

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA TROPICKÉHO ZEMĚDĚLSTVÍ

Katedra udržitelných technologií



Optimalizace parametrů mikroklimatu stájí pro chov dojnic při současné redukci energetické náročnosti vybraných technologických systémů

Disertační práce

Vypracoval: Ing. Miroslav Češpiva

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Pecen, CSc.

Praha 2016

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že disertační práce, sepsaná za účelem naplnění požadavků pro udělení akademického titulu Ph.D., na Fakultě tropického zemědělství České zemědělské univerzity v Praze, je celá mým vlastním dílem, pokud není jinak uvedeno či citováno.

25. května 2016

Ing. Miroslav Čěšpiva

PODĚKOVÁNÍ

Zejména bych velice rád poděkoval svému vedoucímu práce Doc. Ing. Josefu Pecnovi, CSc. za množství cenných rad a připomínek a trpělivé vedení v průběhu mé práce. Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Antonínu Jelínkovi, CSc. za umožnění celé řady experimentů v rámci řešení projektu NAZV QJ 1210375, jehož je odpovědným řešitelem. Velký dík patří i mým kolegům, zejména Ing. Petře Zabloudilové, PhD., Ing. Josefu Šimonovi, PhD. a Ing. Márii Fabiánové za podnětné připomínky, které často usměrňovaly mé záměry. Velice si cením přátelského přístupu všech pracovníků na farmách, kde jsem realizoval své experimenty, i když to pro ně často přinášelo komplikace a práci navíc. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině zejména za morální podporou v průběhu celého studia.

ANOTACE

Práce se zabývá měřením a vyhodnocováním parametrů stájového mikroklimatu ve stájích pro chov dojnic a stanovením energetické náročnosti vybraných technologií v těchto stájích. Cílem práce bylo na základě provedených měření a sledování navrhnout a eventuálně realizovat takové úpravy, které povedou ke zlepšení parametrů stájového mikroklimatu a ke snížení energetické náročnosti vybraných technologií. Pro sledování byly vybrány 3 stavebně odlišné stáje s různým způsobem odklizu exkrementů. Zaměřil jsem se na měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve vztahu k teplotně vlhkostnímu indexu a jeho vlivu na tepelný stres dojnic, na měření průtoku vzduchu ve stáji a na stanovení koncentrací a emisí amoniaku a metanu ve stáji v různých ročních obdobích. Dalším sledovaným faktorem byla intenzita osvětlení ve stáji a závislost stavebního řešení stáje na využití venkovního světla pro osvětlení vnitřních prostor stáje.

Sledoval jsem energetickou náročnost osvětlení v závislosti na ročním období a spotřebu elektrické energie přídatných ventilátorů na teplotě vzduchu.

Na základě výsledků experimentální části jsem navrhl a realizoval úpravu řízení osvětlení v závislosti na intenzitě osvětlení ve stáji a energeticky úsporné větrání ve stáji typu K105. Navrhl jsem systém průběžného monitorování klimatických parametrů ve stáji s okamžitým výpočtem teplotně vlhkostního indexu.

Měření prokázala závislost koncentrací zátěžových plynů na způsobu odklizu kejdy. Vliv stavebního řešení stáji a způsob ventilace měly zásadní vliv na průběh teplotně vlhkostního indexu v letním období.

Klíčová slova: stájové mikroklima, teplotně vlhkostní index, tepelný stres, amoniak, metan, intenzita osvětlení, spotřeba energie

ANNOTATION

This thesis is focused on the measurement and evaluation of microclimate parameters in barns for dairy farming and the determination of the energy consumptions of selected technologies in these barns. The aim of this work was to design and eventually to implement adjustments in order to improve the parameters of cowshed microclimate and reducing the energy consumption of selected technologies in depends on results of the measurements. Three structurally different cowsheds with different slurry clearing technologies were selected for monitoring. I focused on the measurement of temperature and relative humidity in relation to temperature- humidity index and its impact on heat stress on dairy cows. I measured airflow in the cowsheds and I determinate concentrations and emissions of ammonia and methane in the cowsheds in different seasons. I monitored light intensity in the cowsheds and I determined the dependence of building solutions on the use of outdoor light to illuminate the interior of the barns. The energy consumption of the lighting system depending on the season and the consumption of additional fans on the air temperature were studied.

On the bases of results of the experimental part I designed and implemented lighting system, controlled by light intensity in a cowshed and energy-saving ventilation in the cowshed - type K105. I suggested a system of continuously monitoring of climatic parameters in the cowshed with immediate calculation of temperature- humidity index.

Measurements have shown the dependence of gases concentrations on the way of slurry clearing technologies. The building solutions of cowsheds and type of ventilation proved a significant influence on the temperature- humidity index during the summer.

Keywords: barn microclimate, temperature- humidity index, heat stress, ammonia, methane, light intensity, energy consumption

OBSAH

ANOTACE	4
ANNOTATION	5
OBSAH.....	6
1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
2.1 Stájové mikroklima.....	12
2.1.1 Teplota a relativní vlhkost vzduchu	12
2.1.2 Rychlost proudění a výměna vzduchu	13
2.1.3 Koncentrace a emise zátěžových plynů	14
2.1.3.1 Oxid uhličitý	14
2.1.3.2 Amoniak	15
2.1.3.4 Metan.....	16
2.1.3.5 Měření koncentrací zátěžových plynů elektronickými snímači.....	16
2.1.3.6 Měření koncentrací zátěžových plynů plynovými analyzátory	17
2.1.3.7 Stanovení emisí zátěžových plynů	17
2.1.4 Intenzita osvětlení	18
2.1.4.1 Sodíkové výbojky	19
2.1.4.2 Lineární zářivky	19
2.1.4.3 Světelné diody (LED)	19
2.1.5 Ventilace ve stáji	20
2.1.6 Odkliz kejdy.....	21
2.2 Tepelný stres	22
2.2.1 Snižování tepelného stresu u dojnic technickými prostředky.....	24

2.2.2 Snižování tepelného stresu u dojnic změnou krmné dávky a úpravou napájecí vody	26
2.3 Snížení energetické náročnosti chovu dojnic.....	27
2.3.1 Přídavná ventilace axiálními ventilátory.....	27
2.3.2 Osvětlení ve stáji	28
2.3.3 Odkliz kejdy	28
3. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY	30
4. MATERIÁL A METODIKA	31
4.1 Popis experimentálních stájí.....	31
4.2 Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stájích	34
4.2.1 Měření teploty a relativní vlhkosti jako základních parametrů stájového mikroklimatu	34
4.2.2 Teplotně vlhkostní index.....	35
4.3 Měření intenzity osvětlení.....	35
4.4 Měření koncentrací zátěžových plynů	37
4.5 Měření rychlosti proudění vzduchu ve stáji	39
4.6 Stanovení průtoku vzduchu a emisí zátěžových plynů	40
4.7 Měření elektrických příkonů vybraných technologií	42
4.8 Zpracování naměřených dat	43
5. VÝSLEDKY A DISKUSE	45
5.1. Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stájích	45
5.2. Stanovení teplotně vlhkostního indexu ve stájích.....	47
5.3. Měření koncentrací zátěžových plynů	49
5.4 Stanovení průtoku vzduchu a emisí zátěžových plynů	56
5.5. Měření intenzity osvětlení ve stájových objektech	59
5.6. Měření příkonu elektrické energie.....	64

5.6.1 Příkon osvětlení ve stájích	64
5.6.2 Příkon přídavných ventilátorů ve stájích A a B	65
5.6.3 Příkon motoru lanové lopaty	67
5.6.4 Zhodnocení stanovení spotřeby elektrické energie	69
6. NÁVRH OPTIMALIZACÍ NA ZÁKLADĚ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ	71
6.1 Nízkopříkonový systém nucené ventilace ve stáji C	71
6.2 Systém pro monitorování teplotně vlhkostního indexu ve stáji	74
6.3 Zlepšení parametrů osvětlení ve stáji A	77
7. ZÁVĚR	82
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
SEZNAM OBRÁZKŮ	94
SEZNAM TABULEK	95
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	96
PŘÍLOHY	99

1. Úvod

Chov dojeného skotu patří k nejnáročnějším odvětvím živočišné výroby. Zejména v poslední době se s nárůstem užítkovosti dojnic mění požadavky na kvalitu stájového prostředí i práci ošetřovatelů a managementu. Mezi základní fyzikální parametry stájového prostředí patří zejména teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu, vlastnosti osvětlení včetně jeho intenzity, koncentrace zátěžových plynů, úroveň hluku produkovaného uvnitř stáje nebo přenášeného do stáje zvenku a koncentrace prachových částic. Tyto parametry se kromě plemenářské práce a správné výživy zásadním způsobem podílí na užítkovosti a zdravotním stavu dojnic.

Většina krav v České republice je ustájena v nových a rekonstruovaných stájích. Při rekonstrukci dochází i k výměně technologií, které bezprostředně ovlivňují kvalitu stájového prostředí. Cílem rekonstrukcí by kromě zlepšení ekonomiky chovu mělo být splnění všech základních požadavků na kvalitní stájové prostředí a zlepšení podmínek chovaných zvířat. Ne vždy se však podaří z velké nabídky různých řešení vybrat pro daný stájový objekt to nejlepší. Důvodem tohoto stavu je mimo jiné i nedostatečná znalost vlivu vybraných technologií, (technologie větrání, podestýlání, krmení, odkluzu výkalů, osvětlení a v letních měsících i ochlazování) na kvalitu stájového prostředí, ani vzájemné interakce jednotlivých prvků stájového prostředí mezi sebou. Tyto vlivy je možné popsat na základě systematických, opakovaných a zpravidla i dlouhodobých měření parametrů stájového mikroklimatu. Jedná se zejména o měření základních fyzikálních faktorů jako je teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu, ale i o měření koncentrací amoniaku a dalších vybraných zátěžových plynů, koncentrací prachových částic a zápašných látek, hluku, intenzita osvětlení a mikrobiální kontaminace stájového prostředí. Nedílnou součástí rozhodování o zavádění nových technologií, nebo úpravách stávajících technologií v podmínkách konkrétní farmy, je vyhodnocení ekonomické návratnosti plánovaných úprav. Je nezbytné zohlednit energetickou náročnost provozu jednotlivých technologií a hledat možnosti jak ji s využitím dostupných technických a organizačních možností minimalizovat.

Komplexní měření většiny uvedených parametrů stájového prostředí a energetické náročnosti jednotlivých technologií, na základě kterých mohou být vyhodnoceny vzájemné interakce mezi jednotlivými parametry, jsou technicky a časově velmi náročná. Znalost hodnot a průběhů všech těchto veličin při technologických operacích

ve stájových objektech je výchozím předpokladem pro správnou volbu optimálních technologií pro danou stáj.

Cílem práce je na základě měření parametrů stájového prostředí a parametrů jednotlivých technologií navrhnout optimální podmínky pro chov dojnic s minimálními nároky na spotřebu energie a s co nejmenšími negativními vlivy na životní prostředí.

Základním předpokladem pro tuto práci je získání dostatečné množství provozních měření a laboratorních měření. Na vytipovaných farmách pro chov dojnic s odlišnými stavebními a dispozičními řešeními stájí a s různými technologiemi odklizu kejdy, osvětlení a výměny vzduchu budou měřeny základní parametry stájového prostředí (teplota, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu) a koncentrací zátěžových plynů. Měření budou realizována v různých klimatických obdobích. Naměřené údaje budou analyzovány, a to s cílem nalézt vzájemné interakce, na jejichž základě budou navržena opatření směřující ke zlepšení stájového mikroklimatu. Současně se bude měřit energetická náročnost jednotlivých operací. Na základě těchto měření budou vytipovány technologie, u kterých lze předpokládat, že jejich úpravou dojde ke snížení energetických nároků bez negativního vlivu na welfare, užitkovost a životní prostředí.

V roce 2012 byl schválen k financování projekt NAZV QJ 1210375 „Výzkum systému chovu dojnic z hlediska optimalizace mikroklimatu a energeticko-ekonomické náročnosti“, na jehož řešení se podílím. Část výsledků, uvedených v této práci, byla získána při jeho řešení.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Chov dojeného skotu patří v současné době mezi jeden z nejpropracovanějších systémů chovu hospodářských zvířat nejen u nás, ale i v zahraničí. Současně patří i mezi chovy ekonomicky nejnáročnější. V současnosti je kladen veliký důraz na zlepšování životních podmínek chovaných zvířat a zároveň na snižování vlivů zemědělské výroby na znečištění životního prostředí při zachování rentability chovu. Protože značná část dojeného skotu v ČR je většinu dne ustájena v uzavřených stájích, je zásadním předpokladem pro kvalitní chov optimalizace stájového resp. chovného prostředí. Vnitřní prostředí stájových objektů je definováno normou ČSN 730543 (Český normalizační institut, 1997). Norma určuje zásady postupu výpočtu a pokyny pro navrhování větracích a vytápěcích zařízení, včetně jejich regulací, která slouží k vytváření a udržování požadovaného stavu vnitřního ovzduší i v objektech pro ustájení hospodářských zvířat. V současnosti existuje celá řada nových technologií, které vedou ke zlepšování welfare chovaných zvířat a zároveň ke snížení negativního vlivu chovu na životní prostředí (Broom, 1986). Při výběru vhodných technologií chovu zlepšujících welfare je nutné i ekonomické zhodnocení přínosu navrhované technologie, zhodnocení jejího vlivu na kvalitu mléka a současně i její vliv na životní prostředí (Bouška et al., 2006). V některých případech vhodně navržená technologie z hlediska welfare může mít pozitivní vliv na další sledovaná kritéria, v jiných případech tomu může být naopak.

Zkušenosti ze zemědělských provozů ukazují, že stájové prostředí v mnoha objektech živočišné výroby dosud neodpovídá potřebám daného druhu a kategorie ustájených zvířat (Kic-Brož, 1995). Častým důvodem tohoto stavu je stáří objektů, do kterých nelze bez větších investic (včetně stavebních) zavést nové a šetrnější technologie (Vegricht et al., 2003). Výsledkem této situace jsou často větší náklady na jednotku produkce a neřídka i její snížená kvalita. Modernizace takovýchto objektů je nutná, ale výsledek je téměř vždy kompromisem mezi přijatelnými životními podmínkami zvířat a náklady na modernizaci (Doležal et al., 2003). Dalším důvodem tohoto stavu je i nedostatečná znalost vlivu vybraných technologií (jako jsou především technologie podestýlání, krmení, odklizu exkrementů, osvětlení a v letních měsících i technologie ochlazování) na kvalitu stájového prostředí při variantních řešeních jednotlivých technologických systémů (Dolejš-Toufar-Knížek, 1994). Lze konstatovat, že správná

volba použitých technologií výrazným způsobem přispívá k zlepšení stájového prostředí a kvality mléka (Chloupek-Suchý, 2008).

2.1 Stájové mikroklima

Mikroklimatem stáje se rozumí především souhrn fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností stájového prostředí. Kromě základních parametrů jako je teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu ve stáji, mezi ně patří rovněž koncentrace zátěžových plynů a prachových částic, parametry osvětlení a oslunění a úroveň hluku produkovaného uvnitř stáje nebo přenášeného do stáje zvenku (Doležal et al., 2007).

2.1.1 Teplota a relativní vlhkost vzduchu

Mezi základní parametry stájového mikroklimatu v chovu dojnic patří teplota a relativní vlhkost vzduchu uvnitř stáje. Ideální teplota vzduchu ve stáji pro dojnice (tzv. termoneutrální zóna) se uvádí v rozmezí +4 až +16 °C (Doležal et al., 2010). Relativní vlhkost je dalším základním parametrem stájového mikroklimatu. Doporučovaná hodnota se pohybuje v rozmezí 40 až 80 %. Příliš nízká hodnota má za následek vysušování sliznic a snižování obranyschopnosti dýchacího aparátu, příliš vysoká relativní vlhkost zabraňuje ochlazování těla dojnice odpařováním (Toušová-Beran-Ducháček, 2013). Vodní pára se do vzduchu v interiéru stáje dostává dýcháním dojnic, odparem z povrchu těla a odparem z mokřých ploch uvnitř stáje. Vysokoužitkové dojnice produkují značné množství metabolického tepla a jsou proto velice citlivé na nepříznivé zvýšení teploty okolního vzduchu (Dolejš-Toufar, 2003). Společně s nevhodnou koncentrací vodní páry ve vzduchu vyvolává vyšší teplota vzduchu tepelný stres, při kterém dojnice již musí aktivovat další termoregulační mechanismy.

Dlouhodobá měření teploty vzduchu a jeho relativní vlhkosti jsou v porovnání s měřeními ostatních parametrů stájového prostředí poměrně jednoduchá. Téměř bez výjimky se pro tato měření používají elektronické přístroje, kontinuálně zaznamenávající hodnoty teploty a relativní vlhkosti do interní paměti (Chloupek-Suchý, 2008). Měření v produkčních stájích za běžného provozu většinou neumožňuje nezávisle stanovit vliv teploty a relativní vlhkosti vzduchu na další sledované parametry, protože teplota i relativní vlhkost vzduchu jsou spolu úzce svázané.

2.1.2 Rychlost proudění a výměna vzduchu

Při projektování stáje pro jednu dojnici uvažuje s objemem vzduchu minimálně 6 m^3 na 100 kg živé hmotnosti. Rychlost proudění vzduchu by neměla v chladném období překročit mez, kdy by dojnice musely začít aktivně produkovat teplo pro udržení optimální tělesné teploty na úkor tvorby mléka nebo přírůstku hmotnosti. Doporučená maximální rychlost proudění v chladném období je $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a v letním období $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ve výjimečných případech krátkodobě až $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Doležal et al., 2003). Stájové objekty pro chov skotu jsou často vybaveny větrací štěrbinou v hřebeni střechy. Pokud je teplota vzduchu uvnitř stáje blízká venkovní teplotě, je ventilační účinek hřebenové štěrbinou minimální (Dolejš-Toufar-Knížková, 2002). Stáje pro chov dojnic jsou dnes již běžně vybaveny přídatnými axiálními ventilátory, které mají za úkol kromě dostatečného přívodu čerstvého vzduchu do stáje rozrušit termobariéru v okolí zvířat a umožnit tak snadnější ochlazování zvířat prouděním a odpařováním. V letním období je při použití ventilátorů nutné rozlišit, zda je teplota venkovního vzduchu dostatečně nízká, aby byla zajištěn odvod tepla z povrchu dojnic, a aby například nevhodným uspořádáním větracích otvorů nebyl nasáván do stáje vzduch s velmi vysokou teplotou z pláště střechy (Doležal et al., 2003). Je třeba zdůraznit, že rychlost proudění vzduchu ve stáji má zásadní vliv na koncentrace zátěžových plynů (Šottník, 2001).

