásmu UVC, zejména záření o vlnové délce 184,9 nm, ionizuje vzduch. Toto záření má biologicky nežádoucí účinky, které mohou způsobovat trvalé změny na mikroorganismech (Habel et al. 2013).

Dopad UV záření na zemský povrch ovlivňují i další faktory. Úrovně UV záření se mění také v závislosti na výšce slunce, tedy na denní a roční době. Mimo tropické oblasti hladiny UV dosahují maxima ve chvíli, kdy je slunce v největší výšce během letních měsíců kolem poledne, kdy je bezmračná obloha. Nicméně i při oblačnosti mohou být tyto úrovně poměrně vysoké a změny nejsou až tak podstatně velké. Nadmořská výška má rovněž vliv na úrovně UV záření.

Mnohem méně UV záření pohlcuje atmosféra ve vyšších nadmořských výškách. Asi o 6 % zvyšuje ultrafialový tok každé zvýšení výšky o kilometr. Ke snižování ultrafialové záření dochází při vzdalování se od rovníku. Vliv tak má i zeměpisná šířka (Diffey 1991).

3.4.3 Působení UV záření na metabolismus

Základem kladného užítku z UV záření na kůži je podle Diffey (1991) jeho nezbytnost pro syntézu v tucích rozpustného vitamínu D (viz. Obrázek č.6). Baines et al. (2016) uvádí, že „syntéza byla prokázána téměř u každého dosud studovaného obratlovce“. Mnoho studií potvrdilo, že nedostatečné množství vitamínu D je těsně spojeno s onemocněními kostí a neodpovídající reprodukcí u zvířat.



Obrázek 6: cesta vitamínu D3. zdroj: <https://reptilesmagazine.com/an-in-depth-look-at-uv-light-and-its-proper-use-with-reptiles/>

3.4.3.1 Záření UVB

Vitamín D má dvě základní formy, ve kterých existuje. Jedná se o formy D2 a D3 a obě jsou syntetizovány následkem působení středněvlňného záření UVB. Zatímco vitamín D2 se následně syntetizuje na ergosterol v kvasinkách a houbách a je přijímán z rostlinné potravy, tak vitamín D3 se syntetizuje v kůži lidí a živočichů (Hurst et al. 2020).

Výsledkem metabolismu vitamínu D za působení enzymů v játrech a poté enzymů v ledvinách je biologicky aktivní kalcitriol. Jedná se o endokrinní hormon, který ovládá metabolismus vápníku, jeho vstřebávání ze střeva a udržuje jeho hladiny v krevním řečišti. U savců má kalcitriol prokazatelně zásadní význam, jelikož provádí mnoho autokrinních a parakrinních funkcí, čímž má kontrolu nad transkripcí genů. Těch je až kolem dvou tisíc a mají

mnoho funkcí v těle. Například buněčné dělení, produkci inzulínu nebo srdeční funkce (Baines 2015). Samozřejmě i u vitamínu D3 může docházet k jeho nadprodukčnímu množství. To je regulováno proměnou přebytečného previtamínu D3 a vitamínu D3 na vnitřní fotoprodukty, což ovlivňuje záření UVB za účasti krátkovlnného UVA. Tento proces na slunečním světle probíhá samovolně (Baines 2015). Hypervitaminóza D je charakterizována hyperkalcémií. Ta je hlavně zodpovědná za patologii, včetně poškození ledvin a metastatické kalcifikace v měkkých tkáních (Wunderlich et al. 2024).

V opačném případě, kdy je vitamínu D nedostatek, se vápník nedostatečně usazuje do vznikajících kostí, čímž vzniká takzvaná křivice neboli rachitis. To znamená, že je většina kostí deformovaná a ztrácí svou podpůrnou funkci. Metabolická kostní porucha, zkráceně MBD, byla u zvířat popsána poprvé už v roce 1884 a bohužel se v chovech vyskytuje dodnes (Baines 2015). V době, kdy jsou pozorovány kostní deformity nebo zlomeniny, které jsou klinickými příznaky těžkého nedostatku, má jedinec nedostatek vitamínu D po značně dlouhou dobu (Stevenson & Rylands 2022). Baines (2015) uvádí, že „ačkoli většina výzkumů vitamínu D3 byla provedena na savcích, studie provedené na jiných taxonech ukazují, že dráhy vitamínu D jsou u většiny suchozemských obratlovců podobné“.

Nejčastěji se hypovitaminóza D vyskytuje při nedostatečné expozici slunečního záření nebo při nízkém příjmu potravy (Stevenson & Rylands 2022). U většiny primátů, včetně lidí se produkuje mateřské mléko s nízkým obsahem vitamínu D, takže potomci odchovávaní svou matkou jsou bez expozice UVB záření ohroženi křivicí. U kosmanovitých (Callitrichidae) byl výskyt metabolického onemocnění kostí snížen dodáním většího množství vitamínu D do jejich potravy. U těchto primátů se však metabolické onemocnění kostí občas vyskytuje i nadále (Power et al. 1995). K nedostatku vitamínu D jsou také náchylní šimpanzi (*Pan.*) chovaní mimo přirozené světlo. Nedostatek vitamínu D může mít za následek problémy s imunitním systémem, reprodukci a srdeční choroby (Carlsen et al. 2022).

Poskytování vitamínu D prostřednictvím potravy se v rámci zoologických zahrad stalo běžnou praxí, nicméně mezi druhy mohou existovat značné rozdíly v účinnosti. Nejlepším řešením je umožnění zvířatům vystavení nefiltrovanému slunečnímu záření, což v praxi není možné ve všech případech. Mnoho chovaných druhů zvířat musí být umístěno v expozicích, které jsou uzavřené. Veškeré přirozené světlo poskytující UVB záření tak prochází blokujícími materiály. Alternativou jsou umělé zdroje (viz. Obrázek č.7) (Power et al. 1995).

UVB přímo účinkuje na kůži. Jeho nadbytečné množství není prospěšné a poškozuje kožní buňky, ale vystavení hladinám, které jsou pro konkrétní druh zvířete běžné v přírodě, má naopak kladné účinky. Laicky řečeno působí v organismu UVB jako dezinfekce, což znamená

že přirozeně ovlivňuje melanocyty a lymfocyty, modeluje kožní imunitní systém a syntetizuje beta-endorfin (Baines 2020).



*Obrázek 7: UV lampa v teráriu pro želvy pardáli (*Stigmochelys pardalis pardalis* Bell 1828) v Zoo Praha (Michal Zorychta)*

3.4.3.2 Záření UVA

Dlouhovlnné záření UVA je částí světelného spektra, které je pro většinu zvířat ve vizuálním dosahu. Ať už pro plazy a obojživelníky, tak i pro savce a ptáky. Poskytování UVA záření je důležité, jelikož hraje důležitou roli v umožnění barveného vidění u zvířat (Baines 2020). Schopnost vnímat UVA záření u mnoha zvířat a rostlin pomáhá při rozpoznávání zvířat stejného druhu a potravy (Baines & Cusak 2019). Záření také ovlivňuje produkování oxidu dusnatého v kůži, kde funguje jako takzvaný vazodilatátor, nebo vylepšuje prokrvení pokožky. Jednou z funkcí, jakou UVA má je také funkce ochranná, kdy před poškozením UV zářením jako takovým chrání buňky v těle (Baines 2020).

3.4.4 Globální solární UV Index

Tento index s jeho navazujícími pokyny byl vyvinut Světovou zdravotnickou organizací (WHO), Světovou meteorologickou organizací (WMO), Programem OSN pro životní prostředí (UNEP) a Mezinárodní komisí pro ochranu před neionizujícím zářením (ICNIRP). Globální Solární UV Index popisuje míru intenzity záření UV ze slunce na zemském povrchu, která má podstatný vliv na lidskou pokožku. Poprvé byl prezentován v roce 1995. Tento nástroj začal sloužit pro rozšíření povědomí o potenciálních rizicích pro veřejné zdraví. UVI je dnes v poměrně mnoha zemích hlášeno v rámci mediální předpovědi počasí. Hodnoty tohoto indexu

se pohybují od nuly výše. S vyšší hodnotou indexu stoupá také potenciál kožního a očního poškození. UV Index neměří pouze celkové UVB, ale specifické vlnové délky, které ovlivňují biologické procesy (Gies et al. 2017).

3.4.5 Fergusonovy zóny

Vystavení světlu se odvíjí od mikrobiotopu a chování zvířete v něm, na což bylo provedeno jen malé množství výzkumů, které se však týkaly zejména UV záření. Podobné mikrobiotopy nicméně mohou mít podobnou úroveň UV záření (Baines 2020). Ferguson et al. (2010) v rámci své studie u 15 druhů plazů v terénu identifikovali rozsah UV záření. Vznikly tak čtyři různé skupiny, které dnes známe jako takzvané Fergusonovy zóny. Ty byly následně využity k odhadnutí správných úrovní záření UV pro plazy chované v lidské péči. Každá tato zóna má svůj číselný rozsah hodnot, který byl vypočítán z údajů získaných z UV indexu studovaných zvířat.

Pro plazy bylo za účelem odpovídajícího dodávání ultrafialového záření navrženo moderní celospektrální osvětlení, které lze prakticky aplikovat při vytváření úrovní UVB záření i pro větší zvířata v expozici širšího rozsahu. I když je aplikování Fergusonových zón v praxi stále ve fázi experimentu, tak se zdá být na místě je využít také jako klíč pro jiné chované taxony. Je však důležité vzít v úvahu, že všechny dosavadní pokyny jsou jen a pouze odhady a přesné potřeby na UV záření nejen pro plazy a obojživelníky, ale také u savců a ptáků jsou stále neznámé. Při aplikování Fergusonových zón je tak potřeba stále sledovat hladiny UV záření a také reakce zvířat, nejlépe následně zaznamenávat výsledky (Baines 2015).