Vzhledem k tomu, že ve stájích pro skot se používá přirozená ventilace, je měření rychlosti a zejména směru proudění ovzduší ve stáji obtížné. Vzhledem k malým rychlostem proudění pod $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se používají termické anemometry, založené na ochlazování předeřátého snímače proudícím vzduchem. Další možností je použití ultrazvukových měřičů rychlosti proudění, které většinou vzhledem ke svému uspořádání mohou současně s rychlostí měřit i směr proudění (Cuerva-Sanz-Andrés, 2000). Ultrazvukové anemometry jsou však poměrně finančně nákladné. Objektivní vizuální stanovení proudění vzduchu ve stáji lze uskutečnit i kouřovou zkouškou s videozáznamem (Doležal, 2007). Je vhodné použít 2 kamery pro současný záznam ve dvou na sebe kolmých osách.

Stanovit celkový průtok vzduchu ve stáji lze alespoň orientačně pomocí relativně levné metody bilance CO_2 . Jako zdroj tzv. značkovacího plynu jsou využita ustájená zvířata, která produkují CO_2 (Pederson et al., 2008). Ve stavebních otvorech ve stáji se průběžně měří koncentrace CO_2 a jednoduchým výpočtem lze stanovit průtok vzduchu

v daném místě (Samer-Abuarab, 2014). Daleko přesnější, ale výrazně nákladnější, je měření průtoku vzduchu pomocí technického značkovacího plynu (např. SF₆). Značkovací plyn se konstantní rychlostí a co nejrovnoměrněji průběžně rozptyluje po stáji a plynovým analyzátozem se v místech, kde chceme stanovit průtok vzduchu, měří jeho koncentrace. Hledané průtoky se stanoví obdobným výpočtem jako u metody bilance CO₂ (Grainger, et al., 2007). Další, rovněž velice nákladnou metodou, je využití kryptonu 85. Plyn se rozptýlí rovnoměrně po stáji a pomocí Geiger-Müllerových čítačů rozmístěných po stáji lze stanovit průtoky vzduchu ve sledovaných místech. Tato metoda je vhodná pro krátkodobá přesná měření, protože plyn uniká poměrně rychle ze stáje do ovzduší. Díky své inertnosti není v množstvích, která se pro tato měření používají, zdravotně závadný ani pro ustájená zvířata ani pro životní prostředí (Kiwan, et al, 2013).

2.1.3 Koncentrace a emise zátěžových plynů

Ve stájích pro chov skotu se jedná zejména o oxid uhličitý, amoniak a metan. Tyto plyny mohou při vyšších koncentracích negativně ovlivňovat mikroklima ve stáji a zhoršovat rentabilitu chovu. Emise těchto plynů do okolního ovzduší negativně ovlivňují životní prostředí. Klimatická konference v Paříži v roce 2015 se zabývala mimo jiné i návrhem na snížení emisí skleníkových plynů. Živočišná výroba je v Evropě považována za největšího producenta amoniaku a metanu. Na konferenci OSN v Paříži se státy zavázaly na zpomalování růstu globálního oteplování do konce století o méně než 2 °C v porovnání s předindustriálním obdobím. Pro dosažení tohoto ambiciózního cíle bude nutné výrazně omezit emise zátěžových plynů i ze zemědělské výroby včetně chovů dojeného skotu. V budoucnu proto bude nutné mimo jiné i posoudit jaký způsob ustájení bude mít nejmenší negativní vliv na emise skleníkových plynů do ovzduší.

2.1.3.1 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn těžší než vzduch, který vzniká jako produkt dýchání a mikrobiálních procesů v kejďě. V čistém venkovním vzduchu se jeho koncentrace pohybuje okolo 850 mg.m⁻³. Ve stájích pro chov dojnic by jeho koncentrace neměla přesáhnout 3 600 mg.m⁻³ (tomu odpovídá objemová koncentrace cca 0,2 %) (Příručka MZe, 1996). Ve stájích lze podle koncentrace CO₂ usuzovat na kvalitu provětrání

objektu. Koncentrace oxidu uhličitého okolo 5% způsobuje závratě, koncentrace vyšší než 10% způsobují bezvědomí a smrt.

Oxid uhličitý se podle výzkumů podílí na skleníkovém efektu a přispívá ke globálnímu oteplování. Oxid uhličitý je nezbytný k růstu rostlin (Wikipedia, 2001).

2.1.3.2 Amoniak

Amoniak je bezbarvý, štiplavý a toxický plyn zásadité povahy. Je lehčí než vzduch. V přírodě vzniká mikrobiálním rozkladem organických zbytků, výkalů a moči (Wikipedia, 2001). Při vdechování poškozuje sliznice dýchacích cest, vyšší koncentrace mohou mít za následek zhoršení imunity zvířat s následným onemocněním dýchacího aparátu a očí (Zejdová- Chládek- Falta, 2014). Jeho hmotnostní koncentrace ve stájích by neměla přesáhnout 14 mg.m^{-3} (tomu odpovídá objemová koncentrace přibližně 0,0020 %) (Příručka MZe, 1996). Nejvyšší koncentrace amoniaku ve stáji lze zjistit při odkluzu chlévské mrvy ve stájích se slamnatou podestýlkou a dále při nastýlání separátu do boxových loží. Významným zdrojem amoniaku je také tenká vrstva kejdy, která zůstává rozetřena po celé ploše hnojné chodby po každém přejezdu shrnovací lopaty.

Amoniak je závažným polutantem životního prostředí. V důsledku své dobré rozpustnosti ve vodě je vysoce toxický pro vodní organismy. I když amoniak je sám o sobě zásaditý, produkty bakteriální oxidace amoniaku v půdách způsobují zvýšení její kyselosti. Rovněž plynný amoniak se v atmosféře váže se sírany a dusičnany a v podobě kyselých dešťů se vsakuje do země a prosakuje do spodních vod (Popl-Fahnrich, 1999). V Evropě je za největší zdroj emisí amoniaku považován chov hospodářských zvířat. V České republice je 95 – 99 % produkováno zemědělskou činností, zvláště intenzivním chovem hospodářských zvířat, skladováním zbytkové biomasy (chlévský hnůj, kejda, drůbeží trus a hluboká podestýlka) a její aplikací do půdy (Fišer-Sedláček, 1998). Roční produkce amoniaku jen z chovu dojníc v ČR dosahuje cca 14 000 t NH_3 (Jelínek-Dědina-Plíva, 2005).

Česká republika se zavázala ke snížení emisí amoniaku podepsáním Göteborgského protokolu v roce 1999. Pro chov dojníc zatím nebyly určeny žádné emisní faktory, protože jejich stanovení je vzhledem ke složitému měření proudění ve stájových objektech s přirozenou ventilací obtížně realizovatelné. Snížení koncentrací amoniaku ve stájových objektech je možné. Kromě volby vhodného způsobu ustájení, odkluzu kejdy a optimalizované ventilace, například aplikací vhodných přípravků do krmných

směsí, nebo přímou aplikací do kejdy (zejména do podroštových prostorů) (Toufar-Dolejš, 2004). Kromě zlepšení mikroklimatu ve stáji lze například výběrem vhodného přípravku do kejdy vyřešit problémy se sedimentací v podroštových prostorech a v jímkách. Snížením úniku plynného amoniaku z kejdy se zvyšuje množství dusíku, které lze využít při aplikaci kejdy v rostlinné výrobě jako hnojivo (Toufar-Dolejš, 2004).

2.1.3.4 Metan

Metan je bezbarvý netoxický plyn, výrazně lehčí než vzduch. Ve vztahu k živočišné výrobě je produktem metabolismu velkých přežvýkavců. Vzhledem k tomu, že silně absorbuje infračervené záření, patří mezi významné skleníkové plyny zvyšující teplotu zemské atmosféry (je přibližně 20 x účinnější než oxid uhličitý, jeho obsah v atmosféře je oproti tomu asi devětkrát menší než u oxidu uhličitého: 0,004 % metanu a 0,037 % oxidu uhličitého) (Wikipedia, 2001). V zemědělském provozu může být jeho výbušnost i toxicita nebezpečná, pokud například při manipulaci s kejdou, která byla dlouhou dobu překryta krustou, dojde k jeho náhlému výronu do omezených prostor ve stáji.

2.1.3.5 Měření koncentrací zátěžových plynů elektronickými snímači

Koncentrace oxidu uhličitého se často měří přístroji, které jsou založeny na pasivní spektroskopii. Infračervené záření se specifickou vlnovou délkou a definovanou intenzitou prochází květou s měřeným plynem. Molekuly plynu v květi toto infračervené záření pohlcují a tím zvyšují svou kinetickou energii. Zbytek infračerveného záření po průchodu květou dopadá na detektor a podle úbytku energie záření lze stanovit množství molekul plynu (hmotnostní koncentraci) v květi (Chloupek-Suchý, 2008).

Koncentrace amoniaku lze měřit například pomocí přístrojů s elektrochemickými nebo polovodičovými senzory. Elektrochemické senzory pracují na principu palivového článku, kdy na jedné elektrodě dochází k redukci nebo oxidaci molekul detekované látky a na druhé elektrodě dochází k uvolňování kyslíku. Tyto senzory mají nízkou stabilitu a relativně krátkou životnost (Pecen, Zabloudilová, 2005). Polovodičové senzory pracují na principu změny odporu polovodičové vrstvy, která je ve styku s měřeným plynem. Materiál, na kterém je nanášena polovodičová vrstva, musí být žhaven na poměrně vysokou teplotu, což zvyšuje spotřebu snímače (Yewale et al. , 2011). Nevýhodou polovodičových senzorů je nutnost časté kalibrace a ani selektivita

není příliš vysoká. U obou typů senzorů je velká závislost výstupního signálu na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu.

Koncentrace metanu se měří při nízkých koncentracích rovněž přístroji s elektrochemickými nebo polovodičovými senzory se stejnými negativními vlastnostmi jaké mají senzory pro měření koncentrací amoniaku. Vyšší koncentrace metanu lze měřit s využitím katalytických senzorů. Plyn prochází okolo žhaveného drátku na kterém dochází ke katalytickému spalování. Zvýšení teploty snímá citlivý perlistor. Velikost jeho odporu odpovídá koncentraci metanu (Kadlec, 2004).

2.1.3.6 Měření koncentrací zátěžových plynů plynovými analyzátory

Koncentrace oxidu uhličitého, amoniaku a metanu lze s výhodou současně měřit plynovými analyzátory, které pracují na fotoakustickém principu (Jelínek, Pecen, 2002). Tyto přístroje jsou velice citlivé, mají velký měřicí rozsah a jsou dlouhodobě vysoce stabilní. Po osazení odpovídajícími optickými filtry a výchozí kalibrací jsou schopny měřit koncentrace všech plynů, které absorbují infračervené záření. Obvykle mohou z jednoho vzorku stanovovat koncentrace více plynů současně (LUMASENSE, 1997). Analyzátory mohou spolupracovat s přepínači odběrových míst, které umožňují současné měření z více odběrových míst. To je další výhodou proti výše popsaným snímačům. Výsledky z různých odběrových míst jsou získány jedním analyzátozem a odpadá chyba měření, způsobená rozptylem citlivostí jednotlivých snímačů v různých odběrových místech.

2.1.3.7 Stanovení emisí zátěžových plynů

Stanovení emisí zátěžových plynů je ve stájích pro chov dojnic s přirozenou ventilací velice náročné. Emise plynů udávají jaké množství zátěžového plynu odchází ze stáje do vnějšího ovzduší za jednotku času. Pro jejich stanovení musíme znát koncentrace sledovaných plynů a současně i rychlost proudění vzduchu v měřeném místě ve stáji. Průtok vzduchu stáji lze stanovit s dostatečnou přesností finančně přijatelnými metodami (viz kap. 2.1.2) jen s velkými obtížemi (Monteny-Erisman, 1998). To je také důvodem, proč nelze provádět autorizovaná měření emisí amoniaku ve stájích pro chov dojnic s přirozenou ventilací.

Pro porovnání emisí zátěžových plynů z různých typů provedení podlah lze využít odběrové komory s nuceným průtokem vzduchu (VÚZT, 2014). Komory s odtahovými

ventilátory, ve kterých je průběžně měřena koncentrace sledovaných plynů, zajistí nad definovaným povrchem podlahy konstantní rychlost proudění vzduchu. Tím je zajištěna nejdůležitější podmínka opakovatelnosti měření a následné možnosti vzájemného porovnání naměřených hodnot.

2.1.4 Intenzita osvětlení

Podle řady vědeckých studií je intenzita osvětlení společně s dobou expozice světlem prvkem stájového mikroklimatu, který má bezprostřední vliv na užitkovost dojnic. Je to dáno tím, že dostatečná intenzita osvětlení je nutná pro tvorbu hormonů, které mají ve výsledku zásadní vliv na tvorbu mléka (Clarke et al., 2006). Doporučovaná minimální intenzita osvětlení se v poslední době zvyšuje a intenzita osvětlení 200 lx, která se dříve zdála jako těžko dosažitelná, je dnes u vysokoprodukčních dojnic považována za minimální doporučenou (Doležal, 2007). U dojnic v laktaci se většina autorů shoduje na expozici intenzivním světlem po dobu 16 hodin a na době s orientačním osvětlením z důvodu bezpečnosti obsluhy po dobu 6 až 8 hodin denně. V některých případech autoři uvádějí nárůst užitkovosti až o 15 %. Je nutné zachovat optimální poměr režimu světla a tmy, aby byla zabezpečena simulace přirozeného střídání noci a dne, který je nutný pro biologické potřeby dojnic, zejména pro tvorbu hormonů. Nevhodný interval střídání světla a tmy, zejména výrazné zkrácení doby s nízkou intenzitou osvětlení, má za následek snížení užitkovosti a zhoršení zdravotního stavu dojnic (Dahl-Petticlerc, 2003).

Ve většině rekonstruovaných stájí je dostatečně osvětlen krmný stůl z důvodu stimulace dojnic k častější návštěvě krmného žlabu. Většinu dne ale dojnice tráví v boxových ložích a proto pro dostatečnou tvorbu hormonů je třeba zvýšit intenzitu osvětlení v zorném poli dojnic ležících v boxech. V průběhu dne přispívá k dostatečnému prosvětlení stáje částečné náhrada střešní krytiny světlopropustnými panely. Doporučuje se montovat panely maximálně na 1/10 plochy střechy a to tak, aby většina prosvětlovacích panelů byla namontována na straně střechy, která je většinu dne odvrácena od Slunce. Důvodem je větší ochrana některých boxů před přehřátím intenzivním slunečním zářením. V ideálním případě by panely měly zdůrazňovat část spektra blíže modré barvě (odpovídá optickým vlastnostem atmosféry Země) a spíše potlačovat žluté a červené části spektra (Doležal, 2003). Poměrně zanedbávaným činitelem, který ovlivňuje intenzitu osvětlení ve stájích, je odrazivost stavebních konstrukcí a stájového vybavení. Vhodným nátěrem konstrukcí

ve stáji lze výrazně zvýšit intenzitu osvětlení odrazem přirozeného i umělého osvětlení. Tato možnost je často zanedbávána i u nově budovaných stájí. Jako umělé zdroje osvětlení se v současné době ve většině stájí používají svítidla osazená vysokotlakými sodíkovými výbojkami a lineárními zářivkami.

2.1.4.1 Sodíkové výbojky

Výhodou sodíkových výbojek je poměrně vysoká účinnost. Většina standardních výbojek, používaných ve stájích, má měrný výkon cca 100 lm/W. Nevýhodou je produkce světla převážně v oblasti žluté až červené části spektra. Životnost kvalitní výbojky je uváděna cca 16 000 hodin (Dvořáček, 2009).

2.1.4.2 Lineární zářivky

Lineární zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, ve které je viditelné světlo vyzařováno vrstvou luminoforu, který je buzen ultrafialovým zářením výboje. Moderní lineární zářivky, vhodné pro stájové objekty, mají měrný výkon v rozsahu 50 - 80 lm/W. Volbou vhodného luminoforu lze dosáhnout optimálního spektra výstupního světla pro různé potřeby. Pro stáje dojnic lze vybrat zářivky se spektrem téměř rovnoměrně pokrývajícím celé viditelné spektrum, tzv. „denní světlo“. Životnost moderních značkových zářivek je cca 10 000 hodin (Dvořáček, 2008).

2.1.4.3 Světelné diody (LED)

V současné době se na trhu stále více objevují osvětlovací tělesa osazená světelnými zdroji, které využívají technologii LED. Tato technologie se velice rychle vyvíjí a lze očekávat, že v krátké době dojde k výraznému zvýšení účinnosti LED. Již dnes dosahuje u špičkových výrobků hodnot 170 lm/W. Kromě této vysoké účinnosti patří mezi výhody LED zdrojů světla vysoká životnost (v řádech stovek tisíců hodin), minimální tepelné ztráty a snadná regulovatelnost světelného výkonu. Světelné zdroje, které využívají svítivé diody (LED), se vyrábějí i jako náhrady stávajících světelných zdrojů. Tzv. LED žárovky jsou opatřeny standardizovanými závity E27, některé zdroje jsou konstruovány jako náhrady lineárních zářivek. Většímu rozšíření technologie LED ve stájích pro chov skotu zatím kromě vysoké pořizovací ceny brání několik dalších vlivů: Výrobci často uváděná vysoká životnost platí pouze pro vlastní čipy LED, nikoliv pro celé světelné zdroje. Každý světelný zdroj, který využívá technologii LED, vyžaduje řídicí

obvod (tzv. předřadník). Jedná se o elektronické zařízení uvnitř světelného zdroje (LED zářivky či LED žárovky), jehož životnost je řádově nižší než životnost vlastních světelných diod. Současná svítidla pro lineární zářivky nejsou vhodná pro instalaci LED zářivek, protože lineární zářivky mají kruhovou vyzařovací charakteristiku, s kterou bylo počítáno při optickém návrhu svítidel. Naproti tomu naprostá většina LED zářivek má vyzařovací úhel maximálně 180 °. Proto při rekonstrukci osvětlení by bylo nutné nahradit nejen světelné zdroje, ale i celá svítidla. Velkým problémem svítivých diod a světelných zdrojů, které jsou jimi osazeny, je spektrum vyzařovaného světla. Obecně platí, že světlo LED je monochromatické a je dáno polovodičovými materiálem, který je použit na výrobu světelné diody. Pro osvětlení prostoru ve stájích je požadováno světlo, jehož spektrum se co nejvíce blíží dennímu světlu, tedy světlu polychromatickému (Eiholzer, 2015). Tzv. bílé světlo je při použití technologie LED možné získat buď složením světla LED červené, zelené a modré barvy, nebo použitím vhodného luminoforu, který obdobně jako u lineárních zářivek transformuje optické záření modrých LED do požadovaného spektra (Klipstein, 2012). Je nutné konstatovat, že technologie LED osvětlení se bouřlivě vyvíjí a lze proto očekávat výrazný nárůst využívání této technologie v různých oblastech lidské činnosti. Souběžně s rozšiřováním hromadné výroby lze očekávat i výrazné snížení cen těchto svítidel. Pak již může být nasazení LED technologií ve stájích pro chov dojníc rentabilní (Dvořáček, 2009).

2.1.5 Ventilace ve stáji

Naprostá většina stájí pro chov dojníc používá přirozenou ventilaci. Vzduch se pohybuje stáji buď vlivem proudění venkovního vzduchu v okolí stáje, nebo při rozdílu teplot vzduchu uvnitř a vně stáje na základě rozdílu měrné hmotnosti vzduchu s rozdílnou teplotou, kdy lehčí teplejší vzduch je vytlačován těžším chladnějším vzduchem.

Správně navržená ventilace musí zajistit dostatečnou výměnu vzduchu, aby nebyla ve stáji překročena doporučená relativní vlhkost vzduchu a maximální koncentrace zátěžových plynů, které vznikají biologickými procesy ustájených zvířat. V letním období by měla ventilace stáje zajistit teplotní komfort a zabezpečit dostatečný odvod tepla z těla zvířat. V zimním období by měl být zajištěn dostatečný odvod vzdušné vlhkosti ze stáje při současném omezení rychlosti proudění ve stáji pod doporučenou mez.

Kromě stavebních otvorů ve stáji se na přirozené ventilaci podílí velkou měrou hřebenová štěrbinová, jejíž šířka by měla odpovídat rozponu stáje v poměru cca 1 / 25 (Doležal, 2003). Pro zlepšení provětrávání stáje zejména v letním období se používají přídatné axiální ventilátory, které v podélném směru zvyšují rychlost proudění vzduchu. Používají se ventilátory o průměru cca 90 – 130 cm, které jsou poháněny většinou asynchronními motory o příkonu přibližně 500 – 1 300 W. Ventilátory by se měly situovat nad místa, kde se dojnice vyskytují po největší část dne a měly by být nasměrovány tak, aby proud vzduchu rozrušoval teplotní pole kolem těla dojnic. Při výběru ventilátorů by se mělo dbát i na jejich hlučnost. Vysoká hladina hluku ve stáji může mít negativní vliv na pohodu zvířat, ale může se projevit i na výkonu práce ošetřovatelů. Činnost ventilátorů by měla být ovládána programovatelnou řídicí jednotkou, která umožňuje plynule nebo alespoň stupňovitě řídit výkon ventilátorů v závislosti na nastavených parametrech, jako je například vnitřní a venkovní teplota a relativní vlhkost vzduchu. Ve stájích s relativně velkou kubaturou při současné velké stavební výšce lze s výhodou použít velkopřůměrové horizontální ventilátory. Při správném návrhu se zmenšuje nebezpečí zvýšení teploty vzduchu v prostoru stáje teplejším venkovním vzduchem. Výhodou je i menší příkon ventilátorů. Horizontální ventilátory musí být nainstalovány tak, aby proud vzduchu směřoval přímo do životní zóny dojnic (Havlík, 2011).

2.1.6 Odkliz kejdy

Denní produkce výkalů je přibližně 18 - 35 kg pevných výkalů a 15 – 20 kg moči na jednu dojnici (Toušová et al., 2013). Ve stelivových boxových stájích s nastýláním slámou se vyhrnují výkaly nejčastěji mechanizačními prostředky s radlicí obvykle 2 x denně. Nevýhodou je nutnost přehánění dojnic v průběhu vlastního procesu odklizu kejdy. Vhodnější je zorganizovat vyhrnování v době, kdy jsou dojnice v dojárně. Pokud jsou dojnice ustájeny v bezstelivových stájích s roštovými chodbami, je kejda prošlapávána zvířaty do podroštových prostor. Ty mohou být řešeny jako přeronové kanály, kde kejda kontinuálně přepadává do svodného kanálu a odtéká do jímky, nebo jako jímkové kanály, kde po naplnění podroštových prostor je po vytažení hradítka kejda jednorázově přepuštěna do jímky, nebo je přečerpána do jímky čerpadlem (Toušová- Beran- Ducháček, 2013). Velkým nebezpečím může být sedimentace kejdy. Lze jí předejít například používáním různých biotechnologických přípravků nebo

ředěním kejdy v jímkových kanálech odpadní technologickou vodou (Toufar-Dolejš, 2004).

K odklizu kejdy mohou být používány shrnovací lopaty, které exkrementy a moč z povrchu hnojné chodby shrnují do hnojných kanálů, které vedou do skladovacích jímek. Výhodou je automatický provoz. Pohon shrnovacích lopat je nejčastěji řešen tažnými lany nebo hydraulicky. Výhodou hydraulických shrnovacích lopat je vysoká spolehlivost, nevýhodou značná hlučnost tlakového olejového čerpadla. Nevýhodou odklizu kejdy shrnovacími lopatami je tenký film kejdy, který je po každém přejezdu shrnovací lopaty rozprostřen po celém povrchu hnojné chodby a z kterého se do prostoru stáje i do venkovního prostředí uvolňují emise amoniaku. I když se jedná o relativně nízké koncentrace, je vzhledem k povrchu hnojných chodeb ve stáji výsledná emise poměrně velká (Češpiva-Kocán, 2007). Také pohyb shrnovací lopaty hnojnou chodbou, která bezprostředně sousedí s krmným stolem, může v době krmení působit na dojnice rušivě.

2.2 Tepelný stres

Tepelný stres patří mezi nejzávažnější problémy, které mohou v chovu dojnic nastat vlivem překročení optimálních hodnot parametrů stájového mikroklimatu. Tepelný stres se hodnotí teplotně-vlhkostním indexem (THI). THI se stanovuje nejčastěji výpočtem z údajů o teplotě a relativní vlhkosti vzduchu nebo z údajů o teplotě a rosném bodu. Vzorců pro výpočet THI je celá řada. Pro zvířata na pastvě je do některých výpočtů zahrnuta i intenzita slunečního záření eventuálně i další parametry. Jedním z vlivů, které se projevují u zvířat v teplotním stresu, je zvýšení dechové frekvence. Z toho vycházejí některé metody pro rychlé stanovení teplotně vlhkostního indexu. Změří se frekvence dýchání a v tabulce se zjistí odpovídající hodnota THI.

Pro rychlou orientaci se používá graf závislosti THI na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu (Armstrong, 1994). Uvádí se, že stres se již může projevovat při THI 72. Této hodnoty se dosahuje například při teplotě 26 °C a relativní vlhkosti 40 %, nebo při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti 80 %. Graf závislosti THI na teplotě a relativní vlhkosti je na obrázku 1. Barevná pole vyznačují pásma tepelného stresu pro různé kombinace teploty a relativní vlhkosti vzduchu.

THI v rozsahu 68 – 71 představuje mírný stres, THI v rozmezí 72 – 79 se označuje jako středně silný stres. Produkce mléka se snižuje minimálně a dojnice vyhledává chladnější místa. THI v rozmezí 80 – 89, označované jako velmi silný stres, vede ke zvýšení potivosti, zvýšenému příjmu vody, zvýšení teploty těla, snížení užitkovosti a zhoršení reprodukce. Při hodnotách THI 90 – 98 dojnice sliní, má těžké a zrychlené dýchání, výrazně se snižuje produkce mléka a zhoršuje se reprodukce. Tato oblast se označuje jako extrémní stres. Hodnoty vyšší než 98 jsou již pro dojnice těžko slučitelné se životem.

Temperature		% Relative Humidity																		
°F	°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
72	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	71	71	71
73	23.0	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72
74	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73
75	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
76	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
77	25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76
78	25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
79	26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78
80	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79
81	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80
82	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81
83	28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82
84	29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83
85	29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84
86	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84
87	30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85
88	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86
89	31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87
90	32.0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88
91	33.0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
92	33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90
93	34.0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91
94	34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92
95	35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
96	35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
97	36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95
98	36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
99	37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
100	38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98
101	38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99
102	39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100
103	39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101
104	40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101
105	40.5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102
106	41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103
107	41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104

Obr. 1: Graf závislosti THI na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu

převzato z: (Avendano, 2012)

Při tepelném stresu se zvyšuje bazální i povrchová teplota, dechová frekvence se zvyšuje až dvojnásobně, zvyšuje se příjem vody a vlivem snížení tvorby trávicích šťáv dochází ke snížení příjmu krmiva. Snižuje se produkce mléka a klesá v něm obsah tuku. (Avendano, 2012). Tepelný stres má rovněž nepříznivý vliv na reprodukční ukazatele dojnic (Dolejš et al., 2008).

2.2.1 Snižování tepelného stresu u dojnic technickými prostředky

Do první skupiny opatření, které mohou snižovat tepelný stres u dojnic, patří zejména zvýšení odvodu tepla z těla dojnic zvětšením toku vzduchu s nižší teplotou v zóně zvířat a evaporační ochlazování. Kromě přirozené ventilace ve stáji se zvyšuje účinek ochlazování vzduchem instalací ventilátorů, které směřují tok vzduchu na dojnice. Dochází tak k rozrušení teplotního pole v bezprostředním okolí těla dojnic a k lepšímu odvodu tepla (Avendano, 2012). Podmínkou dobré účinnosti přídavné ventilace je správné nastavení sklonu ventilátorů (Dolejš-Toufar, 2003). Ventilátory jsou většinou ovládány řídicími jednotkami na základě údajů o vnitřní teplotě ve stáji. Při extrémních teplotách vně stájí v letním období může nastat případ, kdy velké množství nasávaného vzduchu s teplotou vyšší než je teplota vzduchu ve stáji situaci ještě zhorší. Je proto žádoucí stáj důkladně provětrat zejména v ranním období, kdy je teplota nasávaného vzduchu relativně nízká. Tepelná akumulační schopnost konstrukce budovy, která se takto ochladí, přispěje v průběhu dne ke snížení teploty vzduchu uvnitř stáje. Také dojnice, které byly během předchozího dne vystaveny tepelnému stresu, se při výraznějším snížení teploty v noci a v ranních hodinách snáze zbaví zatěžujících produktů metabolismu, které jsou nahromaděny v jejich těle po prožití tepelného stresu v předchozím dnu (Doležal, 2010). Takovéto řídicí algoritmy mají ovládací jednotky ventilace zatím pouze výjimečně. V horkých dnech se ve stájích s velkou kubaturou mohou s výhodou uplatnit horizontální velkopřůměrové ventilátory s relativně nízkými otáčkami. Při správném návrhu nedochází ve velké míře k nepříznivému přehřátí vnitřního prostoru stáje horkým vzduchem z vnějšku budovy (Turnet et al., 1993).

Pro snížení tepelné zátěže dojnic v letním období se ve stájích využívá evaporační ochlazování. Prvním způsobem je mlžení. Využívá se odebrání tepla stájovému vzduchu odpařením drobných kapének průměru do 0,015 mm, které produkují zmlžovače (tzv. nepřímé evaporační ochlazování). Nevýhodou tohoto systému je nutnost použití tlakové vody, filtrů a trysek. Rovněž při nižším průtoku vzduchu ve stáji hrozí u dojnic vznik respiračních onemocnění (Doležal, 2010). Na základě výzkumů se jako výhodnější jeví přímé skrápění nebo sprchování dojnic. Kapky vody však musí být dostatečně velké (0,05 až 0,15 mm), aby pronikly přes srst až ke kůži zvířete. Následným odparem vody je nadbytečné teplo z povrchu těla dojnice odváděno do okolního prostředí. Systém nevyžaduje čerpadlo s filtry. Ovládání skrápění je možné doplnit o automatické

spouštění systému použitím prostorových čidel, které otevrou přívod vody pouze při přítomnosti dojnice pod sprchou. Důležitým faktorem, který ovlivňuje účinnost přímého evaporačního ochlazování, je správná volba doby skrápění či sprchování a intervalu mezi nimi. Po ukončení sprchování je vhodné zapnout na definovanou dobu ventilátory, aby podpořily rychlost odparu vody z povrchu dojnice (Knížková et al., 2003).

Zajímavý způsob snížení teploty vzduchu ve stáji je využití tepelných čerpadel typu vzduch-voda. Tato technologie naráží na předsudek vysokých pořizovacích nákladů a energetické náročnosti na jejich provoz. Pořizovací náklady na vlastní čerpadlo o výkonu cca 18kW se pohybují okolo 180 000,- Kč, včetně kompletní instalace cca 300 000,- Kč. Takovéto čerpadlo poskytuje cca 7000 m³ vzduchu za hodinu o teplotě nižší o 6°C oproti venkovní teplotě při příkonu 6 kW. Ochlazený vzduch je třeba rozvést v prostoru stáje cíleně co nejbližší životním zónám zvířat. Optimální by bylo použití standardního rukávce. Přímé mísení se vzduchem v objektu bez jeho nasměrování ke zvířatům je z hlediska účinnosti naprosto nevhodné. Při vyčíslení ztrát z denního nádoje v období, kdy THI je vyšší než 75, je již realizace rentabilní za 3 až 4 roky a to pouze při uvažování ztrát z nižšího nádoje mléka. Všechna tepelná čerpadla mají v tomto režimu výrazně vyšší účinnost než standardní klimatizační jednotky. Tepelné čerpadlo vzduch-voda navíc produkuje větší množství teplé vody, kterou je možné využít pro ohřev mléka v odchovu telat, při sanitaci dojírny a k dalším sanitárním účelům na farmě. Tím se doba návratnosti ještě zkracuje. Uvedené řešení je pro provozovatele stáje s dojnícemi výhodné, a to z důvodů stálé produkce mléka bez výrazných výkyvů při vysokých teplotách venkovního vzduchu a dále z důvodu nižších provozních nákladů na přípravu teplé provozní vody. Výrazným aspektem je zlepšení vnitřních podmínek pro ustájená zvířata a nepřímý zisk z jejich dobrého zdravotního stavu. V případě instalace v porodnách lze očekávat výrazné snížení fyziologické zátěže vysokobřezích krav, které jsou již tak vystaveny extrémní fyzické zátěži.

V současné době není v ČR známa žádná realizace využití tepelných čerpadel pro ochlazování vzduchu ve stájích pro skot, byla pouze zpracována studie, včetně výpočtu ekonomické návratnosti (Adamovský, 2004).

2.2.2 Snižování tepelného stresu u dojnic změnou krmné dávky a úpravou napájecí vody

Úprava krmné dávky má na snížení tepelného stresu dojnic ještě výraznější vliv než využití optimalizovaných technických způsobů snižování tepelné zátěže dojnic úpravou mikroklimatických parametrů stájového prostředí. Pokud je to možné, je vhodné 1/3 denní krmné dávky přesunout do ranního období a 2/3 dávky aplikovat večer. Fermentační teplo, které vzniká trávicími pochody v zažívacím traktu dojnice, se snáze z těla odvede ve večerních hodinách, kdy teplota venkovního vzduchu již nedosahuje tak vysokých hodnot (Knížková et al., 2003). V některých případech může mít tato metoda negativní vliv na trávení, protože probíhá v době acidobazické acidózy trávicího traktu, vyvolané tepelným stresem, kterým dojnice prošla před příjmem potravy. Pokud je krmivo aplikováno v dlouhých intervalech, může nastat případ, že dojnice nebude schopna vyprodukovat dostatek metabolického tepla ve večerních a nočních hodinách a poklesne její bazální teplota. To může mít rovněž vliv na snížení užitkovosti dojnice. Někteří autoři doporučují krmnou dávku omezit (tzv. restrikce krmení). Cílem je opět minimalizovat zvýšení tělesné teploty dojnice (Rhoads et al., 2009). Prokázalo se, že pokud je dojnice vystavena tepelnému stresu, je výhodnější podávat krmivo s menším podílem objemové složky a vyšším podílem koncentrátů. Při energeticky náročnějším trávení objemového krmiva dojnice vyprodukuje více tepla, které musí být následně z těla odvedeno. Úpravou krmné dávky a změnou doby krmení v době extrémních teplot lze snížit propad nádoje dojnic až o 18 % (Doležal, 2010). Při tepelném stresu u dojnic výrazně stoupá spotřeba napájecí vody, a to až o 60 %. Je nutné, aby zvláště v tomto období měly dojnice přístup k dostatečnému množství čerstvé vody o co nejnižší teplotě. Napájecí žlaby by měly být vždy umístěny ve stáji tak, aby na ně nemohlo dopadat přímé sluneční záření. Nízkou teplotu vody je možné udržet například použitím tepelně izolovaných napajedel. Vodu lze ochladit i přidáváním velkých kusů ledu do žlabů nebo je možné použít nevyužité zchlazovací nádrže na mléko (Doležal, 2010).

2.3 Snížení energetické náročnosti chovu dojníc

2.3.1 Přídavná ventilace axiálními ventilátory.

Největší odběr elektrické energie ve stájích pro chov dojníc mají přídavné axiální ventilátory. Používají se ventilátory se jmenovitým příkonem 500 – 1 300 W. Často nejsou ventilátory optimálně nasměrovány a největší rychlost proudění vzduchu je v prostorech nad dojnicemi (Doležal et al., 2003). Při optimalizaci nastavení ventilátorů například kouřovou zkouškou, bezprostředně po nainstalování ventilátorů, by bylo možné dosáhnout stejného ochlazovacího účinku dojníc při nižších otáčkách ventilátorů. Snížení teploty vzduchu ve stáji v letním období, které se projeví snížením spotřeby elektrické energie ventilátory, je možné i vhodnou úpravou povrchu v bezprostředním okolí stáje. Lze například rozšířit plochy zeleně na úkor asfaltových ploch na návětrné straně nebo na straně ze které je vzduch nasáván přídavnými ventilátory. Další úspory elektrické energie je možné dosáhnout optimalizací regulace výkonu ventilátorů v závislosti na venkovní a vnitřní teplotě vzduchu. V případě, že je vnitřní teplota ve stáji vysoká, běžně používaný algoritmus řídicí jednotky spustí ventilátory na plný výkon bez ohledu na venkovní teplotu. Pokud je v letním období venkovní teplota extrémně vysoká, je vhodnější výkon ventilátorů omezit, protože by se teplota ve stáji zvýšila a zhoršila by se možnost ochlazování dojníc konvekcí (Doležal, 2007). Jako alternativu pro napájení ventilátorů je možné uvážit využití fotovoltaických panelů s měničem napětí. Předpokladem je vhodná orientace střechy, na kterou se panely montují z důvodu maximálního využití energie slunečního záření. Při instalaci panelů se vzduchovou mezerou mezi panely a střešním pláštěm se pozitivně projeví tepelné odstínění krytiny. Při menší vnitřní výšce stáje a nedostatečné izolaci střešního pláště může dojít ke snížení vnitřní teploty uvnitř stáje (Topič, 2013). Při návrhu systému s fotovoltaickými panely se uvažuje výkon slunečního záření v podmínkách České republiky přibližně $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. V podmínkách České republiky dopadne za rok na jeden m^2 zhruba 950 – 1 340 kWh sluneční energie, z čehož největší část (asi 75%) připadá na letní období. Účinnost fotovoltaických panelů, které se používají v tzv. ostrovních solárních elektrárnách je udávána cca 14 % a životnost minimálně 25 let (Bechník-Bařinka-Čech, 2008). Fotovoltaické panely lze podle technologie výroby rozdělit na 2 základní skupiny. Technologie tlustých vrstev označuje panely, které jsou konstruovány z nařezaných plátek monokrystalického nebo polykrystalického křemíku.