3.4.6 Použití Fergusonových zón

Na základě termoregulačního chování daného druhu zvířete navrhl Ferguson et al. (2010) způsob použití vhodného gradientu UV (viz. Tabulka č.1). Tento návrh zahrnuje dva číselné rozsahy hodnot. Jednak se jedná o tzv. „Zone Range UVI“, což je charakterizováno jako průměr všech hodnot UVI pro daný mikrobiotop pro jedno místo a čas. Příkladem budiž zóna 1, která je vhodná pro druhy soumravné nebo druhy pobývajících spíše ve stínu. Průměrná expozice pro tuto zónu je v rozsahu UVI od 0 do 0.7. Tato hodnota může být vnímána jako vhodná „střední“ úroveň UV záření pro konkrétní druh v této zóně. Druhým číselným rozsahem je maximální zaznamenané UVI pro danou zónu, což je v případě zmíněné zóny 1 hodnota od 0.6 do 1.4. Jedná se o jakýsi odhad maximálních úrovní, se kterými se může daný druh zvířete v přírodě setkat. Dá se to považovat jako klíč pro nejvyšší vhodnou hranici gradientu záření UV v chovu v lidské péči (Baines et al. 2016).

Tabulka 1: přehled Fergusonových zón a jejich interpretace pro vhodné rozsahy UV indexu pro všechny taxony (Baines 2020)

Ferguson zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
microhabitat	shade dwellers, crepuscular, nocturnal	dwellers in dappled sunlight, forest edge	sun-loving and shade-seeking	full sun all day
suggested UV range	0.7-1	1-3	3-7	4.5-8

3.4.6.1 Zóna 1 a 2

Druhy vedené běžně v zóně 1 nevyhledávají přímé sluneční záření nebo se mu dokonce vyhýbají a své nároky na vitamín D jsou schopni naplnit vystavením se hladinám UVB, které jsou nižší právě ve stínu, za východu slunce nebo za soumraku. Velmi blízko k první zóně mají i druhy zvířat vedené v zóně číslo 2. S tím rozdílem, že tyto druhy ojediněle využijí i plného slunečního světla. Mezi takovéto druhy se řadí například většina denních hadů z rodu užovek (*Natrix*) nebo chameleoni (*Chamaeleoninae*) starého světa.

Zvláštní ohled se bere na druhy zvířat aktivujících zejména v noci. Dříve se předpokládalo, že druhy zvířat aktivujících za soumraku a v noci záření UV nepotřebují. Důvodem byl logický fakt, že jejich způsob života nezahrnuje vystavování se dennímu světlu a také to, že všechen vitamín D3 získávají z potravy. Ač mohou masožravé druhy získávat dostatečné množství vitamínu D3 ze své kořisti, není možné, aby dostatečné množství mohli získávat hmyzožravci z jejich přirozeného zdroje potravy. Hlavním zdrojem tak musí být kožní syntéza (Baines et al. 2016). Carman et al. (2000) ve svém výzkumu u nočního gekona tureckého (*Hemidactylus turcicus* Linné 1758) potvrdili, že u tohoto druhu může probíhat fotobiosyntéza vitamínu D3 a může mít mechanismus ke kompenzaci jeho dosti omezené expozice UVB záření mnohem citlivější než u denních ještěřů. To ukazuje na fakt, že noční plazi potřebují kůži s hodně vysokou propustností ultrafialového záření.

Do této zóny lze zahrnout také noční savce, například outloně (*Nycticebus*) žijící ve stínu vystavené úrovní UV záření za denního světla až do UVI 1.4 nebo částečnému slunci při výskytu na okraji lesa do úrovně 3.0 v rámci zóny 2. Zcela vhodné hodnoty hladiny UVI pro outloně spící během dne nejsou známy, ale vytvoření míst ke spaní, které by měly různě stupně osvětlení od stínové 0 do úrovně 1.4 při tečkovaném světle, by mohlo vytvořit mikrobiotop spadající do Fergusonovy zóny 1. Volba by tak byla zcela na zvířatech. Prospěšně

by mohlo být také vytvoření místa s maximem UVI 3.0 jakožto ranního světla v otevřenějších oblastech (Byczyk et al. 2022).

Ve finále mají některá noční zvířata možnost syntetizovat vitamín D3 ve své kůži a k tomu může přirozeně docházet v jejich vystavení dennímu světlu. Z toho vyplývá, že není důvod neposkytovat těmto zvířatům plnospektrální osvětlení v případě, že budou mít možnost se schovat před zářením do úkrytu (Baines et al. 2016).

3.4.6.2 Zóna 3

Pro druhy odpovídající třetí Fergusonově zóně je charakteristické běžné nebo jen částečné slunění brzy odpoledne a aktivní termoregulační chování. Želva bahenní (*Emys orbicularis* Linné 1758) je právě tímto druhem. Maximální hodnota UVI pro druh v této zóně se pohybuje od 2.9 do 7.4. Běžný rozsah této zóny je 1.0-2.6. U druhů želv žijících ve vodním prostředí je tento gradient běžný, ale když je zvíře pod vodou, vyšší úroveň je omezena na vyhřívací oblast se sklonem k nule. Aby bylo pokrytí UV účinné, tak musí být minimálně tak široké jako celé tělo zvířete. V praxi by se tak používané lampy měly nacházet nad zvířetem tak, aby byla oční víčka a hlava kryta stínem (Berthomieu & Vermeer 2021).

3.4.6.3 Zóna 4

Druhy zóny 4 zahrnují jsou převážně pouštní, které se vyhřívají na přímém slunci ještě častěji než druhy ze zóny 3. Důležité je brát v potaz, aby vyhřívaná oblast byla dostatečně velká pro přirozený výběr zvířete. Průměrný rozsah této zóny je od 2.6 do 3.5. Při chovu leguánů chutných (*Iguana delicatissima* Laurenti 1768) vedených v zóně 4 je nutné mít k dispozici gradient s indexem UVB v nižších oblastech mimo dosah vyhřívání kolem 0 a ve vyhřívaných oblastech maximální UVI kolem 3 až 6. V Karibiku, který je přirozeným místem výskytu těchto leguánů, sice dosahují úrovně UVI mnohem vyšších hodnot, až kolem 13 na letním poledním slunci při jasné obloze, ale jejich vystavování plnému slunci je v tom případně spíše výjimečné. Vhodnější je nižší rozsah hodnot UVI mezi 3 a 4 pro mláďata a vyšší hodnoty od 5 do 6 ideálně pro dospělé jedince (Goetz et al. 2023). Obdobným způsobem je UVI poskytováno také u želv angonokých (*Astrochelys yniphora* Vaillant 1885) (Goetz 2019).

3.4.7 Měření UV záření

Pravidelný monitoring UVB záření je důrazně doporučován, jelikož pravidelným monitorováním bude zaručeno poskytování odpovídajícího spektra UV záření, což je výhodné při používání nepřirodních světelných zdrojů (Reh et al. 2021). V rámci zařízení určených

k měření záření UV se na trhu můžeme setkat s dvěma variantami. A to buď s UVB nebo UV Index (UVI) metry. Oba tyto typy prodávají společnosti Solartech a ZooMed (viz. Obrázek č.8).

Expozici UV záření u patnácti druhů plazů v terénu studovali Ferguson et al. (2010) pomocí přístroje Solarmetr 6.5 UV Index. Solarmeter 6.5 UV Index Meter (Solartech Inc., Glenside, PA), také prodáváný pod obchodním názvem ZooMed Digital UV Index Radiometr (ZooMed Laboratories Inc., San Lios Obispo, CA) je momentálně nejvhodnějším měřicím přístrojem k dispozici (Baines & Cusak 2019). Tento měřicí přístroj v porovnávacích experimentech de Corrêa et al. (2009) s některými jinými UVI měřidly fungoval nadstandardně dobře. Ve finále to umožňuje potenciální odhad syntézy vitamínu D za slunečního záření a kteréhokoliv umělého zdroje UV záření (Baines & Cusak 2019).

Měřiče UVB jsou vhodné pro využití při určování toho, zda konkrétní lampa vyzařuje UVB či nikoliv. Tímto typem zařízení lze také sledovat postupný rozpad UVB záření během času, takzvaná amortizace. Příkladem UVB metru je Solarmetr 6.2 UVB metr, který byl navrhnout a vyroben společností Solartech, Inc. Toto zařízení bylo uzpůsobeno k odhadu celkového UVB záření, které dopadá na jeho senzor. Reaguje na vlnové délky od UVC až po krátkovlnné UVA. Různé značky těchto ručních širokopásmových měřičů však budou po použití mít různou spektrální odezvu, která je typická pro všechny UVB metry obecně. Pokud nejsou speciálně synchronizovány pro spektrální distribuci výkonu pro danou lampu, každý takový měřič bude udávat jinou hodnotu než tato lampa v jakékoliv vzdálenosti. V praxi to znamená, že je nelze využít pro porovnání několika různých značek lamp UVB. Dvě rozdílné lampy mohou totiž vydávat odlišné hodnoty UVB, ale reálně mají stejnou hodnotu UV indexu (UVI). Stejně tak i naopak (Baines et al. 2016).



Obrázek 8: měřiče UV indexu. Zdroj: <http://www.uvguide.co.uk/usinguvmeter.htm>

3.4.8 UV-Tool

Průvodní dokument UV-Tool byl odbornou skupinou v rámci Britské a Irské asociace zoologických zahrad a pracovní skupinou pro plazy a obojživelníky (BIAZA RAWG) vytvořen za účelem obsažení základních informací o požadavcích UVB pro zoologické zahrady. Obsahuje údaje o tepelných gradientech pro plazy a obojživelníky, jejich fotoperiodě, výhřevném chování a přirozených mikrokostanovištích. Tento průvodce zahrnuje 252 druhů plazů a obojživelníků a byl vytvořen z údajů celkem třinácti zoologických zahrad v rámci celého Spojeného království a od osmi odborníků specializovaných na druhy. Tyto druhy plazů a obojživelníků byly v tomto dokumentu zařazeny do jednotlivých oblastí UVI Fergusonových zón. V současné době je v případě zájmu k dispozici pro všechny zoologické zahrady, které mohou stále zasílat údaje o nových druzích do databáze pro plánovanou aktualizaci. Výběr správné lampy pro daný chovaný druh závisí jednak na Fergusonově zóně zvířete, jež doporučuje UV gradient a jednak na velikosti výběhu. Ve finále je umístění lamp možné určit za použití UV Index metru (Baines 2015).