Jednotlivé články jsou nakontaktovány a zapojeny podle požadovaných elektrických vlastností panelu. Monokrystalické panely jsou dražší než polykrystalické, protože výroba monokrystalu tažením je poměrně náročná na čistotu při výrobě, ale při kolmém dopadu slunečního záření mají vyšší účinnost. Polykrystalické články mají lepší účinnost při dopadu rozptýleného světla, nebo světla, které nedopadá kolmo na plochu článku (Smart, 2014). Tenkovrstvé panely (někdy označované jako amorfní panely) se vyrábí napařováním křemíku ve vakuu při teplotách cca 200 °C na podložku, nejčastěji skleněnou. Napařovat se můžou i na jiné materiály, např. kovy nebo plasty. Lze tak získat ohebné fotovoltaické panely. Nevýhodou je nižší účinnost a kratší udávaná životnost. Výhodou je lepší účinnost při nevhodném orientaci panelu ke zdroji světla a nižší cena (Balenzategui-Chenlo, 2005).

2.3.2 Osvětlení ve stáji

Dalším místem, kde lze ušetřit elektrickou energii, je optimalizace osvětlení ve stájových prostorech. Úspor lze dosáhnout správným výběrem svítidel při zohlednění jejich optických vlastností, jejich optimálním rozmístěním v prostoru stáje (Hutla, 1998) a zejména doplněním systému osvětlení o automatické ovládání zapínání a vypínání světel podle intenzity osvětlení uvnitř a vně stáje. Je vhodné zvolit takový algoritmus ovládání světel, aby nedocházelo k častému zapínání a vypínání osvětlení. Časté zapínání a vypínání zářivek a zejména sodíkových výbojek, které jsou často využívány pro osvětlení stájových objektů, výrazně snižuje jejich životnost (Dvořáček, 2009). Výhodná je i možnost plynulé nebo stupňovité změny výkonu osvětlení a to nejen z důvodu úspory elektrické energie, ale i proto, že náhlé zapnutí nebo vypnutí osvětlení působí na dojnice rušivě (Doležal, 2007).

2.3.3 Odkliz kejdy

Další technologií, kde lze snížit spotřebu elektrické energie, je odkliz kejdy shrnovacími lopatami. Většina lopat pracuje nepřetržitě po dobu celých 24 hodin. Intenzita kálení dojnic je v čase proměnlivá a je spjata s pravidelně se opakujícími biologickými rytmy, které jsou v dané skupině dojnic obdobné. Je možné řídit činnost lopat podle etologických projevů dojnic a jejich chod minimalizovat v době, kdy je intenzita kálení minimální. Současně je vhodné omezit činnost lopat v době krmení, kdy přejezd lopat

působí na dojnice rušivě. Výjimkou je zimní období, kdy je vhodné, aby zejména lanové lopaty pojížděly nepřetržitě z důvodu nebezpečí zamrznutí lan v pojezdové drážce v podlaze hnojné chodby (Belada, 2005). Vedlejším přínosem zmenšení četnosti přejezdu shrnovacích lopat je snížení emisí amoniaku, které jsou způsobeny neustálým roztíráním čerstvé kejdy po každém přejezdu lopaty po celé ploše hnojné chodby.

3. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Záměrem práce je navrhnout na základě uskutečněných měření optimalizace vybraných technologií chovu tak, aby došlo ke zlepšení stájového prostředí a ke snížení energetické náročnosti chovu dojnic bez negativního dopadu na užitkovost a to při současném zohlednění vlivu na životní prostředí.

Základem celé práce a dalším cílem je měřit vybrané parametry stájového prostředí a energetické náročnosti vytipovaných technologií, které se používají v chovu dojnic, resp. skotu.

Na základě dostupných literárních údajů jsem vytypoval parametry stájového prostředí a technologie, u kterých lze předpokládat, že se v rozhodující míře podílí na welfare zvířat a jejich užitkovosti. Jedná se zejména o teplotu, relativní vlhkost a průtok vzduchu ve stáji, o úroveň osvětlení, způsoby odklizu kejdy a koncentrace zátěžových plynů. Spotřebu energetické energie budu hodnotit u systémů osvětlení ve stájích, při odklizu kejdy a příkonů axiálních ventilátorů, nainstalovaných ve stájích A a B.

V rámci řešení práce bych měl potvrdit nebo vyvrátit následující hypotézy:

- Stavební řešení stájí a použitý způsob ventilace má vliv na průběhy teplot a relativních vlhkostí vzduchu ve stájích, což ovlivní hodnoty teplotně – vlhkostního indexu (THI).
- Konstrukce stájí má vliv na využití denního světla pro osvětlení interiéru stájí.
- Technologie odklizu kejdy a teplota vzduchu ve stáji má vliv na koncentrace a emise zátěžových plynů.
- Vhodné úpravy vybraných technických a technologických systémů povedou ke zlepšení stájového prostředí a ke snížení energetické náročnosti. Vyhodnocení vlivu úprav na sledované parametry bude možné ověřit měřeními vybraných fyzikálních veličin a parametrů.

4. MATERIÁL A METODIKA

4.1 Popis experimentálních stájí

Pro provozní měření jsem vybral rekonstruované typy stájí, které jsou v České republice velice často využívány pro chov dojníc, aby eventuální návrhy úprav mohly být v případě zájmu realizovány na co největším počtu farem. Měření budou realizovány ve 3 různých typech stájí pro chov dojníc. Všechny stáje se nacházejí v okrese Příbram, lokality mají přibližně stejnou nadmořskou výšku. Ve stáji A, B i C jsou rozdílné způsoby odklizu kejdy a mrvy. Bude tak možné sledovat vliv odklizu na některé parametry stájového mikroklimatu.

Rekonstruovaná stáj A je typu K 174 pro 260 dojníc českého strakatého skotu (C-plemeno) s roční užitkovostí 7600 kg mléka. Uvedená stáj je čtyřřadá s průjezdným krmným stolem uprostřed, s krmištěm po obou stranách, s volným boxovým ustájením. Boxy jsou nastýlané separovaným digestátem. Ve stáji je výměna vzduchu zajištěna přirozenou ventilací. V hřebenu střechy jsou větrací štěrbiny a pro letní období jsou nainstalované přídavné axiální ventilátory. V produkční stáji A je kejda shrnována z hnojné chodby lanovou lopatou. Pohled do stáje A je na obrázku 2.



Obr. 2: Pohled do stáje A

V rekonstruované stáji B jsou dojnice ve volném boxovém ustájení s roštovou podlahou. Boxy jsou rovněž nastýlány separovaným digestátem. Tato stáj je typu VKK a má také 4 řady s průjezdným krmným stolem uprostřed a s krmným žlabem po obou stranách. Stáj má kapacitu 360 dojnic holštýnského plemene (H-plemeno) s užitkovostí 9800 kg mléka. Ve stáji je používána přirozená ventilace a pro letní období jsou k dispozici nainstalované axiální ventilátory. Pohled do stáje B je na obrázku 3.



Obr. 3: Pohled do stáje B

Ve stáji C jsou dojnice ustájeny ve volném boxovém ustájení s tím rozdílem, že boxová lože jsou nastýlána slámou. Chlévská mrva je vyhrnována 2x denně čelním nakladačem. Stáj je typu K-105 a je v ní ustájeno 125 dojnic v kombinaci H-plemeno a C-plemeno v poměru 2 : 1 s průměrnou roční užitkovostí 6200 kg mléka. Stáj je řešena jako dvouřadá, průjezdná chodba uprostřed stáje má krmný žlab po obou stranách. Ve stáji je pouze přirozená ventilace vzduchu okenními otvory po obvodu stáje a v letním období je doplněna otevřenými vraty na čelních stranách stáje. V zimním období se průtok vzduchu snižuje zakrýváním okenních otvorů v obvodových stěnách stáje. Pohled do stáje C je na obrázku 4.



Obr. 4: Pohled do stáje C

Základní parametry stájí jsou přehledně shrnuty v tabulce 1.

Tab.1: Základní parametry stájí

	jednotka	stáj A	stáj B	stáj C
typ	-	K174	VKK	K105
rozměry (d x š x v)	m	100 x 25 x 5	90 x 30 x 5	84 x 10 x 4
orientace podélné osy stavby	-	JZ - SV	S - J	SZ - JV
počet dojnic	ks	230	360	125
průměrná hmotnost dojnic	kg	700	650	670
roční užitkovost	kg . ks ⁻¹	7600	9800	6200
podestýlka	-	separovaný digestát	separovaný digestát	obilná sláma
odkliz kejdy / chlévské mrvy	-	lanová lopata	roštová podlaha	vyhrnování čelním nakladačem

4.2 Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stájích

4.2.1 Měření teploty a relativní vlhkosti jako základních parametrů stájového mikroklimatu

Ve všech sledovaných stájích nainstaluji záznamníky teploty a relativní vlhkosti vzduchu S3120 firmy COMET SYSTEM, s.r.o., které umístím nad boxovými loži co nejbližší středu stáje. Umístění záznamníků jsem navrhl tak, aby byly co nejnižší nad dojnícemi, ale zároveň mimo dosah zvířat, aby nemohlo dojít k jejich poškození. Stejně záznamníky nainstaluji i ve venkovním prostředí ve výšce 2 m nad zemí pro záznam klimatických parametrů vně stáje. Při instalaci všech záznamníků budu dbát na to, aby v okolí záznamníků nebyly žádné překážky bránící volnému pohybu vzduchu, nedopadalo na ně přímé sluneční záření a údaje nebyly ovlivněny sálajícími předměty v okolí snímače.

Vybrané technické parametry přístroje COMET S3120:

Měření teploty:

Rozsah měření: vnitřní -30 až +70 °C

Rozlišení: 0,1 °C

Přesnost: ± 0,4 °C

Měření relativní vlhkosti (údaje jsou teplotně kompenzovány v celém teplotním rozsahu):

Rozsah měření: 0 až 100 %RV

Rozlišení: 0,1 %RV

Přesnost: ± 2,5 %RV v rozsahu 5 až 95 %RV při 23 °C

Nastavitelný interval záznamu: 10 s až 24 hod

Maximální počet záznamu: 32 000

Krytí přístroje: IP67

Životnost baterie: cca 6 let

Pohled na přístroj je na obr. 1 v příloze.

Naměřené hodnoty budou sloužit pro stanovení vlivu teploty a relativní vlhkosti vzduchu na užitkovost zvířat a na produkci zátěžových plynů uvnitř stáje. Pro jednotlivé

stáje stanovím závislosti vnitřní teploty na parametrech venkovního prostředí. Budu zjišťovat vztahy mezi spotřebou elektrické energie přídavných ventilátorů a sledovanými teplotami uvnitř i vně stájí.

4.2.2 Teplotně vlhkostní index

Z naměřených teplot a relativních vlhkostí vzduchu ve stájích vypočtu v letním období (denní teploty převyšující 25 °C) teplotně vlhkostní indexy (THI). Pro výpočty teplotně vlhkostního indexu použiji vzorec (4.2.2) (Zejdová-Chládek-Falta, 2014).

$$THI = 0,8t + ((t - 14,4) \cdot RH)/100 + 46,4 \quad (4.2.2)$$

kde: *THI* - teplotně vlhkostní index (-)

t - teplota vzduchu v zóně zvířat (°C)

RH - relativní vlhkost vzduchu (%)

Pro všechny 3 sledované stáje stanovím průměrné hodnoty THI pro tato období a dále průměrné hodnoty pro pět po sobě následujících nejteplejších dnů v roce. Budu zjišťovat vliv ustájení a konstrukce stájí na teplotně vlhkostní index uvnitř stájí.

4.3 Měření intenzity osvětlení

Pro měření intenzity osvětlení použiji luxmetry se záznamem dat UT382 firmy UNI-T.

Vybrané technické parametry přístroje UT382:

Měřicí rozsah: 4 automaticky přepínatelné měřicí rozsahy od 20 do 20 000 lx

Přesnost přístroje: ± (3% + 8)

Interval mezi záznamy: 1 až 256 s

Maximální počet záznamů: 2048

Napájení: baterie 9V 6f22

Pro snazší zpracování naměřených hodnot nastavím interval na 240 sekund (4 minuty). Maximální doba měření vychází přibližně 5,5 dne. Luxmetry umístím do robustních

kovových pouzder, aby mohly být nainstalovány v životní zóně zvířat. Snímače luxmetrů budou namířeny tak, aby měřily světlo dopadající ze zorného pole dojníc, které leží v boxech a tráví zde zpravidla více než 12 hodin denně. Naměřené hodnoty intenzity osvětlení se zaznamenávají do vnitřní paměti přístroje a při vybití baterie dochází k jejich ztrátě. K vybití baterie typu 6f22 a ztrátě dat dochází po cca 3 dnech nepřetržitého měření. Proto luxmetry upravím pro napájení externím akumulátorem Li-Pol s napětím 7,2 V a kapacitou 1 300 mAh. Tím bude zajištěno, že přístroj bude schopen měřit minimálně po dobu 7 dnů bez ztráty naměřených dat. Stejně luxmetry nainstalují i vně stájí a to tak, aby na snímač nedopadalo přímé sluneční záření. Pohled na luxmetr a nainstalované pouzdro s luxmetrem ve stáji je na obrázku 2 a obrázku 3 v příloze.

Cílem měření bude stanovit intenzitu osvětlení danou světlem, které přichází ze stáje do zorného pole ležící dojnice a stimuluje její hormonální činnost. To je rozdíl proti běžně prováděným měřením intenzity osvětlení dopadajícího světla na vodorovnou plochu. Na základě porovnání hodnot intenzity osvětlení vně a uvnitř stáje v době od rozednění do soumraku stanovím pro každou stáj světelný útlum jako poměr intenzity osvětlení venku a uvnitř stáje.

$$A = \frac{E_{INT}}{E_{EXT}} \quad (4.3.1)$$

kde: A - světelný útlum (-)

E_{INT} - intenzita osvětlení uvnitř stáje (lx)

E_{EXT} - intenzita osvětlení vně stáje (lx)

Tato hodnota bude sloužit pro porovnání světelných vlastností jednotlivých stájí. Naměřené intenzity osvětlení porovnáám s minimálními doporučenými hodnotami intenzity osvětlení a s doporučenou délkou světelného dne pro dojnice v různých ročních obdobích. Budu porovnávat intenzitu osvětlení s elektrickou spotřebou různých světelných zdrojů, použitých ve sledovaných stájích.

4.4 Měření koncentrací zátěžových plynů

V různých ročních obdobích budu měřit koncentrace NH_3 , CO_2 , CH_4 a vodní páry. Pro kontinuální měření koncentrací plynů použiji plynový analyzátor INNOVA 1312, který pracuje na fotoakustickém principu. Analyzátor je schopen měřit současně koncentrace až 5 různých plynů a vodní páry. Koncentrace vodní páry je nutné měřit vždy z důvodů automatické kompenzace výsledků měření. Komplexní analýza jednoho vzorku vzdušiny trvá přibližně 80 sekund. Použitím unikátní metody fotoakustické spektroskopie analyzátor vyniká proti ostatním přístrojům vysokou citlivostí, velkým dynamickým rozsahem a stabilitou parametrů. Je schopný měřit koncentrace téměř všech plynů, které absorbují infračervené záření.

Vybrané technické parametry přístroje INNOVA 1312:

detekční limit pro NH_3 : $0,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,3 ppm)

detekční limit pro CH_4 : $0,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,3 ppm)

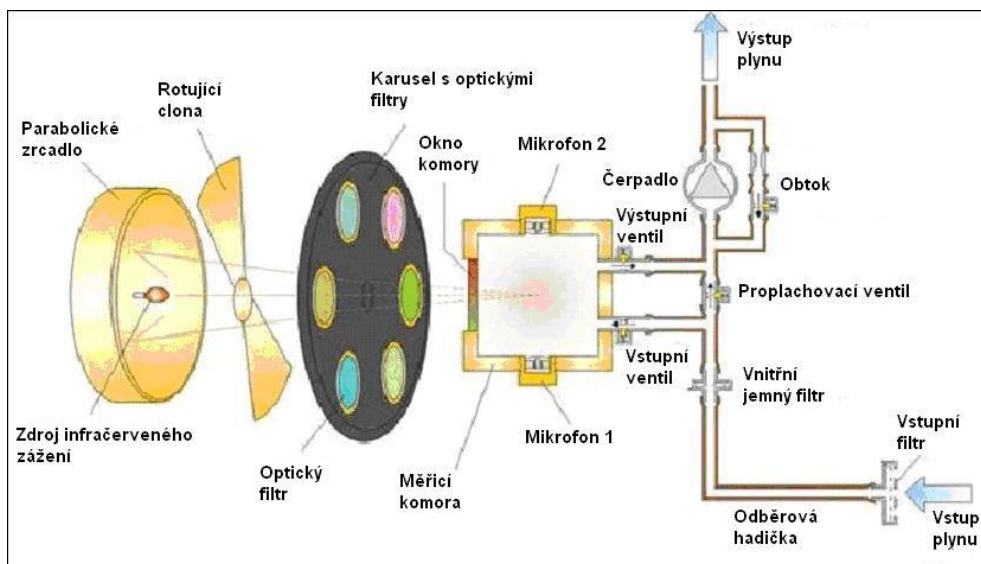
detekční limit pro CO_2 : $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (5,1 ppm)

dynamický rozsah přístroje: 1 až 100 000 x detekční limit

kolísání nulového bodu: ± 1 x detekční limit

přesnost měření: $\pm 2,5 \%$ z naměřené hodnoty ± 1 x detekční limit

Princip funkce analyzátoru je patrný z obrázku 5.



Obr. 5: Princip funkce analyzátoru

(převzato a upraveno z Lumasense, 2005)

Měřený plyn je čerpadlem nasáván přes vstupní filtr a odběrovou hadičku do měřicí komory. Komorou prochází plyn cca 5 sekund, aby byla komora dostatečně propláchnuta od předchozího vzorku plynu. Poté se komora ventily uzavře. Zdrojem infračerveného záření je žhavený drát. Jeho teplota je elektronicky regulována. Infračervené záření je usměrňováno parabolickým zrcadlem a je mechanicky přerušováno rotující clonou s frekvencí 11 Hz. Přerušované záření prochází přes optický filtr typu pásmová propust. Optické filtry jsou umístěny v otočném karuselu. Pro každý sledovaný plyn je v karuselu jeden optický filtr, který propouští záření s vlnovou délkou, která odpovídá rezonanční frekvenci atomů v molekule měřeného plynu. Optimální výběr filtrů a jejich vhodná kombinace pro zvolené plyny je zásadním předpokladem pro správnou činnost analyzátoru. Po průchodu filtrem postupuje přerušované infračervené záření o specifické vlnové délce okénkem do měřicí komory. Infračervené záření v měřicí komoře periodicky předává energii molekulám plynu, jejichž rezonanční frekvence odpovídá vlnové délce záření. Tím se s frekvencí 11 Hz zvyšuje a opět snižuje tlak v komoře, který odpovídá změnám kinetické energie molekul plynu. Změny tlaku měří 2 vysoce citlivé mikrofony. Elektrický signál z mikrofونů je dále zpracováván elektronikou, která vyhodnocuje pouze signály s frekvencí 11 Hz. Tím se odstraní naprostá většina rušivých signálů a přístroj proto dosahuje jedinečných parametrů. Po analýze plynu v komoře pro daný plyn se karusel pootočí a do komory prochází infračervené záření s vlnovou délkou, která odpovídá rezonanční frekvenci dalšího sledovaného plynu. Tento cyklus se opakuje pro všechny

sledované plyny a odpovídající filtry v karuselu. Poté se otevřou ventily komory a čerpadlo nasává plyn pro další analýzu. Protože některé plyny mají více rezonančních frekvencí, je nutné zabezpečit rozlišení příspěvků změny kinetické energie od plynů s blízkou rezonanční frekvencí. K tomu se využívá tzv. křížové kompenzace. Přístroj má ve své paměti uloženy kalibrační hodnoty změny výstupního signálu pro každý plyn od všech vlnových délek záření pro danou sestavu filtrů. Analyzátor je pak schopen softwarově odlišit příspěvky signálu jednotlivých plynů. Z principu činnosti je zřejmé, že analyzátor jako prvotní údaje poskytuje hmotnostní koncentrace plynů ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), protože změny tlaku odpovídají přímo počtu molekul v měřicí komoře. Pro výpočet emisí se proto nemusí provádět zdlouhavý přepočítání z objemové koncentrace, kterou poskytují elektrochemické a polovodičové snímače koncentrací plynů. Tyto přepočty do výsledku zanáší chybu měření tlaku, teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Svými relativně malými rozměry a robustní konstrukcí je přístroj vhodný pro měření i ve stájovém prostředí.

Analyzátor bude doplněn přepínačem odběrových míst INNOVA 1309, který umožní současné měření až z 12 odběrových míst jedním analyzátozem. Odběrové sondy budou s přepínačem propojeny teflonovými hadičkami. Sondy budou umístěny v prostorech boxů v zóně zvířat a pokud to bude technicky možné, budou rovnoměrně rozmístěny po co největší ploše stáje. Pohled na sestavu analyzátoru s přepínačem odběrových míst je na obrázku 4 v příloze.

Měření budou probíhat po dobu minimálně 24 hodin, aby měření obsáhlo vliv technologie i fyziologických projevů zvířat na koncentrace sledovaných plynů (pobyt v boxech, krmení, odchod a návrat do dojírny, vyhrnování kejdy).

Budu hledat závislosti naměřených koncentrací zátěžových plynů na způsobu odkluzu kejdy, teplotě vzduchu uvnitř stáje a na dalších sledovaných parametrech.

4.5 Měření rychlosti proudění vzduchu ve stáji

Ve všech sledovaných stájích je přirozená ventilace vzduchu, která závisí kromě stavebního a konstrukčního řešení na rychlosti a směru větru a dále zejména na rozdílu teplot vně a uvnitř stáje. Ve stájích A a B jsou nainstalovány přídatné axiální ventilátory pro nucenou výměnu vzduchu při překročení nastavené teploty uvnitř stáje. Tyto stáje mají v hřebeni střechy větrací štěrbinu. Ve stáji C typu K 105 nejsou žádné

přídavné ventilátory. S výjimkou režimu se zapnutými ventilátory lze očekávat rychlosti proudění pod $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a proto při měřeních použijí sondu se žhavenou kuličkou s univerzálním anemometrem Testo 445. Pro měření rychlosti proudění se zapnutými ventilátory použijí vrtulkovou sondu se stejným přístrojem. Technické řešení obou sond a přístroje Testo 445 je na obrázku 5 v příloze.

Vybrané technické parametry anemometru Testo 445:

Vrtulkový anemometr (sonda 25 mm)

Měřicí rozsah: $0 - 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Rozlišení: $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Přesnost $\pm (0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 1\% \text{ z naměřené hodnoty})$

Termoanemometr

Měřicí rozsah: $0 - 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Rozlišení: $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (pro hodnoty $0 - 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Přesnost: $\pm (0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 5\% \text{ z naměřené hodnoty})$

4.6 Stanovení průtoku vzduchu a emisí zátěžových plynů

Pro stanovení produkce amoniaku a metanu z jednotlivých stájí pro letní a zimní období vypočtu měrnou výrobní emisi plynu. Tato hodnota udává kolik gramů plynu v průměru vyprodukuje 1 dojnice za 1 hodinu (4.6.1).

$$MVE = M \cdot 3600 n^{-1} \cdot 10^{-3} \quad (4.6.1)$$

kde: MVE – směrná výrobní emise ($\text{g}\cdot\text{den}^{-1}\cdot\text{zvíře}^{-1}$)

M – hmotnostní tok plynu ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)

n – počet zvířat ve stáji (-)

Pro každou stáj uskutečnim tři 24 hodinová měření v letním období a tři 24 hodinová měření v zimním období. V souladu s metodikou ČIŽP pro stanovení emisí plynů vypočtu z naměřených hodnot koncentrací půlhodinové průměry koncentrací. Pro 24

hodinové měření tak získám 48 hodnot půlhodinových průměrů, které použiji pro další výpočty. Hmotnostní toky plynů M pro každou půlhodinu stanovím z půlhodinových průměrů naměřených koncentrací plynů a hodnot průtoků vzduchu ve stáji (4.6.2).

$$M = k \cdot p \quad (4.6.2)$$

kde: M – hmotnostní tok plynu ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)

k – koncentrace plynu ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$);

p – průtok vzduchu ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$);

Pro stanovení průtoku vzduchu v zvolím metodu bilance CO_2 . Pro různé průměrné hmotnosti dojnic v jednotlivých stájích na základě údajů o produkci CO_2 (Příručka MZe, 1996) stanovím interpolací množství CO_2 , vyprodukovaná dojnici za jednotku času. Hodnoty produkce CO_2 pro dojnice ve stájích A, B a C jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab.2: Hodnoty produkce CO_2

stáj	A	B	C
průměrná hmotnost dojnice (kg)	700	650	670
produkce CO_2 ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ks}^{-1}$)	299	281	293

Průtok vzduchu v půlhodinových intervalech vypočtu podle vzorce (4.6.3)

$$p = \frac{n \cdot Q}{C_M - C_{EXT}} \quad (4.6.3)$$

kde: p - průtok vzduchu ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)

n - počet ustájených zvířat (-)

Q - produkce CO_2 od jednoho zvířete dle tabulky 2 ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)

C_M - koncentrace CO_2 naměřená v odběrovém místě ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)

C_{EXT} - koncentrace CO_2 naměřená vně objektu ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Ze všech 48 hodnot hmotnostních toků za jedno 24 hodinové měření vypočtu měrnou výrobní emisi. Výslednou měrnou výrobní emisi stanovím jako průměrnou hodnotu ze všech 3 měření pro každý plyn a každé teplotní období.

Pro každou výslednou měrnou výrobní emisi stanovím nejistotu měření. Vzhledem k malému počtu opakování interval rozšířím vynásobením koeficientem 2,3 (Bell, 2010).

4.7 Měření elektrických příkonů vybraných technologií

Budu sledovat energetickou náročnost různých variant osvětlení, odklizu exkrementů a v letním období přídatné nucené ventilace eventuálně ochlazování. Pro tyto účely nainstaluji u technologií s kolísajícím příkonem elektroměry s impulsním výstupem se záznamníky impulzů S7021 firmy COMET SYSTEM s.r.o.. U technologií, kde se spotřeba nemění (osvětlení, shrnovací lopata), uskutečním jednorázová měření elektrického příkonu a nainstaluji záznamníky doby zapnutí jednotlivých spotřebičů. Budou použity rovněž záznamníky S7021 firmy COMET SYSTEM s.r.o., které budou přepnuty do binárního módu. V tomto případě záznamníky doplním o převodníky, převádějící napětí 230 V na beznapěťový spínací kontakt, jak to vyžadují vstupní obvody záznamníků. Převodníky si vyrobím svépomocí.

Vybrané technické parametry záznamníku S7021:

Rozsah čítače: 0 až 61695 hodnot

Interval záznamu čítacího vstupu: 10 s až 24 hod

Kapacita paměti: 32 504 záznamů

Krytí: IP67

Pro měření příkonu motoru shrnovací lopaty použiji klešťový ampérmetr a střídavý voltmetr. Protože asynchronní motor je z hlediska 3 fázové síťové soustavy symetrickou zátěží, stačí měřit pouze proud v jedné fázi přívodu k motoru klešťovým ampérmetrem a změřit napětí vůči nulovému vodiči. Výsledný příkon lze vypočítat podle vzorce:

$$P = 3U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.7.1)$$

kde: P – příkon motoru (W)

U – napětí mezi fází a nulovým vodičem (V)

I – proud fáze (A)

φ – fázový úhel mezi napětím a proudem v jedné fázi (°)

S využitím nainstalovaného kamerového systému ve stáji A budu hledat časové závislosti intenzity kálení dojníc z různých skupin. Pokud to bude možné, navrhnu optimální režim chodu shrnovacích lopat s cílem snížení počtu pojezdů a snížení spotřeby elektrické energie.

Na základě průběhů naměřených hodnot budu hledat možnosti snížení spotřeby elektrické energie technickými a technologickými úpravami sledovaných technologií a technologických operací.

4.8 Zpracování naměřených dat

Naměřená data zpracuji pomocí software MS Excel a Statistica 10 do tabulek a grafů. Využiji standardní statistické metody.

S ohledem na očekávaný charakter výsledků budu nejčastěji hodnotit a srovnávat střední hodnoty. Střední hodnoty souborů dat vyjádřím pomocí aritmetického průměru a intervalu spolehlivosti (IS) určeného na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, eventuelně pro menší počet měření než 20 na hladině významnosti $\alpha = 0,1$.

Střední hodnoty vypočítám podle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.8.1)$$

kde: \bar{x} – aritmetický průměr

n - počet měření

x_i - naměřená hodnota

Interval spolehlivosti vypočtu podle vztahu:

$$IS_{(\bar{x})} = \bar{x} \pm \frac{S \cdot t_{\alpha, f}}{\sqrt{n}} \quad (4.8.2)$$

kde: $IS_{(\bar{x})}$ – interval spolehlivosti

S - směrodatná odchylka aritmetického průměru souboru naměřených dat,

$t_{\alpha, f}$ - kritická hodnota pro hladinu významnosti α

f - počet stupňů volnosti (dán výrazem $f = n-1$)

Vzhledem k charakteru měření a získaných dat budu vyhodnocovat standardní nejistotu měření. Nejistotu typu A určím na základě výpočtu:

$$u_a = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (4.8.3)$$

kde: u_a – nejistota měření typu A

Pokud bude počet měření menší než 20 (měření koncentrací a stanovení emisí zátěžových plynů), získám výslednou nejistotu měření vynásobením vypočtené nejistoty měření korekčním koeficientem k (Bell, 2010). Pro tři měření je $k=2,3$.

Pro každý uvažovaný zdroj nejistoty typu B stanovím dílčí nejistotu $\Delta_{B_i}x$ a výslednou nejistotu B pak určím jako:

$$\Delta_B x = \sqrt{(\Delta_{B_1}x)^2 + (\Delta_{B_2}x)^2 + \dots} \quad (4.8.4)$$

Výslednou nejistotu sledované veličiny x , tedy kombinovanou nejistotu, vypočtu podle vztahu:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_A x)^2 + (\Delta_B x)^2} \quad (4.8.5)$$

Koncentrace a emise NH_3 a CH_4 pro jednotlivé stájové objekty porovnám s využitím analýzy rozptylu (Statistica 10).

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1. Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stájích

Ve všech stájích jsem nainstaloval záznamníky pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Přístroje jsem umístil do středu stáje. Při instalaci jsem dbal na to, aby záznamníky byly nainstalovány co nejbližší zóně zvířat a přitom bylo vyloučeno jejich poškození zvířaty. Stejně záznamníky jsem umístil i do venkovního prostředí ve výši cca 2,5 metru nad zemí. Dbal jsem na to, aby na záznamníky nedopadalo přímé sluneční záření a v blízkosti nebyly žádné předměty, které by sáláním mohly ovlivnit výsledky měření.

Dojnice se velice těžko přizpůsobují vysokým teplotám. Většinu měření jsem proto prováděl v přechodném jarním a v letním období kdy jsou dojnice vystaveny největší tepelné zátěži.

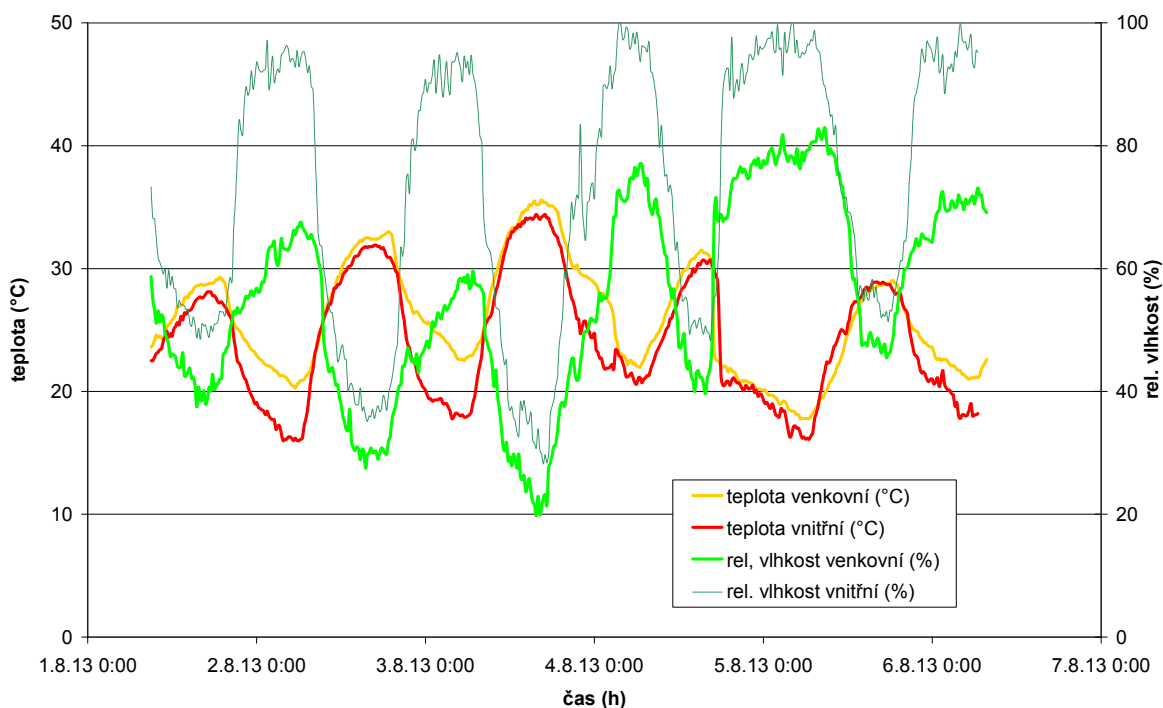
V tabulce 3 jsou uvedeny průměrné teploty ve stájích A, B a C za jednotlivé měsíce květen až září 2013. Intervaly spolehlivosti jsou vypočteny z průměrných denních teplot v daném měsíci.

Tab.3: Průměrné měsíční teploty ve stájích

	květen	červen	červenec	srpen	září
průměrná teplota ve stáji A (°C)	16,7 ± 6,8	18,3 ± 7,2	21,1 ± 4,4	18,8 ± 4,2	17,5 ± 3,6
průměrná teplota ve stáji B (°C)	16,2 ± 7,1	18,9 ± 7,4	20,2 ± 4,7	17,7 ± 4,5	17,0 ± 4,0
průměrná teplota ve stáji C (°C)	15,3 ± 5,3	17,3 ± 6,2	21,9 ± 3,8	19,7 ± 3,4	17,2 ± 3,2

Průměrné teploty odpovídají očekávaným trendům v průběhu sledovaného období. Všechny stáje jsou v podobných klimatických podmínkách. Diference mezi teplotami ve sledovaných stájích bude zřejmě záviset na jejich konstrukci a na technologiích, které ovlivňují výměnu vzduchu. Z hodnot v tabulce lze vyvodit, že stáj C typu K105 bez přídatných ventilátorů vykazuje nižší vnitřní teploty v počátku letního období. To je patrně dáno velkou tepelnou setrvačností budovy. Po naakumulování tepla konstrukcí stáje a s rostoucí venkovní teplotou v průběhu krátké noci stáj nestačí odevzdat naakumulované teplo do venkovního prostředí a teplota uvnitř stáje stoupá. V srpnu vykazuje stáj C nejvyšší průměrnou teplotu ze všech sledovaných stájí. Naopak stáj B

s minimalizací stavebních prvků, které jsou schopny akumulovat teplo, reaguje rychle na snížení průměrné venkovní teploty a v srpnu vykazuje nejnižší průměrnou teplotu. Rychlé ochlazení je navíc podporováno i nainstalovanými 12 axiálními ventilátory. Na obrázku 6 je zobrazený průběh venkovní a vnitřní teploty a venkovní a vnitřní relativní vlhkosti vzduchu ve stáji B v období s extrémními teplotami, kdy teplota ve stáji opakovaně přesáhla 30 °C. Ve stáji B jsou podroštové prostory s kejdou.