3.5 Světelné zdroje

Světelnými zdroji jako takovými jsou tělesa, která vyzařují viditelné záření. Mohou být přírodní, což zahrnuje slunce, měsíc nebo blesk. Umělými zdroji pak jsou například lampa, žárovka, výbojka, světelná LED dioda a další (Habel et al. 2013). Každé osvětlení používané při chovu zvířat musí vhodně odpovídat potřebám daného druhu zvířete. Musí zahrnovat adekvátní periodicitu svícení s ohledem na denní a noční zvyky (Warwick et al. 2018).

3.5.1 Doba osvětlení

Warwick et al. (2018) udává, že všechna zvířata potřebují přiměřenou úroveň spánku pro jejich optimální zdraví. V případě nedostatečného vnějšího osvětlení se v chovatelských podmínkách ve vnitřním prostoru přisvětluje po dobu od 12 do 14 hodin během dne (Novák et al. 2015). Samostatnou kapitolou je pak osvětlení v takzvaných nokturnáriích, kde jsou zvířata chována v převráceném denním cyklu a jsou tak umělému světlu vystavena 24 hodin denně (Fuller et al. 2016).

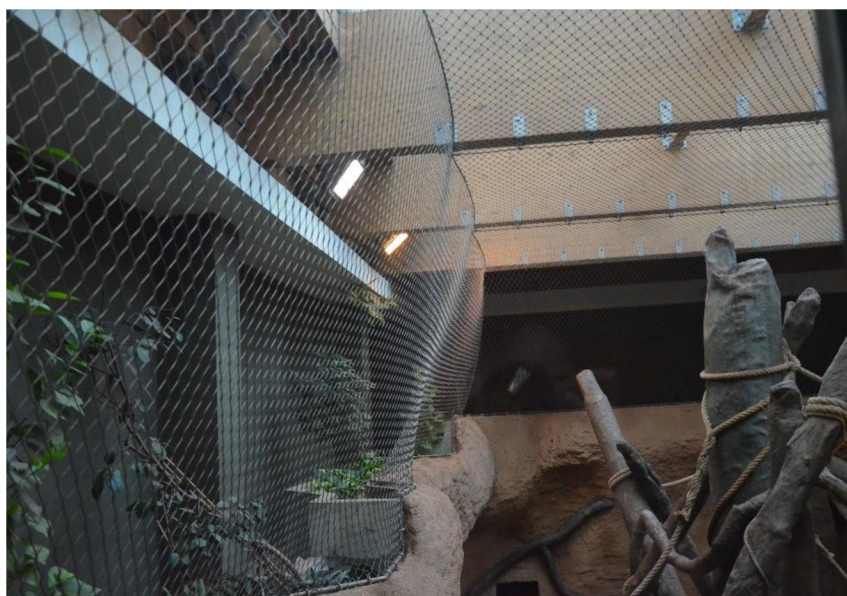
3.5.2 Ochrana osvětlení

Na místě je také téma zabezpečení elektrických zařízení používaných v expozicích pro zvířata. Základním aspektem instalace těchto technologií je zejména v případě savců jejich umístění (Rosenthal & Yanten 2010).

U lidoopů (Hominidae), ale stejně tak i u všech ostatních primátů, by právě takové zdroje umělého světla měly být dobře chráněny nejlépe mimo dosah zvířat (viz. Obrázek č.9). Je třeba brát v potaz zvýšené riziko například pádu rozbitého skla (Bemment 2018; Carlsen et al. 2022; Hartley & Chapman 2018). Osvětlovací zařízení v dosahu zvířat mohou mít následky v podobě vážných poranění zvířat a škod na majetku. Podle Rosenthal & Yanten (2010) byla v jednom případě světelná zařízení v expozici orangutanů bornejských (*Pongo pygmaeus* Linné 1760) chráněna drátěným pletivem, přes které bylo sice zabráněno kontaktu dospělým jedincům, ale mláďata mohla jednoduše natáhnout ruce tak, že by dokázala zařízení poškodit. Takováto zařízení, která se nacházejí přímo v uzavřené expozici zvířat by měla mít dostatečně silný ochranný kryt, aby přežila jakékoliv možnosti poškození. Podle Stevens (2020) je v některých případech vhodné, aby byly světelné zdroje vodotěsné a odolné proti rozbití.

Zvláštní zabezpečení by měla platit i u velkých kočkovitých šelem. Podle Biddle (2022) by například v chovném zařízení jaguárů amerických (*Panthera onca* Linné 1758) mělo být vnitřní osvětlení chráněno síťovými bariérami. To samé platí také pro světlíky. Biddle (2022) uvádí příklad Paradise Wildlife Park ve Velké Británii, kde je světlo pro chovatele k dispozici v doupatech pouze během úklidu.

Mezi časté zdravotní problémy plazů se řadí léčba tepelných poranění. Popáleniny jsou nejčastěji následkem vystavení nevhodným zdrojům tepla. Potenciální zranění pochází zejména z tepelných lamp umístěných příliš blízko zvířat nebo uvnitř výběhů bez jakýchkoliv krytů (Scheelings & Hellebuyck 2019).



Obrázek 9 osvětlení chráněné sítě mimo dosah zvířat v expozici šimpanzů hornoguinejských (*Pan Troglodytes verus* Schwarz, 1929) v Zoo Ostrava (Michal Zorychta)

3.5.3 Údržba osvětlovacích soustav

Osvětlení má značně významný podíl na spotřebě elektrické energie a na účinnost jejich funkce a provoz má značný vliv jejich údržba. Ať už se jedná o venkovní či vnitřní světelná zařízení, tak od počátku jejich provozního fungování se postupně znehodnocují. Toto znehodnocení vypadá tak, že dochází k postupnému snižování hladiny osvětlenosti vyvolané poklesem světelného toku, který vydává osvětlovací soustava. Jedná se o výsledek několika faktorů. Tento pokles je způsoben prachem a nečistotami, které se na svíticích plochách světelných zdrojů usazují (Habel et al. 2013). To je speciálně důležité během používání UV osvětlení. Nahromaděný prach v tomto případě může UV záření pohltit a přeměnit ho na teplo (Warwick et al. 2018).

Během provozu je potřeba pamatovat na samotnou životnost světelných zdrojů. Vyzařovaný světelný tok postupně klesá také vlivem stárnutí světelných zdrojů nebo jejich případným výpadkem (Habel et al. 2013). Zejména u lamp vyzařujících UV záření se jejich spektrum rychle mění a úroveň záření časem klesá. Lamy či světelné trubice by tak měly být v pravidelných intervalech kontrolovány a případně vyměňovány podle toho, co je uváděno jejich výrobcem (Hartley & Chapman 2018). Tyto základní faktory je při řešení osvětlovacích soustav nutné brát v úvahu během provozu. Může dojít k poklesu osvětlenosti k velice nízkým hodnotám a světelné zařízení se může stát nevyhovující i po hygienické a energetické stránce (Habel et al. 2013).

3.5.4 Umělé osvětlení

Umělé zdroje osvětlení v poslední době prochází výrazným vývojem. Správný výběr světelného zdroje je základním předpokladem pro úspěšný návrh osvětlovací soustavy. Je zásadní vybrat dobře s ohledem na několik atributů: výkonost, užitečný život a v neposlední řadě cena. Elektrické světelné zdroje se podle vzniku světla samotného dělí na zdroje teplotní jako obyčejné a halogenidové žárovky, výbojkové zdroje zahrnující zářivky, kompaktní zářivky, halogenidové výbojky, a zdroje elektroluminiscenční, mezi které se řadí světelné LED diody (Habel et al. 2013).

3.5.4.1 Použití zdrojů UV záření

Žádný druh zvířete by neměl být trvale vystaven intenzivnímu světlu a v chovných prostorech musejí mít dostatek krytých nebo stinných míst, aby tak zvíře mohlo uniknout z dosahu světla dle potřeby. Denní zvířata ani nemusí v přírodě během celé této doby pobývat v dosahu silného slunečního záření. V návaznosti na tento fakt, by umělé vystavení UV záření

nemělo působit po celý den (Warwick et al. 2018). V případě poskytování světla za využití umělých zdrojů je důležité kopírovat sluneční záření, a to co nejdřívejším způsobem. UVB záření by mělo být spárováno s krátkovlnným infračerveným zářením (IR-A) a vytvářet tak vyhřívací zónu (viz. Obrázek č.10). Vyhřívací zóna napodobující paprsek slunečního světla musí být dostatečně velká, aby umožnila zvířeti zahřát celé tělo (Baines et al. 2016).

Jelikož sklo a plast zcela pohlcují a nepropouští UV záření, nesmí být jejich zdroje těmito materiály zastíněny (Warwick et al. 2018). Při používání UV lamp je důležité dodržet bezpečnou vzdálenost před intenzitou UV záření. Zatímco příliš krátká vzdálenost by s ohledem na důležité biologické procesy spojené s UV záření nemusela být účinná, tak v opačném případě by mohla působit škodlivě (Hartley & Chapman 2018; Warwick et al. 2018). Podle Hartley & Chapman (2018) je například u kočkodanů Brazzových (*Cercopithecus neglectus* Schlegel 1876) doporučováno použití UV lampy s nízkou intenzitou. Takto může vydržet několik hodin denně, aniž by měla škodlivé účinky na zvířata. Stejně doporučení pro osvětlení při chovu mangabejů (*Cercocebus spp.*) vychází z Abelló et al. (2018). Při chovu šimpanzů bonobo (*Pan paniscus* Schwarz 1929) Stevens (2020) poukazuje také na dostatečně velký prostor pod zdroji UVB záření, aby jej mohla využívat všechna zvířata a nedocházelo k monopolizaci dominantních jedinců.

Na vzdálenosti UV lamp o zvířata záleží i jejich použití například u nosorožců tuponosých jižních (*Ceratotherium simum simum* Burchell 1817), které může zejména u mláďat být výhodné s ohledem na stavbu kostí. V praxi je ale použití velice obtížné, co se týče bezpečnosti a samotné účinnosti. Nicméně terapie UV zářením po dobu jedné hodiny během zimního období by mohla pomoci předejít kožním problémům (Versteeg 2018).