Obr. 6: Průběhy teplot a relativních vlhkostí ve stáji B

Z grafu je zřejmé, že při nočním poklesu teploty vzduchu se relativní vlhkost vzduchu zvýšila až na téměř 100 %. Kromě přirozené vlhkosti vzduchu ve stájovém prostředí se na tomto zvýšení zřejmě podílí i odpar ze zahřáté kejdy v podroštových prostorech. Takto vysoká relativní vlhkost se negativně projevuje i na hodnotě teplotně vlhkostního indexu a zvyšuje tepelný stres ustájených dojnic. Překvapující je pokles vnitřní teploty v nočním období pod hodnotu venkovní teploty. Možným vysvětlením je právě odpar vody z podroštových prostorů a odebrání tepla ze stáje pro tuto skupenskou přeměnu společně s ochlazovacím účinkem objemu kejdy s nižší teplotou než je teplota vzduchu ve stáji.

Samotná hodnota teploty je málo vypovídající o jejím vlivu na chovaná zvířata. V zemědělské praxi se proto osvědčilo kvantifikovat současně vliv teploty a relativní vlhkosti na zvířata teplotně vlhkostním indexem (THI).

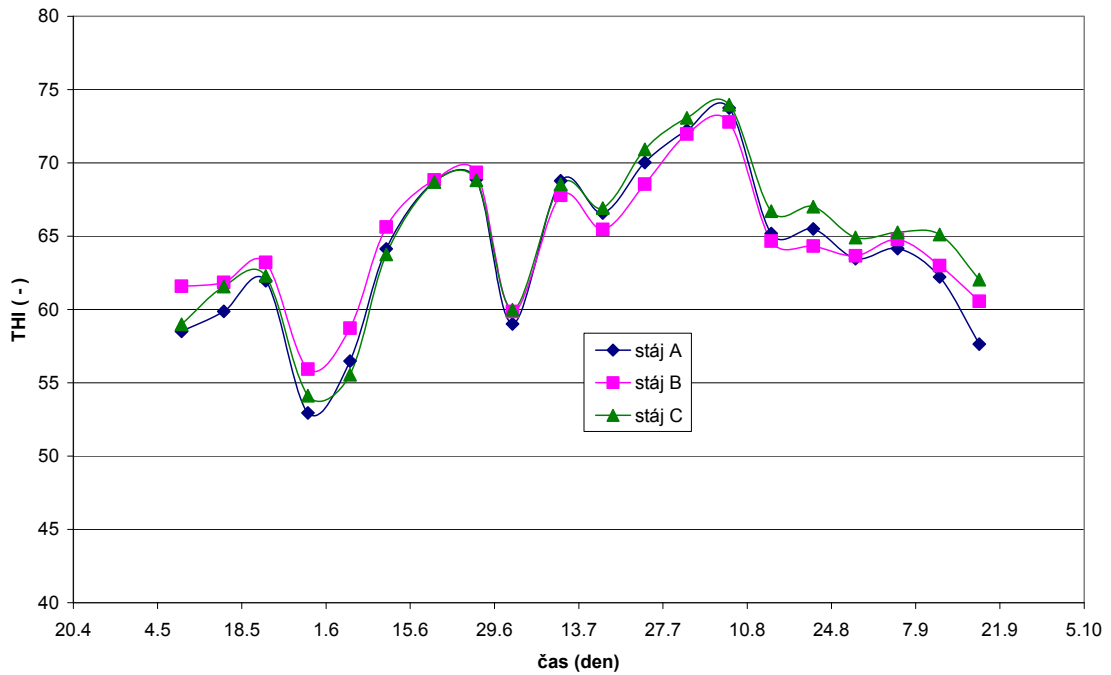
5.2. Stanovení teplotně vlhkostního indexu ve stájích

Teplotně vlhkostní indexe (THI) jsem vypočítal podle vzorce (4.2.2) z naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti v období květen až září 2013 pro všechny sledované stáje. Pro názornost jsem vypočítal průměrné týdenní hodnoty THI pro sledované období. Vypočtené hodnoty jsou v tabulce 4.

Tab.4: Týdenní průměrné hodnoty THI

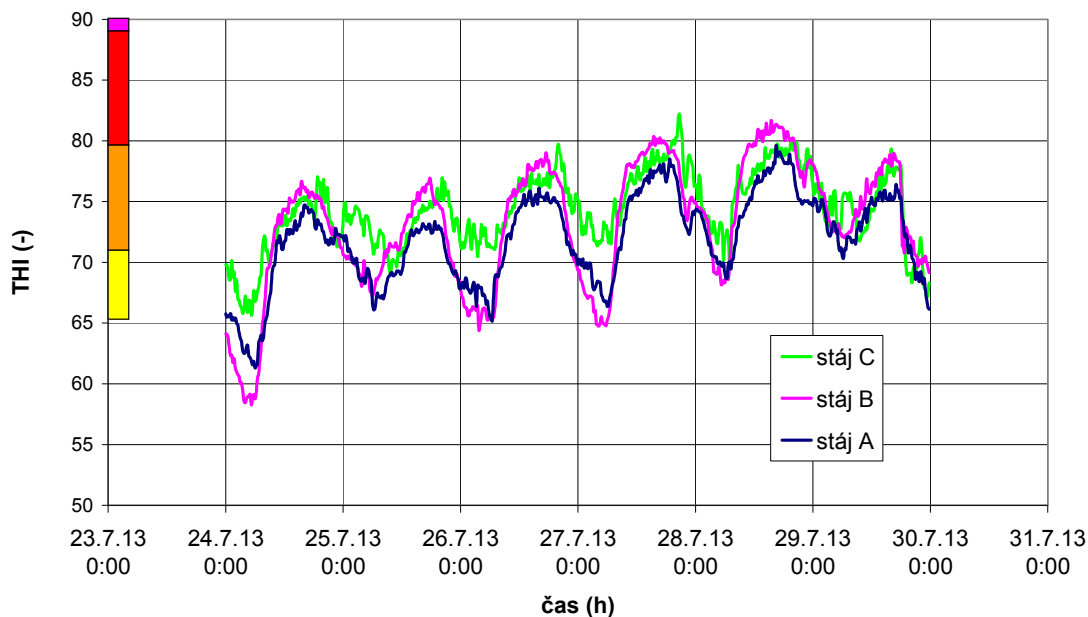
datum	průměrný týdenní index THI		
	stáj A	stáj B	stáj C
8.5.	59	62	59
15.5.	60	62	62
21.5.	62	63	62
28.5.	53	56	54
4.6.	56	59	56
11.6.	64	66	64
18.6.	69	69	69
25.6.	69	69	69
2.7.	59	60	60
9.7.	69	68	69
16.7.	67	65	67
23.7.	70	69	71
30.7.	72	72	73
6.8.	74	73	74
13.8.	65	65	67
20.8.	66	64	67
27.8.	63	64	65
3.9.	64	65	65
10.9.	62	63	65
17.9.	58	61	62

Grafické znázornění týdenních průměrných hodnot THI je na obrázku 7.



Obr. 7: Týdenní průměrné hodnoty THI

Z naměřených hodnot v tabulce 4 i z grafu na obrázku 7 je dobře patrné, že zpočátku je THI ve stavebně mohutné stáji C nízké. S pokračujícím teplým obdobím se THI vyrovnává s THI ve stájích A a B. Při dalším oteplování se negativně projevuje velká tepelná kapacita stáje C a dojnice v této stáji jsou vystaveny největšímu THI. Naopak lehká stavební konstrukce stáje B v období s nejvyššími hodnotami THI se v nočních hodinách za přispění výkonných ventilátorů rychle ochladí a průměrná hodnota THI je v tomto období nejnižší. Tuto domněnku potvrzuje graf na obrázku 8, kde je znázorněn průběh THI ve stájích A, B a C v době s nejvyššími hodnotami THI za celé sledované období (květen až září). V levé části jsou barevně vyznačena pásma tepelného stresu od slabého stresu až po extrémně silný stres.



Obr. 8: Průběh THI v týdnu s nejvyššími teplotami

Z průběhů THI je dobře patrné, že v době s nejvyššími hodnotami THI byly nejvyšší hodnoty THI ve stáji B s lehkou konstrukcí. THI zde jednou dokonce překročilo krátkodobě hodnotu 80 (velmi silný stres). Ve večerních a nočních hodinách však hodnota THI výrazně klesla až na úroveň slabého stresu, takže dojnice měly dost času na regeneraci. Až na nižší pokles tomu bylo podobně i ve stáji A, která je stavebně mohutnější, ale stejně jako stáj B je velice dobře provětrávána včetně nucené výměny vzduchu přídatnými ventilátory. THI ve stáji C typu K105 s mohutnou stavební konstrukcí a bez přídatných ventilátorů v nočních hodinách kleslo minimálně a dojnice se v této stáji pohybovaly v oblasti silného stresu bez možnosti regenerace.

5.3. Měření koncentrací zátěžových plynů

Ve všech třech typech sledovaných stájí s různými způsoby odkluzu kejdy jsem v letním a zimním období měřil koncentrace všech sledovaných zátěžových plynů. Koncentrace jsem měřil v životní zóně zvířat podle navržené metodiky, vždy po dobu minimálně 24 hodin. V každé stáji jsem v letním a zimním období uskutečnil 3 měření. Z naměřených hodnot jsem stanovil průměrné a maximální hodnoty koncentrací pro každou stáj.

AMONIAK

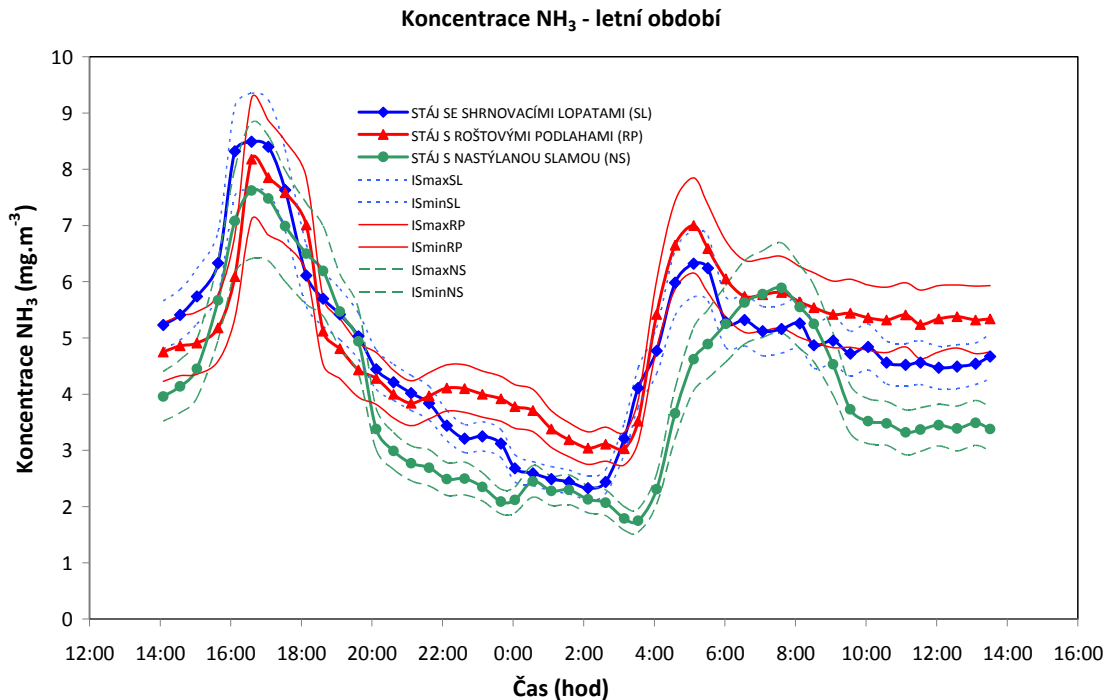
Průměrné a maximální hodnoty koncentrací amoniaku jsou uvedeny v tabulce 5 .

Tab.5. : Průměrné hodnoty koncentrací amoniaku ve sledovaných stájích

technologie odklizu kejdy		průměrná koncentrace NH ₃ (mg.m ⁻³)	maximální koncentrace NH ₃ (mg.m ⁻³)
SHRNOVACÍ LOPATY (stáj A)	letní období	4,87 ± 0,69	8,41
	zimní období	4,89 ± 0,70	5,93
ROŠTOVÉ PODLAHY (stáj B)	letní období	5,12 ± 0,78	6,37
	zimní období	1,97 ± 0,27	4,86
SLAMNATÁ PODESTÝLKA S VYHRNOVÁNÍM (stáj C)	letní období	4,01 ± 0,68	18,2
	zimní období	5,38 ± 0,77	16,3

Při porovnání koncentrací amoniaku ve sledovaných stájích je nutné vzít úvahu i rozdíl hmotnosti dojnic ve všech stájích. Ve stáji A je hmotnost dojnic vyšší přibližně o 7 % oproti hmotnosti dojnic ve stáji B a o 4 % oproti hmotnosti dojnic ve stáji C. Lze předpokládat, že i produkce amoniaku, vztažená na jednu dojnici, bude úměrná jejich hmotnosti.

Na obrázku 9 jsou průběhy koncentrací amoniaku ve stájích A, B a C v letním období a na obrázku 10 průběhy koncentrací amoniaku v zimním období včetně vyznačených intervalů spolehlivosti.



Obr. 9: Průběhy koncentrací amoniaku ve stájích A, B a C v letním období.

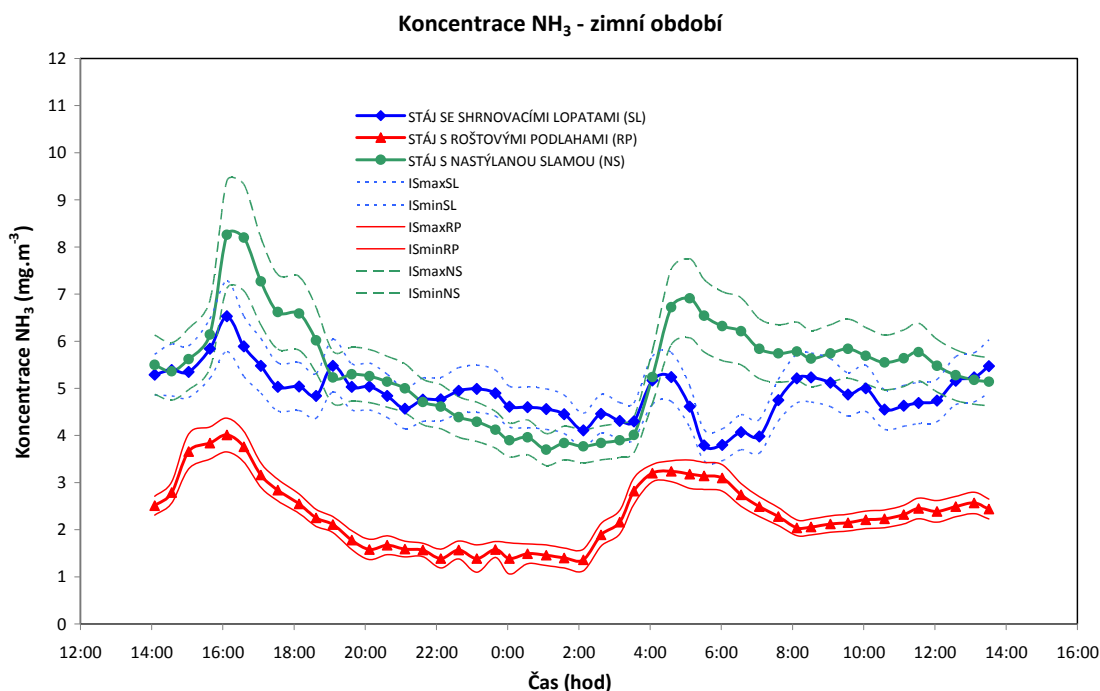
Ze všech průběhů koncentrací amoniaku je zřejmý prudký nárůst koncentrací v době kdy jsou dojnice naháněny do dojírny nebo je na krmný stůl navezeno nové krmivo. To je spojeno s prudkým nárůstem urinace a defekace. Mezi dojeními dojnice většinou leží v boxech a koncentrace amoniaku ve všech stájích klesá, zejména v noční době. Ve stáji C zvyšuje nárůst koncentrací amoniaku v době dojení i vyhrnování mrvy čelním nakladačem v době, kdy jsou dojnice v dojírně.

Koncentrace amoniaku ve stájích A a B v letním období:

Průběhy naměřených koncentrací potvrzují, že stáje s rošty a shrnovacími lopatami byly v letním období velice dobře provětrávány zejména v důsledku využití přídavných ventilátorů. Ve stájích se shrnovacími lopatami A i s roštovými podlahami B jsou koncentrace amoniaku v zónách zvířat v letním období téměř identické. Za největší zdroj amoniaku ve stáji A se shrnovacími lopatami lze označit tenkou vrstvu exkrementů, kterou zanechává po celé ploše hnojných chodeb shrnovací lopata po každém přejezdu. Uvolňování amoniaku je závislé i na teplotě, proto v letním období je jeho tvorba výrazně vyšší než v zimním období. Přesto je koncentrace amoniaku ve stáji A se shrnovacími lopatami v letním období nižší než v zimním období, což je zřejmě dáno výrazně větší výměnou vzduchu v důsledku otevření stavebních otvorů a

přídavným ventilátorům. Kvalitní výměna vzduchu v obou stájích udržela koncentraci amoniaku i v letním období na relativně nízké úrovni.

Ve stáji B s roštovými podlahami vyprodukovaná moč poměrně rychle odteče do podroštových prostorů. Difúzi amoniaku z kejdy pod roštovou podlahou lze považovat za hlavní zdroj amoniaku v této stáji. Jeho uvolňování závisí na teplotě kejdy v podroštovém prostoru a v letním období je difúze rychlejší.



Obr. 10: Průběhy koncentrací amoniaku ve stájích A, B a C v zimním období.