Obrázek 10: vyhřívací zóna v teráriu v Zoo Katowice (Michal Zorychta)

3.5.4.2 Zářivkové osvětlení

Náklady na zářivkové osvětlení mohou být sice vyšší, ale pozitivem je delší životnost, jelikož využívají energii mnohem efektivněji. Osvětlení zářivek je rovnoměrné a trubice produkují méně tepla, čímž můžou snížit navyšované množství tepla v prostorově menších expozicích. Použití trubic, které simulují denní světlo, je v dnešní době poměrně častou praxí (Rosenthal & Yanten 2010). Zářivky sice vydávají ultrafialové záření, ale jen malé množství (Saunders et al. 2008).

Pro malé prostory lze využít dvou typů zářivek, které dodávají UVB. Standardní T8 UVB zářivky a kompaktní zářivky mají běžně nízký výstup UVB a nezaostřený paprsek. Nutná je jejich kombinace s viditelným světlem a infračerveným zářením. Je možné je použít při vytváření malých zón s nízkou úrovní UV. Jejich použití je vhodné pro zvířata ve Fergusonově zóně 1. Zářivky T5 High Output vydávají mnohem vyšší UVB výstup a soustředěnější paprsek, takže jsou vhodné k vytvoření vyhřívacích míst pro zvířata ve Fergusonových zónách 3 a 4. Zatím jen jeden typ lampy se osvědčil při osvětlování dostatečně velké plochy slunečními úrovněmi UVB, a to zářivka T5-HO UVB. Tyto trubice se v různých velikostech využívají v britských zoologických zahradách ve velkých chovatelských prostorách pro plazy, obojživelníky, primáty a ptáky (Baines 2020).

Jejich využitelnou hodnotu ještě zvyšuje používání speciálně pro zářivky určených stmívačů, jejichž využití snižuje elektrickou energii a při zvláštním nastavení prodlužují i životnost. Jedná se o typ spínače, který lze variabilně nastavit tak, aby upravoval úroveň jasu od slabé záře po maximální jas. Stmívač však musí být přímo uzpůsoben pro typ osvětlení, který ovládá. Časování spínače je řízeno pomocí vestavěných elektrických hodin a je možné spínač ovládat i ručně. Pomocí tohoto zařízení je možné zapínat a vypínat světla v časech, které byly dopředu nastaveny na pravidelné bázi. Použití těchto spínačů je vhodné pro řízení fotoperiod v nočních expozicích, kde není přístup k přirozenému dennímu světlu (Rosenthal & Yanten 2010). Problém může nastat po delší době životnosti zářivek, kdy později vydávají stále méně ultrafialových paprsků. Tento fakt by se měl brát v potaz při jejich používání a neměly by být používány déle, než předepisuje výrobce (Puschman et al. 2013).

3.5.4.3 LED osvětlení

Aktuálně jsou k dispozici dva typy LED osvětlení. Bílé LED pro simulaci bílého světla využívají modrou LED a fosfor. Jejich spektrum však má nedostatek azurové a červené a není zde obsaženo žádné UVA ani UVB. Oproti tomu u LED diody vyzařující pouze jednu barvu ve

velmi úzkém pásmu vlnových délek je bílá barva složena kombinací červených, modrých a zelených LED v rámci jedné žárovky. Toto světlo se žádným plazům nezdá bílé, jelikož mají odlišný rozsah než lidé po vizuální stránce. Jako primární zdroj světla do terárií ve výsledku nejsou doporučovány žádné LED s tím, že mohou poměrně vhodně sloužit jako světlo doplňkové či pro podporu růstu rostlin (Baines & Cusak 2019). První UV lampy pro plazy založené na LED technologii byly k dispozici v roce 2020 a nyní je jejich značné množství dostupné po celém světě. Výhodou UVB-LED lamp je vysoká energetická účinnost, dále pak absence rtuti a snadná instalace bez externích předřadníků (Wunderlich et al. 2024). Spektra UVB-LED lamp však nejsou uspokojivá. Na základě spektrální analýzy od Wunderlich et al. (2024) u 18 z těchto lamp se jejich spektra jen málo podobala slunečnímu UV spektru. Některé lampy vyzařují nepozemské UVB záření a všem chybí vlnové délky zabraňující nadprodukcii vitamínu D. Jsou tak požadovány dlouhodobé zkoušky na zvířatech.

3.5.4.4 Výbojkové osvětlení

Halogenidové výbojky, které jsou využívány u sladkovodních akvárií, mohou při jejich vysoké kvalitě vydávat plno brilanci slunečního světla, které obsahuje UVA a infračervené záření. Absentuje zde však záření UVB. Jejich umístění přímo nad teráriem však může být problematické. V přímém zorném poli zvířete by mohlo způsobit poškození oka. Halogenidové výbojky jsou totiž vysoce intenzivními výbojkami (HID lampy), které vyžadují externí předřadníky a nejsou použitelné se stmívacím termostatem (Baines & Cusak 2019).

Rtuťové UVB výbojky se liší výkonem UVB a jeho kvalitou. Tyto výbojky také produkují značné teplo a nelze je ovládat termostaticky, což je dělá vhodnějšími pro větší prostory (Baines 2013). Všechny mají špatné viditelné spektrum, ale mohou mít vysoký UV výstup. Je třeba se vyhnout lampám, které mají čiré přední sklo a produkují velmi úzké paprsky, a vytvářejí tak až příliš „horké místo“ ve prospěch lamp s rozšiřujícím paprskem (Baines & Cusak 2019).

3.5.4.5 Žárovkové osvětlení

Jak wolframové, tak i halogenidové žárovky poskytují vynikající teplo a světlo může být ovládáno termostaticky (Baines 2013). Správná vyhřívací zóna pro velké plazy by měla být ideálně vytvořena použitím několika žárovek s nízkým výkonem, a ne jednou s příliš vysokým výkonem. Vyhřívací plocha by měla být dostatečně velká jako je celé tělo zvířete. Záření tak bude rovnoměrně rozloženo bez příliš horkých míst. V opačném případě může dojít k popálení kůže zvířat. K vytvoření vyhřívacích zón se využívají základní halogenidové a wolframové

žárovky, u kterých převládá oranžové a červené světlo a krátkovlnné infračervené záření (IR-A). IR-A však zahrnuje vlnové délky, které byly atmosférickou vlhkostí z přirozeného slunečního světla odstraněny. Vyzařují také vlnové délky IR-B a IR-C (Baines & Cusak 2019). Žárovkové světlo vydává jen malé množství UV záření (Saunders et al. 2008). Zatímco UVA záření obsahuje jen velmi málo, UVB záření zde absentuje úplně (Baines 2013).

3.5.5 Noční expozice

Zvířata s převážně noční aktivitou jsou v moderních zoologických zahradách běžně chována v převrácených světelných cyklech, takže návštěvníci mohou v ideálním případě během otevírací doby pozorovat tato zvířata a jejich přirozené chování (Fuller et. al., 2016).

3.5.5.1 Princip

Zvířata v těchto ubikacích mohou návštěvníci pozorovat přes sklo, jinak je ubikace uzavřena stěnami. Fungování nokturnárií spočívá v přehození denního a nočního režimu. Během běžné návštěvnické doby světelné podmínky v expozici navozují noc a k plnému dennímu svícení dochází během skutečné noci (Puschman et al. 2013). Podle Fuller et al. (2016) „osvětlení expozice během fáze tmy však znamená, že noční obyvatelé jsou vystaveni umělému světlu 24 hodin denně“.

Zdroje jasného záření jsou během noční fáze skryty, aby nemohla být zvířata osvětlena. Tento režim lze převrátit během několika dnů. Jelikož v tropických oblastech trvá soumrak pouze krátký čas, doba přechodu mezi fázemi by měla trvat maximálně do jedné hodiny. Návrat k opravdovému střídání denního a nočního režimu může ale trvat mnohem delší dobu až několika týdnů (Puschman et al. 2013).

Při vytváření fáze noci v nokturnáriích je třeba klást důraz na několik hlavních faktorů. Světlo ovlivňuje vidění jak chovaných zvířat, tak i vidění návštěvníků, kteří zvířata pozorují. Dále jsou to vlivy světla v noci na chování zvířat a na jeho cirkadiální rytmy (Byczyk et al. 2022) Základním pravidlem při chovu savců v takovýchto expozicích je správné střídání ročních období, aby nedocházelo k poruchám biorytmu a zvířata se mohla přirozeně pravidelně rozmnožovat. Délka denního svitu tak nesmí být po celý rok stejná a musí se v závislosti na ročním období zkracovat či prodlužovat. Puschman et al. (2013) uvádí, že například v případě makiů (*Microcebus sp.*) chovaných trvale v ubikacích pod přímým světlem díky oknům a světlíkům, se koncem zimy, přibližně do konce března, odehrává období páření a mláďata se následně rodí během jara.

3.5.5.2 Osvětlení

Druhy zvířat, které se svou dobovou aktivitou řadí mezi noční a soumrakové by neměly být světlu vystaveny v nadměrném množství. Noční zvířata by neměla být vystavována invazivnímu světlu na základě vystavovacích potřeb zařízení. Ideální ale není ani pouhé umístění ve tmavých oblastech zařízení (Warwick et al. 2018). U nočních primátů, kteří mají mnohem lépe uzpůsobené oči pro noční vidění, dokonce úplná tma výrazně snižuje jejich aktivitu. V přírodě je absolutní tma během noci ojedinělá. Stále je dostatečné množství světla, při kterém se mohou primáti orientovat v prostředí kolem sebe. Z tohoto faktu vyplývá, že i jen částečné svícení během noci jak pro denní, tak i noční zvířata by mohlo být pozitivní (Griede 1989). V případě nočních primátů nicméně existuje jen malá shoda ohledně osvědčených postupů osvětlení. Typ a kvalita osvětlení se mezi zoologickými zahradami značně odlišují (Fuller et al. 2016). U nočních druhů obojživelníků by temná fáze světelného cyklu měla obsahovat světlo s nízkou intenzitou pro detekování kořisti (Pough 2007). U nočních a soumrakových druhů zvířat by neměly absentovat zdroje světla pro osvětlení s nízkou úrovní a obsahem UV záření (Warwick et al. 2018).