Koncentrace amoniaku ve stájích A a B v zimním období:

V zimním období byla koncentrace amoniaku ve stáji A se shrnovacími lopatami přibližně dvojnásobná v porovnání se stáji B s rošty. Ve stáji B s rošty má nižší teplota kejdy v podroštových prostorech v zimním období vliv na snížení tvorby amoniaku a na zmenšení jeho následného úniku z podroštových prostor. Naproti tomu neustále roztíraná vrstva čerstvých a relativně teplých exkrementů shrnovacími lopatami ve stáji A produkuje i v zimním období poměrně velké množství amoniaku.

Koncentrace amoniaku ve stáji C

Z průběhu naměřených hodnot je zřejmý výrazný nárůst koncentrace amoniaku v ranních a odpoledních hodinách, kdy je z hnojné chodby vyhrnována mrva čelním

nakladačem. Relativně úzká, nízká a dlouhá stáj C se slamnatou podestýlkou využívala i v letním období pouze přirozenou ventilaci otevřenými vraty a vyjmutými výplněmi okenních otvorů. Ale i přesto, že uvolňování amoniaku do ovzduší ve stáji podporuje mimo jiné i vyšší teplota vzduchu, jeho koncentrace oproti zimnímu období v této stáji nijak výrazně nevzrostla. Je to dáno lepší výměnou vzduchu v letním období otevřením stavebních otvorů v podélných stěnách stáje.

V žádné ze sledovaných stájí bez ohledu na jejich stavební uspořádání a technologii odkluzu kejdy, respektive mrvy, nepřesáhla průměrná koncentrace amoniaku ani polovinu maximálního doporučeného limitu 14 mg.m^{-3} (Příručka MZe, 1996).

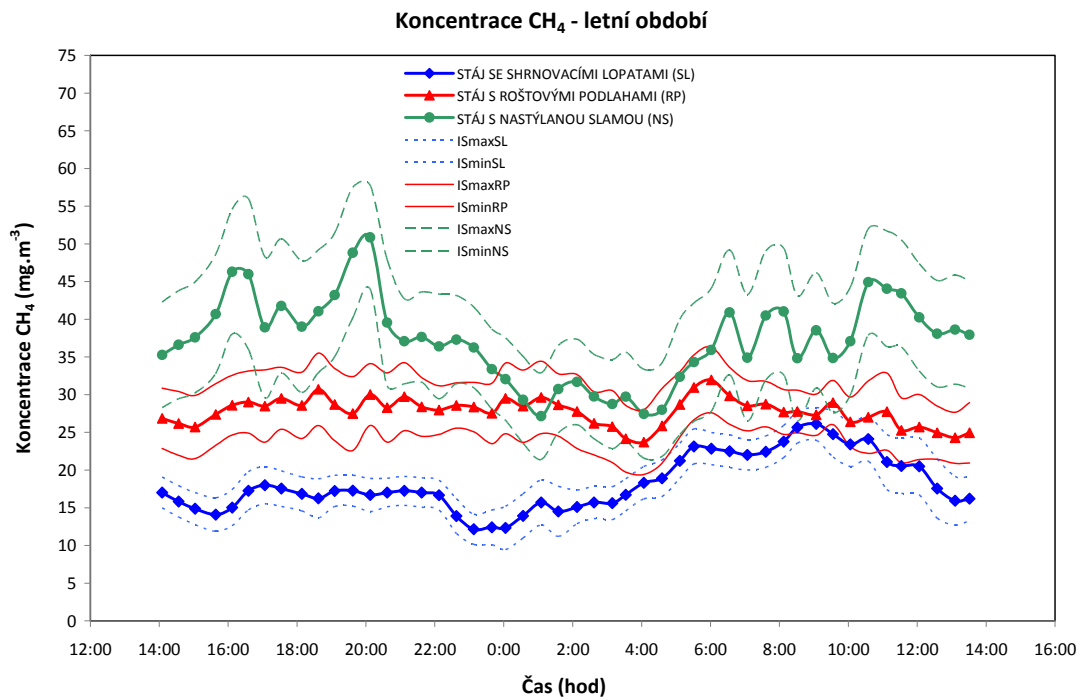
METAN

Průměrné a maximální hodnoty koncentrací metanu jsou uvedeny v tabulce 6 .

Tab.6: Průměrné hodnoty koncentrací metanu ve sledovaných stájích

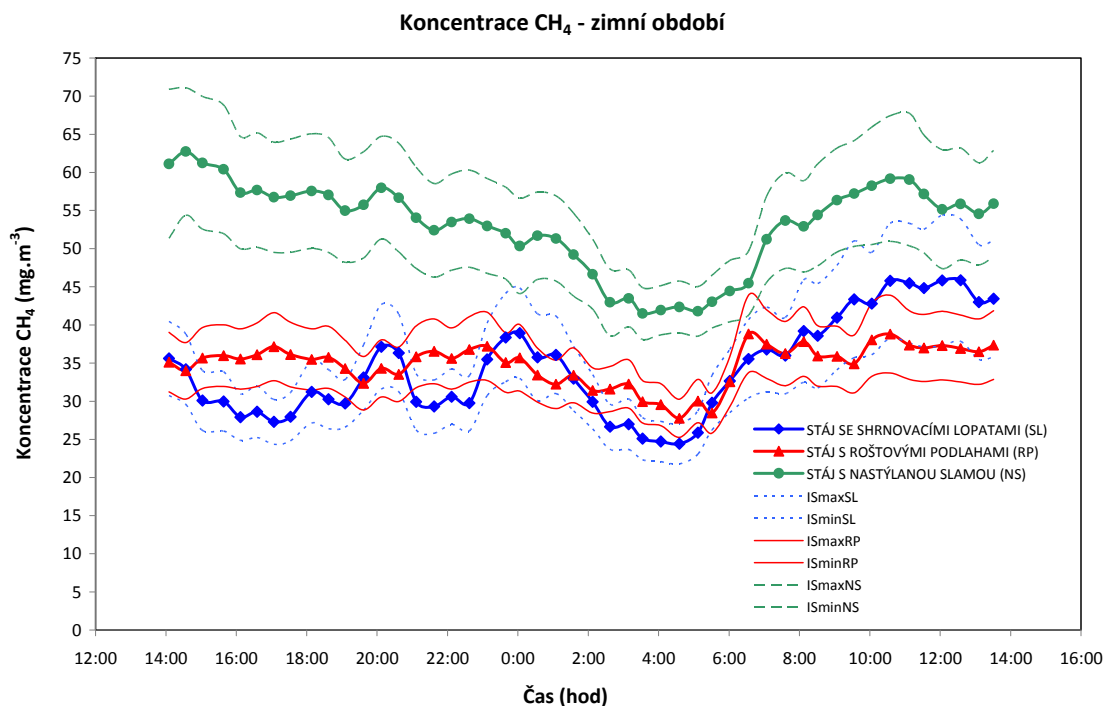
technologie odkluzu kejdy		průměrná koncentrace CH_4 (mg.m^{-3})	maximální koncentrace CH_4 (mg.m^{-3})
SHRNOVACÍ LOPATY (stáj A)	letní období	$19,1 \pm 2,87$	26,4
	zimní období	$34,2 \pm 5,98$	46,2
ROŠTOVÉ PODLAHY (stáj B)	letní období	$27,8 \pm 4,99$	31,4
	zimní období	$35,0 \pm 5,47$	38,8
SLAMNATÁ PODESTÝLKA S VYHRNOVÁNÍM (stáj C)	letní období	$37,6 \pm 7,83$	50,9
	zimní období	$53,3 \pm 9,12$	63,2

Na obrázku 11 jsou průběhy koncentrací metanu ve stájích A, B a C v letním období a na obrázku 12 průběhy koncentrací metanu v zimním období včetně vyznačených intervalů spolehlivosti.



Obr. 11: Průběhy koncentrací metanu ve stájích A, B a C v letním období.

V letním období byla zjištěna nejvyšší koncentrace metanu ve stáji C s vyhrnováním mrvy čelním nakladačem. Důvodem bylo společně s málo účinnou výměnou vzduchu nedokonalé vyhrnování se značnými zbytky mrvy v hnojně chodbě i v zadním okraji boxového lože. Nejnižší koncentrace metanu jsem vyhodnotil ve stáji se shrnovací lopatou, kde jsou výkaly neustále shrnovány do hnojných kanálů. Na produkci metanu se v převážné míře podílel pouze metabolismus ustájených zvířat. Oproti stáji A byla koncentrace metanu ve stáji B s roštovými podlahami vyšší. Na produkci metanu se ve stáji B podílela kejda v podroštových prostorech. Díky kvalitní ventilaci s přidavnými ventilátory však byla koncentrace metanu ve stáji B v letním období vyšší pouze o cca 30 % a v zimním období pouze o cca 15 %.



Obr. 12: Průběhy koncentrací metanu ve stájích A, B a C v zimním období.

V zimním období byly ve všech sledovaných stájích koncentrace metanu výrazně vyšší v porovnání s letním obdobím a to i při nižší produkci metanu vlivem nižší teploty ve stáji. Příčinou byla výrazně nižší rychlost výměny vzduchu. Ve stájích A a B v tomto období byly vypnuty všechny ventilátory a ve stáji C byla uzavřena většina stavebních otvorů v podélných stěnách stáje. Koncentrace metanu ve stájích A i B se oproti letnímu období lišily minimálně. Patrně to bylo tím, že se vlivem nižší teploty neprojevila tak výrazně produkce metanu z kejdy v podroštových prostorech. Z průběhu koncentrací je zřejmý snižující trend koncentrací metanu v noci mezi dojeními, kdy většina dojnic leží v boxech. Stejně jako v letním období jsem naměřil nejvyšší koncentrace metanu ve stáji C se slamnatou podestýlkou a vyhrnováním mrvy čelním nakladačem.

OXID UHLIČITÝ

Koncentrace oxidu uhličitého jsem měřil souběžně s koncentracemi amoniaku a metanu zejména pro jeho využití jako značkovacího plynu pro stanovení průtoku

vzduchu ve stáji metodou bilance CO₂. Zprůměrované a maximální hodnoty koncentrací CO₂ jsou uvedeny v tabulce 7 .

Tab.7 : Průměrné hodnoty koncentrací CO₂ ve sledovaných stájích

technologie odklizu kejdy		průměrná koncentrace CO ₂ (mg.m ⁻³)	maximální koncentrace CO ₂ (mg.m ⁻³)
SHRNOVACÍ LOPATY (stáj A)	letní období	1488 ± 174	2239
	zimní období	1945 ± 214	2817
ROŠTOVÉ PODLAHY (stáj B)	letní období	1610 ± 175	2457
	zimní období	1937 ± 203	2807
SLAMNATÁ PODESTÝLKA S VYHRNOVÁNÍM (stáj C)	letní období	1535 ± 175	2332
	zimní období	2385 ± 144	3571

Při porovnávání koncentrací CO₂ si je třeba uvědomit, že naměřené koncentrace obsahují přírůstky CO₂ vyprodukované zvířaty a kejdou, ale i základní koncentraci cca 850 mg.m⁻³ oxidu uhličitého, který je obsažen ve venkovním ovzduší.

V letním období byla nejvyšší koncentrace CO₂ zjištěna ve stáji B s roštovými podlahami. Domnívám se, že příčinou je produkce CO₂ z kejdy v podroštových prostorech, která je v letním období intenzivnější než v zimním období. Nejnižší koncentrace jsem naměřil ve stáji A se shrnovacími lopatami. Je to dáno především tím, že stáj má otevřené boční stěny a v letním období jsou v činnosti přídavné axiální ventilátory.

V zimním období jsem zjistil nejvyšší koncentraci CO₂ ve stáji C. V tomto období jsou v této stáji uzavřeny větrací otvory v podélných stěnách a výměna vzduchu je minimální. Nejnižší výměnu vzduchu potvrzuje i nejmenší interval spolehlivosti ze všech porovnávaných měření.

Obecně platí, že koncentrace CO₂ je dobrým ukazatelem provětrávání stáje. V žádné ze sledovaných stájí koncentrace CO₂ nepřesáhla ani polovinu maximální doporučené koncentrace 3600 mg.m⁻³ (Příručka MZe, 1996).

5.4 Stanovení průtoku vzduchu a emisí zátěžových plynů

Z každého ze tří 24 hodinových měření koncentrací CO₂ v letním období a z každého ze tří 24 hodinových měření v zimním období jsem v souladu s metodikou ČIŽP pro

stanovení emisí zátěžových plynů vypočetl půlhodinové aritmetické průměry. Vypočetl jsem střední hodnotu z příslušných 3 půlhodinových průměrů. Získal jsem tak 48 středních hodnot pro letní období a 48 hodnot pro zimní období, které jsem dále použil pro výpočty průtoku vzduchu metodou bilance CO₂ dle vztahu (4.6.3). Naměřené a zjištěné hodnoty potřebné pro výpočet průtoků vzduchu včetně vypočtených nejistot měření jsou shrnuty v tabulce 8.

Tab.8: Data pro výpočet průtoku vzduchu

	jednotka	stáj A		stáj B		stáj C	
		letní období	zimní období	letní období	zimní období	letní období	zimní období
počet dojnic	ks	230		360		125	
průměrná hmotnost dojnic	kg	700		650		670	
průměrná produkce CO ₂ (dle tabulky 2)	mg.s ⁻¹	299		1028		564	
průměrná koncentrace CO ₂	mg.m ⁻³	1448 ± 174	1945 ± 214	1610 ± 176	1937 ± 203	1535 ± 175	2385 ± 144
Vnější koncentrace CO ₂	mg.m ⁻³	850 ± 29	850 ± 21	850 ± 26	850 ± 32	850 ± 20	850 ± 24
průtok vzduchu	m ³ .hod ⁻¹	107790 ± 12935	62804 ± 6908	133105 ± 14587	93063 ± 10268	54019 ± 6153	23860 ± 2167

Největší průtok vzduchu byl podle očekávání zjištěn ve stáji B s největším objemem vzduchu. Svislé konstrukce jsou minimalizovány, boční stěny jsou nahrazeny shrnovacími roletami a ve střeše je rozměrná hřebenová štěrbina. Ve stáji je osazeno 12 přídatných axiálních ventilátorů, které v letním období výrazně zvyšují průtok vzduchu. Nejhorší výměnu vzduchu jsem zjistil ve stáji C typu K105. Stáj je nízká, má malou kubaturu a výměna vzduchu je zajištěna pouze stavebními otvory v podélných stěnách stáje.

Stejným postupem jsem vypočetl i sady 48 hodnot pro sledované zátěžové plyny (amoniak a metan) pro letní a zimní období. Podle vztahu (4.6.1) a (4.6.2) jsem vypočetl měrné výrobní emise amoniaku a metanu pro všechny 3 sledované stáje v letním a zimním období. Vypočtené hodnoty pro amoniak jsou shrnuty v tabulce 9.

Tab.9: Vypočtené hodnoty emisí amoniaku

	jednotka	stáj A		stáj B		stáj C	
		letní období	zimní období	letní období	zimní období	letní období	zimní období
průměrný průtok vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	107790	62804	133105	93063	54019	23860
hmotnostní tok NH_3	$\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$	146 ± 25	85,0 $\pm 15,3$	189 ± 32	60,0 $\pm 11,0$	60,1 $\pm 11,8$	35,8 $\pm 5,2$
měrná výrobní emise NH_3	$\text{g} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$	2,28 $\pm 0,44$	1,33 $\pm 0,27$	1,89 $\pm 0,39$	0,60 $\pm 0,11$	1,73 $\pm 0,38$	1,03 $\pm 0,22$

Překvapivě největší měrnou výrobní emisí amoniaku jsem zjistil ve stáji A se shrnovací lanovou lopatou a to v letním i zimním období. Patrně to je způsobeno tím, že lopata neustále roztírá po celé ploše hnojné chodby tenkou vrstvu čerstvých exkrementů. Nejnižší měrnou výrobní emisí amoniaku jsem zjistil v zimním období ve stáji B s roštovými podlahami. Čerstvá moč se poměrně rychle dostane do podroštových prostor a z kejdy, která má v zimním období nízkou teplotu, se v podroštových prostorech produkuje méně amoniaku.

Vypočtené měrné výrobní emise amoniaku jsou v souladu s údaji, které jsou k dispozici v odborné literatuře a pohybují se v hodnotách 0,4 až 1,3 $\text{g} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$. (Misselbrook et al., 2000, Monteny – Erisman, 1998). Vyšší hodnoty jsem naměřil ve stájích A a B v letním období, kdy je produkce amoniaku proti průměrným ročním hodnotám vyšší.

Vypočtené hodnoty emisí pro metan jsou shrnuty v tabulce 10.

Tab.10: Vypočtené hodnoty emisí metanu

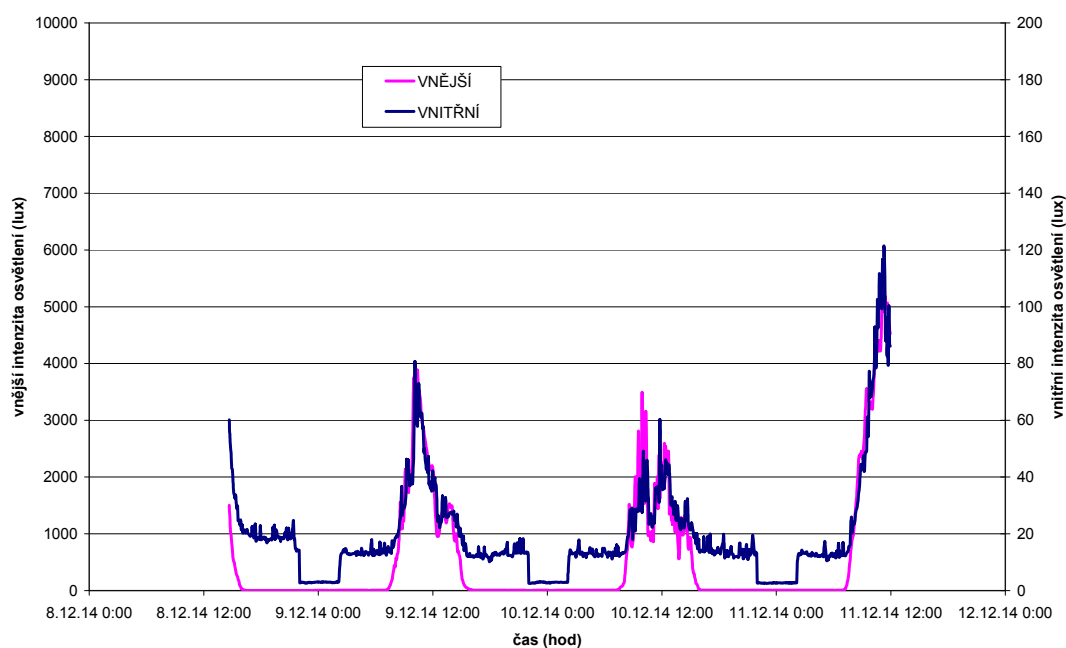
	jednotka	stáj A		stáj B		stáj C	
		letní období	zimní období	letní období	zimní období	letní období	zimní období
průměrný průtok vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	107790	62804	133105	93063	54019	23860
hmotnostní tok CH_4	$\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$	572 ± 25	597 ± 25	1028 ± 25	904 ± 25	564 ± 25	353 ± 25
měrná výrobní emise CH_4	$\text{g} \cdot \text{ks}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$	8,96 $\pm 2,33$	9,34 $\pm 2,61$	11,28 $\pm 3,05$	9,04 $\pm 2,25$	16,25 $\pm 5,09$	10,17 $\pm 2,82$

Nejvyšší měrnou výrobní emisí metanu jsem zjistil ve stáji C se slamnatou podestýlkou a vyhrnováním mrvy čelním nakladačem a to v letním i zimním období.