3.5.5.3 Barva světla

Podle Puschman et al. (2013) se zvířatům během denní fáze simuluje měsíční svit pomocí vysokého podílu krátkovlnného modravého světla, které je při noční fázi zcela zakryto, aby nerušilo rytmus zvířat. Naopak dlouhovlnné červené světlo se používá v noční fázi, jelikož toto nemohou zvířata s ohledem na jemnou stavbu očí plně vnímat (viz. Obrázek č. 11).

Na tomto místě však vzniká problém, kdy červené světlo může působit nepříjemně na vidění návštěvníků, kteří zvířata v takto nasvícené expozici pozorují. Proto se doporučuje takzvaný efekt „měsíčního svitu“, při kterém se použije velice slabé bílé světlo a lidské oči se tak alespoň částečně přizpůsobí tmě (Byczyk et al. 2022). U mnoha nočních savců již bylo dříve dobře zdokumentováno, že má na jejich chování vliv měsíční svit. Výzkumnými studiemi bylo potvrzeno, že savci s noční aktivitou na jasné noční světlo reagují sníženou aktivitou při vyhledávání potravy, omezeným pohybem a sníženým množstvím hlasových projevů. Opačné zvýšení aktivity bylo pozorováno u nočních primátů (Gursky 2003).

Několik odborných studií potvrdilo, že je při osvětlování nočních expozic během noční fáze potřeba se vyvarovat modrému světlu a bílému osvětlení s vysokou koncentrací modrých vlnových délek. Toto osvětlení má významný účinek na cirkadiánní rytmy (Byczyk et al. 2022).

Z výzkumů Fuller et al. (2016) bylo prokázáno, že každý z pozorovaných jedinců několika druhů nočních poloopic rodů poto (*Perodicticus sp.*), outloň (*Nycticebus sp.*), komba (*Galago sp.*) a ksukol (*Daubentonia sp.*) zařazených ve studii zabývající se vlivem svícení červeného a modrého světla v noci, projevoval mnohem vyšší úroveň aktivity pod červeným světlem než pod modrým osvětlením. A to bez ohledu na chovné zařízení, změny v chovu a individuální charakteristiky jedinců. Studie ukázala i to, že se jedinci modrému světlu dokonce aktivně vyhýbali pobýváním v úkrytech. Podle několika pozorování v rámci zoologických zahrad se také vyjmutí modrého světla a přidání nízké úrovně teplého bílého osvětlení projevilo zlepšením úrovně aktivity zvířat a úspěšnosti samotného chovu u outloňů malých (*Xanthonycticebus pygmaeus* Bonhote 1907) (Byczyk et al. 2022).

Z výzkumného hodnocení Fuller et al. (2013) chovných zařízení na území Spojených států amerických (USA) vyšlo najevo, že více než polovina studovaných skupin outloňovitých (Lorisidae) je chována pod modrým světlem. Většina těchto zařízení navíc nebyla schopna poskytnout intenzitu osvětlení. A to i navzdory výzkumům dokazujícím sníženou aktivitu outloňů ve světlejších prostorech.



Obrázek 11: noční expozice pro komby (*Galago sp.*) v Zoo Poznaň (Michal Zorychta)

3.5.6 Přirozené osvětlení

Nejlevnější možností osvětlení chovatelských podmínek pro zvířata v rámci zoologických zahrad je osvětlení přirozené. Takovéto světlo se může do vnitřních prostor zvířat dostat několika způsoby. Klasicky používaná jsou jednoduchá okna v ubikaci, světlíky nebo

střešní okna. Použity mohou být také světlovody neboli světelné kanály a prosvětlující prvky (Novák et al. 2015). V některých chovatelských zařízeních může do vnitřní expozice přirozené světlo dopadat přes prosklenou střechu (viz. Obrázek č.12). V takovém případě je potřeba například u šimpanzů (*Pan*) využití možnosti umělého osvětlení v tmavých obdobích v roce pro kompenzaci snížené úrovně osvětlení. Doba denního světla by při kombinaci denního světla a umělého osvětlení měla být alespoň 10 hodin po celý rok, jelikož délka denního světla má obecně hormonální vliv na laktaci nebo cyklus (Carlsen et al. 2022). V chovném zařízení pro orangutany sumaterské (*Pongo abelii* Lesson 1827) v Zoo Hamburg lze střechu tzv. otevřít (Novák et al. 2015). Dle Warwick et al. (2018) však ultrafialové záření sklo a plasty nepropouští. To mohou vyřešit vícevrstvé fólie, které UV záření propouští a mohou být také použity na střeše pavilonu (Puschman et al. 2013). Ve vnitřních prostorech je možné na střešní okna a okna použít speciální skla, které záření mohou také propouštět. Jejich propustnost je přibližně poloviční. Další variantou jsou akryláty, které UV záření propouštějí dokonce až z 80 % (Baines 2020). V jiném případě je potřeba se spolehnout na poskytnutí správného a kvalitního osvětlení umělého.



Obrázek 12: expozice orangutanů sumaterských (*P. abelii*) v Zoo Praha (Michal Zorychta)

4 Metodika

Experimentální část práce byla vypracována metodou dotazníkového šetření. Dotazník byl online rozeslán zástupcům několika zoologických zahrad. Sběr dat probíhal od února do dubna 2024 a zapojilo se do něj 14 zástupců českých a slovenských zoologických zahrad.

Většina hlavních otázek byla výběrových a odpovědi jsou zaznamenány v grafech a tabulce. To je doplněno odpověďmi z rozepisovacích podotázek.

Výsledky dotazníkového šetření byly zpracovány z celkem 8 hlavních otázek.

- 1. Využíváte UV osvětlení u zvířat? Případně u koho?**
- 2. Máte nějaké negativní zkušenosti s používáním UV záření? Například po technické stránce nebo co se týče zdraví zvířat?**
- 3. Probíhá u vás pravidelné měření intenzity UV záření speciálními měřiči? Pokud ano, jak často?**
- 4. Využíváte Fergusonovy zóny při tvorbě osvětlení v expozicích zvířat?**
- 5. Máte ve svých chovatelských podmínkách u denních zvířat závislých na UV záření možnost kombinovat umělé a přirozené osvětlení?**
- 6. Jak je u nočních expozic s převráceným denním režimem řešena obsluha a údržba expozice zvířat?**
- 7. Používáte u osvětlovacích zařízení ochranu proti jejich poškození a úrazům zvířat? Pokud, ano, jaké typy?**
- 8. Řešíte osvětlení v expozici zvířat z pohledu návštěvníka?**

5 Výsledky

5.1 Využívání UV záření

Na první základní otázku, zda respondenti využívají osvětlení UV přišlo 100 % kladných odpovědí. Nejčastěji je používáno u primátů, ptáků, plazů a obojživelníků.

Dopňující otázka se ptala na některé typy UV osvětlení, které se v zařízeních používají. V případě výbojek byly nejčastěji uváděnými značkami Osram Vitalux, Arcadia, SunLux UV, Repti Eye, Econlux a Sparkzoo. Mezi zářivkami se objevovaly značky Repti Planet, Arcadia, SunLux UV a Sylvania.

5.2 Negativní zkušenosti s používáním zdrojů UV záření

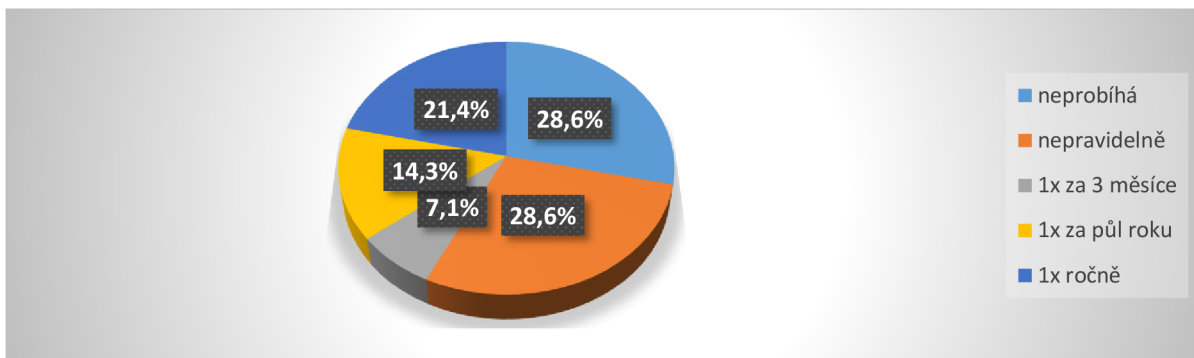
Někteří z respondentů negativní zkušenosti neměli, ale zbylých 9 dotazovaných uvedlo celkem 11 konkrétních negativních zkušeností (viz. Tabulka č.2).

Tabulka 2: negativní zkušenosti spojené s používáním UV záření

uváděné příklady problémů spojených s používáním zdrojů UV záření	%
popáleniny na kůži u plazů	36,4 %
problémy s očima a oslepnutí u plazů a primátů	18,2 %
nižší výkon a intenzita UV záření, než deklaruje výrobce	9,1 %
prasknutí žárovek po kontaktu s vodou	9,1 %
finanční náročnost	9,1 %
problém s využíváním předřadníků u výbojek (technická závada)	9,1 %
deformace končetin u drápkatých opic (pravděpodobně avitaminóza D)	9,1 %

5.3 Měření UV záření pomocí speciálních měřičů

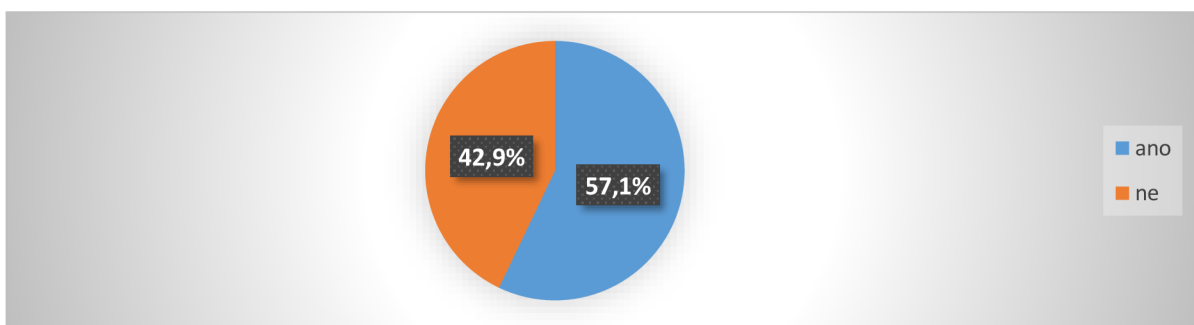
Při používání zdrojů UV záření je doporučováno pravidelné měření jejich intenzity pomocí speciálních měřičů a případná pravidelná výměna lamp. Z dotazníkového šetření (viz. Graf č.1) vyplynulo, že u 28,6 % dotazovaných pravidelné měření UV záření neprobíhá. Nepravidelné měření nebo výměna zdrojů UV záření probíhá z 28,6 %, z 7,1 % jednou za 3 měsíce, z 14,3 % jednou za půl roku a z 21,4 % jednou za rok.



Graf 1: měření UV záření pomocí speciálních měřičů

5.4 Využívání Fergusonových zón

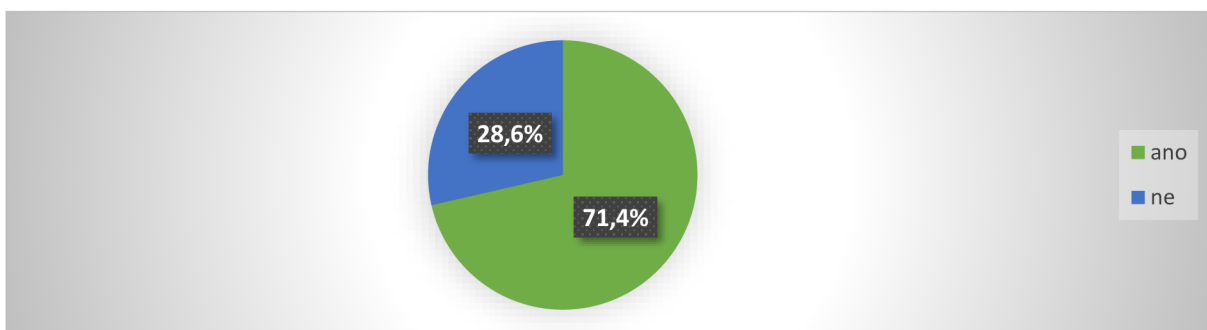
Na otázku využívání Fergusonových zón při tvorbě osvětlení v expozicích zvířat (viz. Graf č.2) 57,1 % dotazovaných odpovědělo kladně oproti 42,9 %, kteří je nevyužívají.



Graf 2: využívání Fergusonových zón

5.5 Kombinování umělého a přirozeného osvětlení

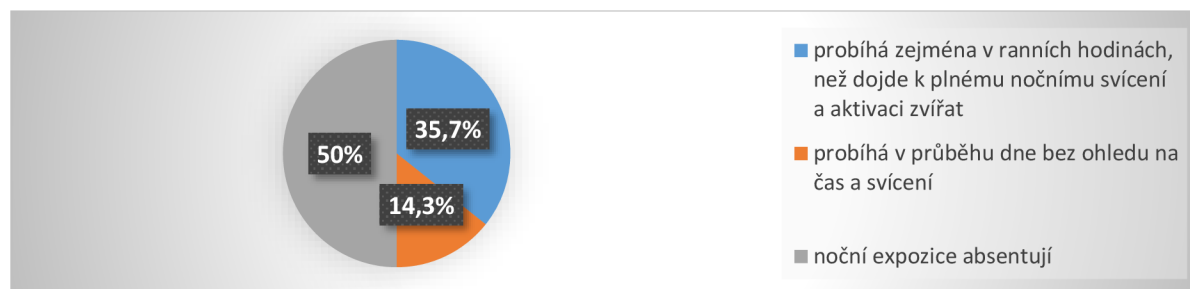
Na otázku o možnosti kombinování umělého a přirozeného osvětlení u denních zvířat závislých na UV záření (viz. Graf č.3) v podobě přístupu do venkovního výběhu odpovědělo 71,4 % dotazovaných kladně a zbylých 28,6 % odpovědi bylo záporných.



Graf 3: možnost kombinování umělého a přirozeného osvětlení

5.6 Obsluha nočních expozic

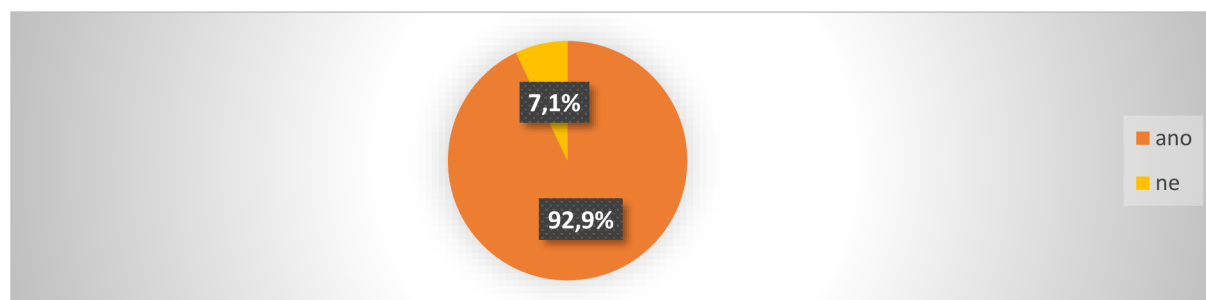
Jedna z otázek se věnovala také možnostem obsluhy nočních expozic s převráceným denním režimem (viz Graf č.4). Dle 35,7 % dotazovaných probíhá zejména v ranních hodinách, než dojde k plnému nočnímu svícení a aktivaci zvířat. U 14,3 % probíhá v průběhu dne bez ohledu na čas a svícení. Zbylých 50 % respondentů nemá zkušenost s tímto typem expozice.



Graf 4: obsluha nočních expozic

5.7 Používání ochrany osvětlovacích zařízení

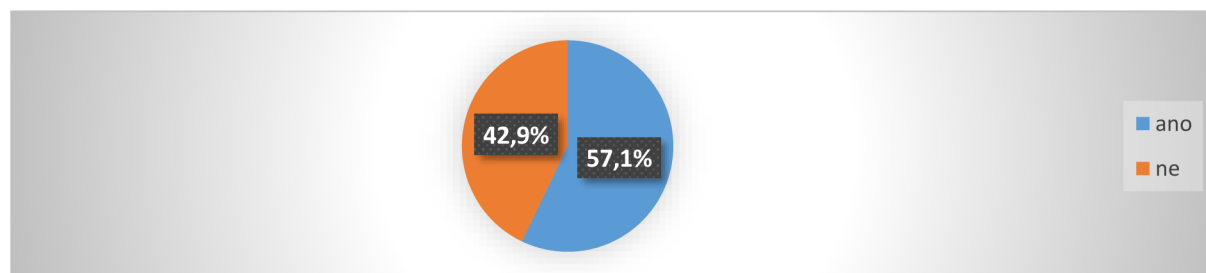
K otázce o používání ochranných opatření na osvětlovacích zařízeních proti jejich technickému poškození a úrazům zvířat (viz. Graf č.5) většina respondentů odpověděla kladně.



Graf 5: používání ochrany proti poškození a úrazům zvířat u osvětlovacích zařízení

5.8 Osvětlení z pohledu návštěvníka

Poslední otázka směřovala na to, zda se v daných institucích věnují osvětlení v expozici s ohledem na pohled návštěvníka (viz. Graf č.6). Většina respondentů z 57,1 % odpověděla kladně, zbylých 42,9 % odpověděla, že se tomuto nevěnuje.



Graf 6: osvětlení z pohledu návštěvníka

6 Diskuze

6.1 Využívání UV záření

Z dotazníkového šetření vyplynulo, že se zoologické zahrady používáním UV záření věnují, což je v základu pozitivní zpráva. UV záření má podstatný vliv na zdraví zvířat a jeho neposkytování může mít za následek nedostatek vitamínu D, což podle Baines (2015) vede k onemocnění kostí a neodpovídající reprodukci zvířat.

6.2 Negativní zkušenosti s používáním UV záření

V příslušné tabulce byly uvedeny příklady negativních zkušeností s používáním UV záření. Nejčastějšími odpověďmi byly popáleniny na kůži plazů a primátů nebo zdravotní problémy s očima a případné oslepnutí. To může být podle Scheelings & Hellebuyck (2019) následkem příliš krátké vzdálenosti mezi zvířatem a světelnými zdroji nebo jejich nedostatečná ochrana různými kryty. V jednom případě byly uvedeny deformace končetin u drápkatých opic. Metabolická kostní porucha se podle Baines (2015) objevuje dodnes a je nutné jí předcházet pomocí nefiltrovaného UV záření nebo speciálními přísadkami do krmení zvířat.

6.3 Měření UV záření pomocí speciálních měřičů

Ve většině zařízeních zapojených do dotazníku probíhá pravidelně měření intenzity UV záření pomocí speciálních měřičů a s ním spojená pravidelná výměna osvětlovacích zařízení, což je pro správný účinek UV záření podstatné. Podle Warwick et al. (2018) může například vlivem hromadění prachu na lampách dojít k přeměně UV záření na teplo. UV lampy mají také stejně jako ostatní umělé zdroje světla omezenou životnost a UV záření se po čase ztrácí, na což by měl být brán ohled. Pravidelnost měření se poměrně odlišovala, což je pravděpodobně ovlivněno individuálním přístupem a finanční náročností. Jeden případ poukázal na finanční nedostupnost těchto měřičů, která jsou nahrazována častějším a pravidelným vyměňováním příslušných lamp, což může být v takových případech vhodnou alternativou.

6.4 Využívání Fergusonových zón

Z 50 % jsou při tvorbě expozic používány také Fergusonovy zóny, které jsou v současné době již dobře známé a poskytují pravděpodobně jediný dostupný přehled rozdělení druhů zvířat do výhřevných zón podle jejich biologických potřeb. Tyto zóny byly vytvořeny speciálně pro skupiny plazů při zařizování terárií, ale experimentálně mohou být podle Baines (2015)

využívány i u jiných skupin zvířat, což by i v následující době mělo být ideálně dokumentováno a rozebíráno s ohledem na zdraví a chování zvířat.

6.5 Kombinování umělého a přirozeného osvětlení

Téměř 70 % respondentů odpovědělo, že u denních zvířat vyžadujících UV záření mají možnost také kombinovat umělé a přirozené osvětlení v podobě venkovních prostor. To je poměrně důležité například u lidoopů, kterým by alespoň na kratší dobu podle počasí mělo být umožněno pobývání ve venkovním protoru na přímém světle (Carlsen et al. 2022).

6.6 Obsluha nočních expozic

V případě obsluhy expozic s obrýceným denním režimem je potřeba brát ohled na odlišný rytmus chovaných zvířat. Lidskou činností může podle Warwick et al. (2018) vznikat riziko rušení a stresování zvířat. V takových expozicích je také málo příležitostí ke kontrole zdraví zvířat. Právě na dobu obsluhy nočních expozic směřovala jedna z otázek dotazníkového šetření. Obsluha expozice by podle Byczyk et al. (2022) měla probíhat ve fázi světla, nicméně nejlepší čas pro pozorování zvířat je během noční fáze. U 31 % dotazovaných, kteří mají zkušenosti s nočními expozicemi, probíhá jejich obsluha v ranních hodinách před plným svícením a aktivací zvířat a u 15 % probíhá během dne bez ohledu na čas a svícení.

6.7 Používání ochrany osvětlovacích zařízení

Dostatečná ochrana světla a jejich umístění v dostatečné vzdálenosti napomáhá předcházení možných zranění zvířat, například popálenin u plazů (Scheelings & Hellebuyck 2019). Většina respondentů odpověděla kladně a různé typy ochrany světelných zařízení, které byly popsány v příslušné kapitole rešeršní části práce, poměrně rutinně používá.

6.8 Osvětlení z pohledu návštěvníka

Asi polovina dotazovaných se osvětlení z pohledu návštěvníka věnuje, a to různými způsoby tak, aby bylo možné zvířata nerušeně pozorovat. Několik z respondentů uvedlo, že jsou intenzivněji osvětlena místa, kde se zvířata nejvíce vyskytují a kde jsou krmena. Řešena je také minimalizace oslnění návštěvníka správným postavením osvětlovacích zařízení. Záleží také na barvě světla, kdy například bílá světla zvířatům i návštěvníkům vyhovují nejlépe. V případě nočních expozic je pozorovatelnost ze strany návštěvníka ovlivněna také délkou pobytu, tedy adaptací jeho zraku na šero. Podle Fuller et al. (2016) noční zvířata aktivují mnohem lépe pod červeným světlem oproti modrému, což by mělo být využíváno v praxi.

7 Závěr

Ze studia zahraniční a domácí literatury byl zpracován souhrn základních informací o světle a jeho vnímání, jeho vlivy na zvířata v oblasti rozmnožování, metabolismu a správného welfare v chovu. Největší pozornost je věnována problematice ultrafialového záření a jeho rozdělení, které je pro zdraví a správný vývoj chovaných zvířat klíčové v mnoha ohledech.

Podstatnou informací, která vzešla z dotazníkového šetření, je fakt, že se zoologické zahrady zabývají poskytováním UV záření u svých zvířat. I když může být zvířatům UV záření poskytováno, nemusí tak tomu být v dostatečné míře a v bezpečné vzdálenosti, což jsou problémy, na které by bylo potřeba se více zaměřit co se týče zdravého růstu kostí spojeného s dostatkem vitamínu D a zranění zvířat v podobě například popálenin. Aby byla vytvořena rovnováha, při které bude jeho používání dostačující a nebude působit škodlivě na zvířata, je potřeba dodržování určitých pravidel při výběru správného osvětlovacího zařízení, jeho instalaci v bezpečné a účinné vzdálenosti, a hlavně následné pozorování aktuálního zdravotního stavu zvířete a jeho chování v reakci na světlo. Správnému umístění zařízení poskytujících UV záření mohou zejména v chovu plazů pomoci Fergusonovy zóny, které jsou i podle výsledků dotazníku poměrně dobře známé. Experimentálně je doporučováno důkladně zaznamenávat a následně vyhodnotit na základě monitoringu chování a biologických dat daného druhu, zda mají opravdu potenciální význam pro zlepšení životních podmínek. Zoologické zahrady by se měly zaměřit na ochranu světelných zařízení proti zraněním zvířat a technickým závadám, které se podle dostupné literatury i některých výsledků dotazníku v praxi stále vyskytují a je důležité jim předcházet. Pro správný účinek zdrojů UV záření je také potřeba se zaměřit na jejich pravidelnou údržbu, včasnou výměnu a případné měření, jelikož v opačném případě mohou s ohledem na vysokou pořizovací cenu tyto zdroje ztratit na významu. Správný výběr umělého osvětlení je nutný také pokud jsou zvířata chována bez možnosti přístupu do venkovních prostor s přímým zářením UV, což je případ zejména chovu v teráriích a nokturnáriích. Více by se zoologické zahrady měly, pokud je to možné, zabývat alespoň minimálním pobytem ostatních zvířat vyžadujících dostatek UV záření ve venkovním prostoru. Pozornost by měla být věnována také osvětlení, které co nejvíce vyhovuje jak zvířatům, tak návštěvníkům. V případě nočních expozic jde například o barvu světla. Několik studií poukazuje na pozitivní vliv červené barvy světla na chování zvířat, což by mělo být v praxi využíváno co nejvíce.

Problematika osvětlení určitě stále není uzavřená a je potřeba se jí i nadále intenzivně věnovat s ohledem na nejnovější poznatky a trendy, jelikož je podstatnou součástí poskytování co nejlepších podmínek pro chov zvířat v lidské péči.

8 Literatura

- Abelló MT, ter Meulen T, Prins EF. 2018. EAZA Mangabey Best Practice Guidelines. Parc Zoològic de Barcelona, Spain & GaiaZOO, Kerkrade, the Netherlands.
- Adkins E, Driggers T, Ferguson G, et al., 2003. Ultraviolet Light and Reptiles, Amphibians. *Journal of Herpetological Medicine and Surgery* **13**(4), 27-37. Available from <https://doi.org/10.5818/1529-9651.13.4.27>.
- Angelo R. UVR Measurement Error Sources: Spectral Response of Filtered Broadband Detectors. In: Holick MF, ed. *Biologic Effects of Light* 2001. Boston, MA: Springer US, s. 57-63. Available from https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0937-0_4.
- Aujard F, Cayetonot F, Terrien J, Van Someren EJW. 2007. Attenuated effect of increased daylength on activity rhythm in the old mouse lemur, a non-human primate. *Experimental Gerontology* **42**(11), 1079-1087. Available from <https://doi.org/10.1016/j.exger.2007.08.007>.
- Baines FM, Cusack LM. 2019. Environmental Lighting. Pages 131-138 in Divers SJ, Stahl SJ, editors. *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery*: Elsevier LTD, Oxford
- Baines FM, Chattell J, Dale J, Garrick D, Gill I, Goetz M, Skelton T, Swatman M. 2016. How much UVB does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. *Journal of Zoo and Aquarium Research* **4**(1), 42–63. Available online at <http://www.reptilesmagazine.com/An-In-Depth-Look-At-UV-Light-And-Its-Proper-Use-With-Reptiles/>
- Baines FM. 2013. Reptile Lighting Information. Available from www.reptilesmagazine.com (accessed March 2013)
- Baines FM. 2015. Indoor sunshine. *Zooquaria* **24**:28-29. Available from <https://www.eaza.net/assets/Uploads/Zooquaria/ZQIssues/Zooquaria-91.pdf>
- Baines FM. 2017. UV or not UV? An In-Depth Look At UV Light And Its Proper Use With Reptiles. Available from www.reptilesmagazine.com (accessed January 2017)
- Baines FM. 2020. Making Light Work. *EAZA Nutrition Group News* **7**:8-10. Available from <https://www.eaza.net/assets/Uploads/Nutrition/Docs/EAZA-Nutrition-Group-News-July-2020.pdf>

- Batra T, Malik I, Kumar V. 2019. Illuminated night alters behaviour and negatively affects physiology and metabolism in diurnal zebra finches. *Environmental Pollution*. **254**. Available from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.084>.
- Bemment N. 2018. Orang Utan EEP Best Practice Guidelines. 1st edition. Parc de la Ciutadella S/n 08003 Barcelona, SPAIN.
- Berthomieu L, Vermeer J. 2021. EAZA Best Practice Guidelines for the European pond turtle (*Emys orbicularis*) – First edition. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.
- Biddle R. 2022. EAZA Best Practice Guidelines for jaguar (*Panthera onca*). European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.
- Borniger JC, Maurya SK, Periasamy M, Nelson RJ. 2014. Acute dim light at night increases body mass, alters metabolism, and shifts core body temperature circadian rhythms. *Chronobiology International* **31**(8), 917-925. Available from <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.926911>
- Bumgarner JR, Nelson RJ. 2021. Light at Night and Disrupted Circadian Rhythms Alter Physiology and Behavior. *Integrative and Comparative Biology* **61**(3), 1160-1169. Available from <https://doi.org/10.1093/icb/icab017>.
- Byczyk K, Dunn N, Příbrský F, Tang C. 2022. EAZA Best Practice Guidelines for the slow loris (*Nycticebus*) species – First edition. European Association of Zoos and Aquaria, Amsterdam, The Netherlands.
- Cambell NA, Reece JB. c2006. *Biologie*. Brno: Computer Press. ISBN 80-251-1178-4.
- Carlsen F, de Jongh T, Pluháčková J (Eds.) 2022. EAZA Best Practice Guidelines for Chimpanzees (*Pan troglodytes*) - 1st edition. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands
- Carman EN, Ferguson GW, Gehrman WH, Chen TC, Hollick MF, Douglas ME. 2000. Photobiosynthetic Opportunity and Ability for UV-B Generated Vitamin D Synthesis in Free-Living House Geckos (*Hemidactylus turcicus*) and Texas Spiny Lizards (*Sceloporus olivaceus*). *Copeia* **2000**(1), 245-250. Available from [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)2000\[0245:POAAFU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)2000[0245:POAAFU]2.0.CO;2).
- Claustrat B, Leston J. 2015. Melatonin: Physiological effects in humans. *Neurochirurgie* **61**(2-3), 77-84. Available from <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2015.03.002>.

- Coomans CP, Ramkisoensing A, Meijer JH. 2015. The suprachiasmatic nuclei as a seasonal clock. *Frontiers in Neuroendocrinology* **37**, 29-42. Available from <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2014.11.002>.
- Cuthill IC, Partridge JC, Bennett ATD, Church SC, Hart NS, Hunt S. 2000. Ultraviolet Vision in Birds. In: Elsevier, s. 159-214. *Advances in the Study of Behavior*. Available from [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(08\)60105-9](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60105-9).
- de Corrêa MP, Godin-Beekmann MH, Brogniez C, Verschaeve F, Saiag P, Pazmiño A, Mahé E. 2010. Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments. *Photochemical & Photobiological Sciences* **9**(4), 459-463. Available from <https://doi.org/10.1039/b9pp00179d>.
- Diffey BL. 1991. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Physics in Medicine and Biology* **36**(3), 299-328. Available from <https://doi.org/10.1088/0031-9155/36/3/001>
- Ferguson GW, Brinker AM, Gehrman WH, Bucklin SE, Baines FM, Mackin SJ. 2010. Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology* **29**(3), 317-334. Available from <https://doi.org/10.1002/zoo.20255>.
- Fuller G, Kuhar CHW, Dennis PM, Lukas KE. 2013. A Survey of Husbandry Practices for Lorisid Primates in North American Zoos and Related Facilities. *Zoo Biology* **32**(1), 88-100. Available from <https://doi.org/10.1002/zoo.21049>.
- Fuller G, Ragnati MN, Dennis PM, Kuhar CHW, Willis MA, Schook MW, Lukas KE. 2016. A comparison of nocturnal primate behavior in exhibits illuminated with red and blue light. *Applied Animal Behaviour Science* **184**, 126-134. Available from <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.08.011>.
- Gies P, Van Deventer E, Green AC, Sinclair C, Tinker R. 2018. Review of the Global Solar UV Index 2015 Workshop Report. *Health Physics* **114**(1), 84-90. Available from <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000742>.
- Goetz M, Schmidt J, Weissebacher A. 2023. EAZA Best Practice Guidelines for the Lesser Antillean iguana (*Iguana delicatissima*) – First edition. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.

- Goetz M. 2019. EAZA Best Practice Guidelines for the Ploughshare tortoise or Angonoka (*Astrochelys yniphora*) – First edition. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.
- Griede T. 1989. Guidelines for Adequate Housing and Care of Non-Human Primates in Zoos. Amsterdam: Nat.Foundation for Research in Zoos.
- Guan Q, Wang Z, Cao J, Dong Y, Chen Y. 2022. The role of light pollution in mammalian metabolic homeostasis and its potential interventions: A critical review. *Environmental Pollution* **312**. Available from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120045>.
- Gursky S. 2003. Lunar Philia in a Nocturnal Primate. *International Journal of Primatology* **24**(2), 351-367. Available from <https://doi.org/10.1023/A:1023053301059>.
- Habel J. 2013. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public. ISBN 978-80-86534-21-3.
- Hartley M, Chapman M. 2018. EAZA Best Practice Guidelines for De Brazza Monkey (*Cercopithecus neglectus*) – 1st edition. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.
- Homolka P. 2010. Monitorování krevního tlaku v klinické praxi a biologické rytmy. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2896-4.
- Hurst EA, Homer NZ, Mellanby RJ. 2020. Vitamin D Metabolism and Profiling in Veterinary Species. *Metabolites* **10**(9). Available from <https://doi.org/10.3390/metabo10090371>.
- Ikeda M, Sagara M, Inoué S. 2000. Continuous exposure to dim illumination uncouples temporal patterns of sleep, body temperature, locomotion and drinking behavior in the rat. *Neuroscience Letters* **279**(3), 185-189. Available from [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00943-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00943-X).
- Illnerová H. 1996. Melatonin a jeho působení. Available from www.vesmir.cz (accessed May 1996)
- Kagan R, Veasey J. 2010. Challenges of zoo animal welfare. Pages 11-21 in Kleiman DG, Thompson KV, Baer CK, editors. *Wild mammals in captivity: principles and techniques for zoo management*. University of Chicago Press, Chicago.
- LeTallec T, Perret M, Théry M. 2013. Light Pollution Modifies the Expression of Daily Rhythms and Behavior Patterns in a Nocturnal Primate. *PLoS ONE* (e79250) DOI 10.1371/journal.pone.0079250

- LeTallec T, Théry M, Perret M. 2015. Effects of light pollution on seasonal estrus and daily rhythms in a nocturnal primate. *Journal of Mammalogy* **96**(2), 438-445. Available from <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv047>.
- Morgan KN, Tromborg CHT. 2007. Sources of stress in captivity. *Applied Animal Behaviour Science* **102**(3-4), 262-302. Available from <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.032>.
- Novák P, Malá G, Šoch M, Příkryl I. 2015. *Základy zoohygieny chovu zvířat v zoologických zahradách*. Praha: VÚŽV.
- Novotný I. 1988. *Fyziologie nervového systému*. Praha: Univerzita Karlova.
- Perret M, Gomez D, Barbosa A, Aujard F, Théry M. 2010. Increased Late Night Response to Light Controls the Circadian Pacemaker in a Nocturnal Primate. *Journal of Biological Rhythms* **25**(3), 186-196. Available from <https://doi.org/10.1177/0748730410368244>.
- Pollard JC, Littlejohn RP. 1994. Behavioural effects of light conditions on red deer in a holding pen. *Applied Animal Behaviour Science* **41**(1-2), 127-134. Available from [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90057-4)
- Pough PH. 2007. Amphibian Biology and Husbandry. *ILAR Journal* **48**(3), 203-213. Available from <https://doi.org/10.1093/ilar.48.3.203>.
- Power ML, Oftedal OT, Tardif SD, Allen ME. 1995. Vitamin D and primates: recurring problems on a familiar theme. In *Proceedings of the First Conference on Zoo and Wildlife Nutrition*, AZA Nutrition Advisory Group, Scarborough, OT. Available from <https://nagonline.net/965/vitamin-d-primates-recurring-problems-familiar-theme/>.
- Puschmann W, Zscheile D, Zscheile K. 2013. *Savci: chov zvířat v zoo: zvířata v lidské péči*. Dvůr Králové nad Labem: Zoo Dvůr Králové. ISBN 978-80-905184-3-8.
- Reh B, Recuero J, Heng Y, Shepherd CR, Reeves A, Haines R, Trout T, Mays S, Wenninger M, Sweet SS, Camina A, Frelon C, Smith B, Osman H., Smith SJ, Mitchell A, Thomas J, Uyeda D. 2021. *EAZA Best Practice Guidelines for the Crocodile Monitor (Varanus salvadorii) – First edition*. European Association of Zoos and Aquariums, Amsterdam, The Netherlands.
- Rosenthal M, Yanten WA. 2010. Structural and Keeper Considerations in Exhibit Design. Pages 162-170 in Kleiman DG, Thompson KV, Baer CK, editors. *Wild mammals in*

- captivity: principles and techniques for zoo management. University of Chicago Press, Chicago.
- Ruchin AB. 2021. Effect of illumination on fish and amphibian: development, growth, physiological and biochemical processes. *Reviews in Aquaculture* **13**(1), 567-600. Available from <https://doi.org/10.1111/raq.12487>.
- Saunders JE, Jarvis JR, Wathes CM. 2008. Calculating luminous flux and lighting levels for domesticated mammals and birds. *Animal* **2**(6), 921-932. Available from <https://doi.org/10.1017/S1751731108002012>
- She Z, Hung LF, Arumugam B, Beach KM, Smith EL. 2020. Effects of low intensity ambient lighting on refractive development in infant rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Vision Research* **176**, 48-59. Available from <https://doi.org/10.1016/j.visres.2020.07.004>.
- Scheelings TF, Hellebuyck T. 2019. Dermatology-Skin. Pages 699-711 in Divers SJ, Stahl SJ, editors. *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery*: Elsevier LTD, Oxford
- Stevens J. 2020. EAZA Best Practice Guidelines for Bonobo (*Pan paniscus*) - 1st edition. Royal Zoological Society of Antwerp, Belgium.
- Stevenson M, Rylands AB. 2022. EAZA Best Practice Guidelines for Callitrichidae – 3.2 Edition. EAZA European Association of Zoos and Aquaria, Amsterdam, The Netherlands.
- Tsutsuit K, Ubuka T. 2018. Photoperiodism in Mammalian Reproduction. In: *Encyclopedia of Reproduction*. Elsevier, s. 415-419. Available from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20586-4>.
- Versteeg L. 2018. EAZA White rhino EEP Best Practice Guidelines. Safaripark Beekse Bergen; July 2018.
- Veselovský Z. 2001. *Obecná ornitologie*: Academia. ISBN 80-200-0857-8.
- Veselovský Z. 2005. *Etologie. Biologie chování zvířat*: Academia. ISBN 80-200-1331-8.
- Warwick C, Jessop M, Arena P, Pilny A, Steedman C. 2018. Guidelines for Inspection of Companion and Commercial Animal Establishments. *Frontiers in Veterinary Science* **5**. Available from <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00151>.
- Wunderlich S, Griffiths T, Baines F. 2024. UVB-emitting LEDs for reptile lighting: Identifying the risks of nonsolar UV spectra. *Zoo Biology* **43**(1), 61-74. Available from <https://doi.org/10.1002/zoo.21806>.