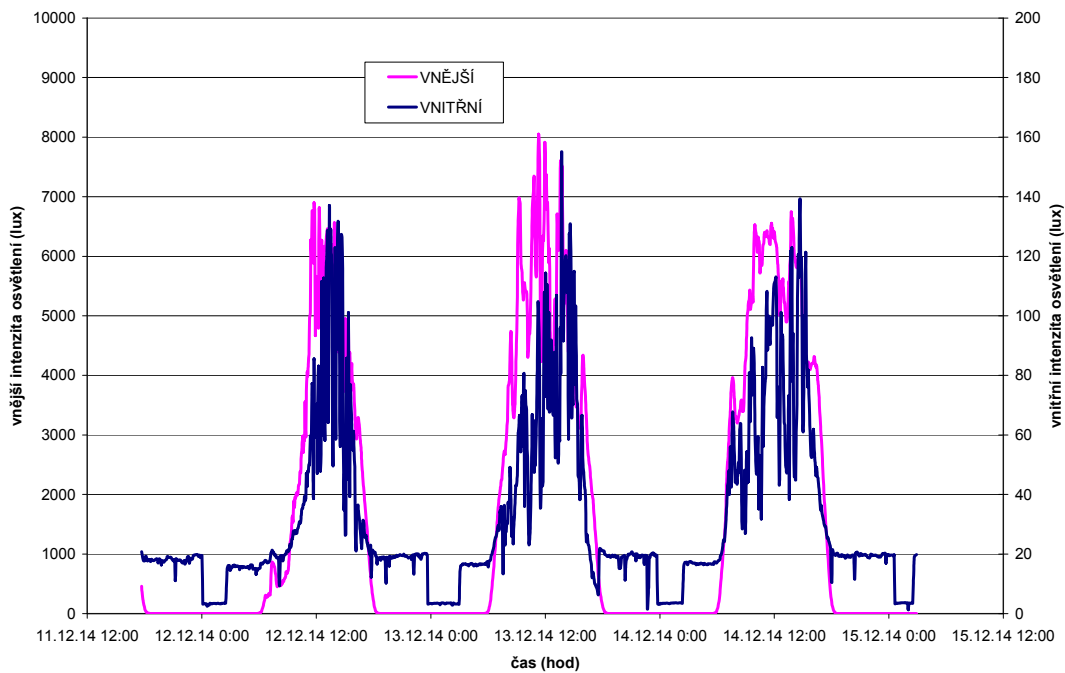
Lze konstatovat, že vypočtené měrné výrobní emise metanu se s výjimkou stáje C v letním období významně neliší a odpovídají údajům, uváděným v odborné literatuře (Haarlem et al., 2008, Johnson et al. 1995, Karandušovská et al. 2015).

5.5. Měření intenzity osvětlení ve stájových objektech

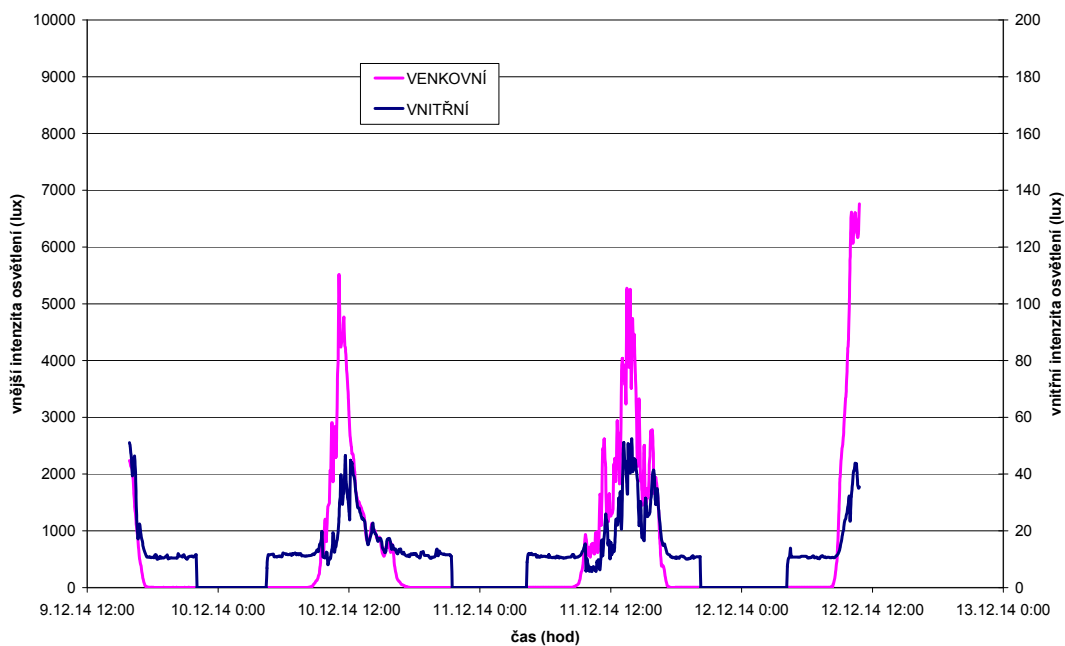
V prosinci 2014 a v červnu 2015 jsem ve všech sledovaných stájích uskutečnil výchozí měření intenzity osvětlení v boxových ložích. Na rozdíl od běžně prováděných měření dopadajícího světla na vodorovnou plochu jsem snímače luxmetrů orientoval tak, aby měřily světlo přicházející do zorného pole ležící dojnice. Současně jsem měřil i venkovní intenzity osvětlení. Na obrázcích 13 až 15 jsou průběhy intenzit osvětlení ve všech sledovaných stájích v zimním období a na obrázcích 16 až 18 průběhy intenzit osvětlení ve sledovaných stájích v letním období.



Obr. 13: Průběh intenzity osvětlení ve stáji A v prosinci 2014

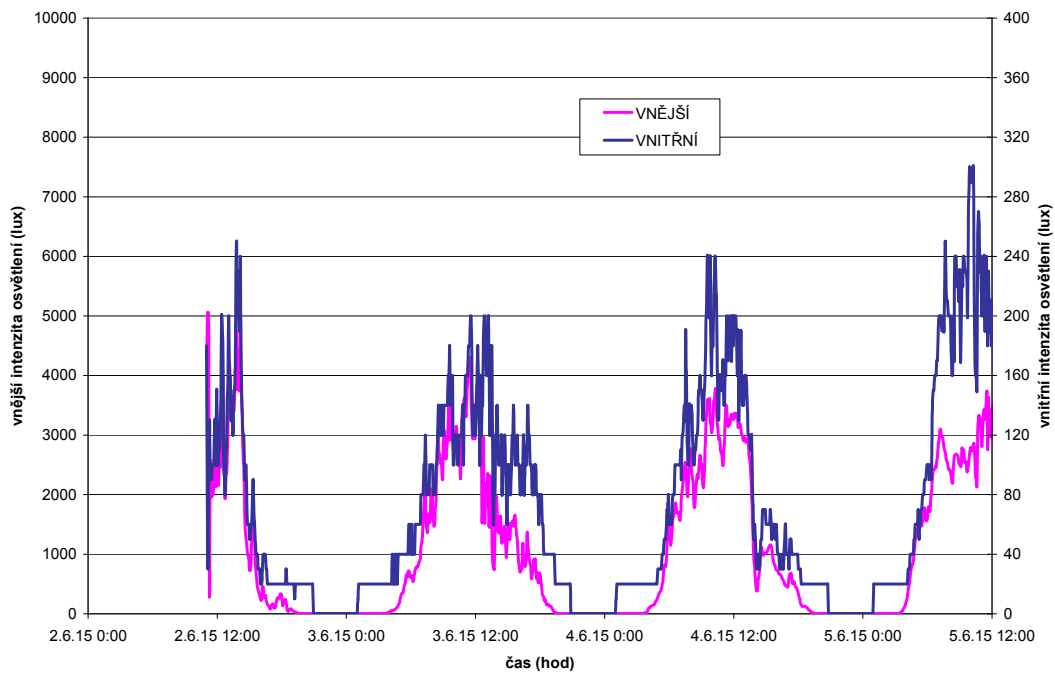


Obr. 14: Průběh intenzity osvětlení ve stáji B v prosinci 2014



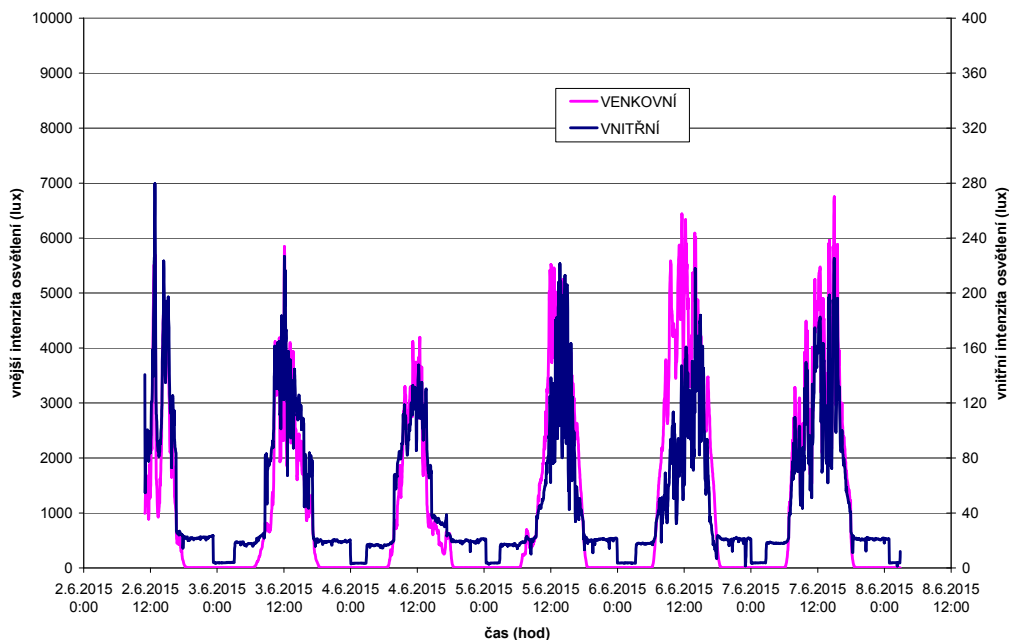
Obr. 15: Průběh intenzity osvětlení ve stáji C v prosinci 2014

Na obrázku 16 je průběh intenzity osvětlení ve stáji A v průběhu června 2015. Průměrná hodnota intenzity osvětlení dosahovala v tomto případě již 75 lx.



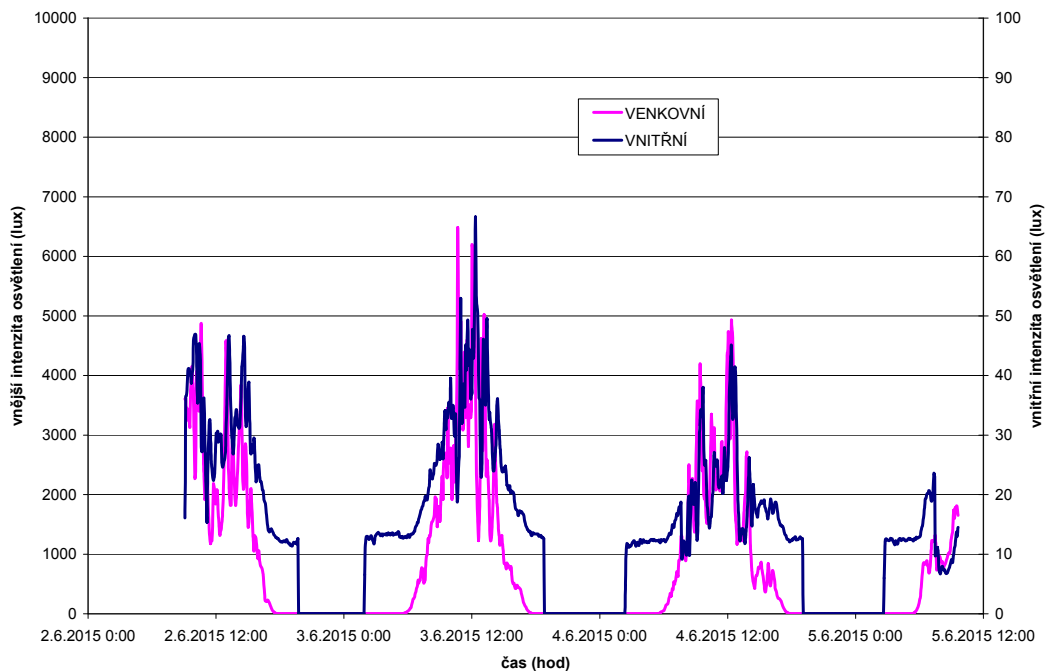
Obr. 16: Průběh intenzity osvětlení ve stáji A v červnu 2015

Na obrázku 17 jsou zobrazeny intenzity osvětlení ve stáji B v červnu, kdy je Slunce nejvýše nad obzorem a má i nejvyšší intenzitu.



Obr. 17: Průběh intenzity osvětlení ve stáji B v červnu 2015

Na obrázku 18 je záznam intenzity osvětlení ve stáji C typu K105 s malými stavebními otvory ve stěnách a bez možnosti průchodu světla konstrukcí střechy.



Obr. 18: Průběh intenzity osvětlení ve stáji C v červnu 2015

V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty intenzit osvětlení, které charakterizují jednotlivé stáje. V letním období jsem výpočet prováděl za měsíc červen, kdy je doba slunečního svitu nejdelší a elevace Slunce nad zemským povrchem je největší. Pro výpočty intenzity osvětlení v zimním období jsem použil výsledky měření z prosince, kdy je doba slunečního svitu nejkratší a elevace Slunce je nejmenší. Do výpočtu průměrné vnitřní intenzity osvětlení jsem zahrnul pouze hodnoty z tzv. denní fáze, kdy je stáj osvětlena denním venkovním světlem, nebo plným umělým světlem. Z naměřených hodnot jsem vypočetl světelný útlum, který vyjadřuje poměr venkovní a vnitřní intenzity osvětlení a popisuje tak kvalitu stavby z hlediska využití přirozeného osvětlení pro ustájená zvířata. Pro stanovení útlumu osvětlení byly do výpočtu zahrnuty pouze hodnoty, kdy venkovní intenzita osvětlení přesáhla 500 lx. Interval spolehlivosti jsem stanovil z průměrných hodnot jednotlivých dnů měření.

Tab.11: vypočtené hodnoty intenzit osvětlení

stáj	průměrná vnitřní intenzita osvětlení (lx)	průměrná vnitřní intenzita osvětlení pouze svítidla (lx)	útlum osvětlení (-)
A (VI/2015)	95 ± 28	15 ± 2	21
A (XII/2014)	32 ± 9	14 ± 1	53
B (VI/2015)	84 ± 22	21 ± 2	27
B (XII/2014)	42 ± 11	20 ± 2	50
C (VI/2015)	26 ± 7	12 ± 1	102
C (XII/2014)	21 ± 6	12 ± 1	110

Snížení světelného útlumu stájí v červnu bylo kromě vyšší intenzity slunečního záření ovlivněno větší elevací Slunce. To se příznivě projevilo ve stájích A a B, ve kterých poměrně vysoko položená zastřešení hřebenových štěrbin umožnilo lepší přístup světelného záření do stájí.

Vypočtené průměrné hodnoty intenzit osvětlení jsou výrazně pod minimálními doporučenými hodnotami pro chov vysokoprodukčních dojnic (Doležal, 2003). Nízké hodnoty jsem naměřil v tzv. denní fázi při použití umělého osvětlení ve stáji po západu Slunce. To potvrzuje domněnku, že současné systémy osvětlení stájí jsou nedostatečné a neumožňují plně využít produkční možnosti dojnic. Nejnižších hodnot dosahovaly intenzity osvětlení ve stáji C typu K105 v zimním i letním období. Denní světlo proniká do stáje pouze relativně malými stavebními otvory v podélných stěnách stáje. Naprosto nevyhovující umělé osvětlení je řešeno jednotrubicovými zářivkovými svítidly s roztečí 8 metrů.

Nejlepších světelných parametrů bylo dosaženo ve stáji A v letním období. Kromě vysoké a široké hřebenové štěrbinou se na tom pozitivně podílela vysoká odrazivost nabílených konstrukčních prvků ve stáji. Světelné paprsky procházející štěrbinou v letním období byly rozptylovány odraznými plochami po celém prostoru stáje. Tomu odpovídá i největší rozdíl světelných útlumů mezi letním a zimním obdobím. V letním období se vysoká elevace Slunce nad zemským povrchem pozitivně projeví v množství světla, které prochází hřebenovou štěrbinou do prostoru stáje. V zimním období bylo dosaženo nejvyšší průměrné intenzity osvětlení ve stáji B. Pozitivně se projevilo

nahrazení bočních stěn pouze protiprůvanovými sítěmi, přes které mohlo sluneční záření při nízké elevaci osvětlit velkou plochu stáje.

5.6. Měření příkonu elektrické energie

5.6.1 Příkon osvětlení ve stájích

Příkon osvětlovacích těles se v čase nemění. Pro stanovení celkového příkonu elektrické energie osvětlení jsem uskutečnil jednorázová měření celkových příkonů osvětlovacích těles ve všech sledovaných stájích. V rozvaděčích jsem poté nainstaloval záznamníky času zapnutí a vypnutí osvětlení ve stáji, které jsem doplnil převodníky napěťových úrovní, které byly nezbytné pro správnou činnost záznamníků. Ve všech stájích bylo osvětlení ovládáno pracovníky farmy ručně.

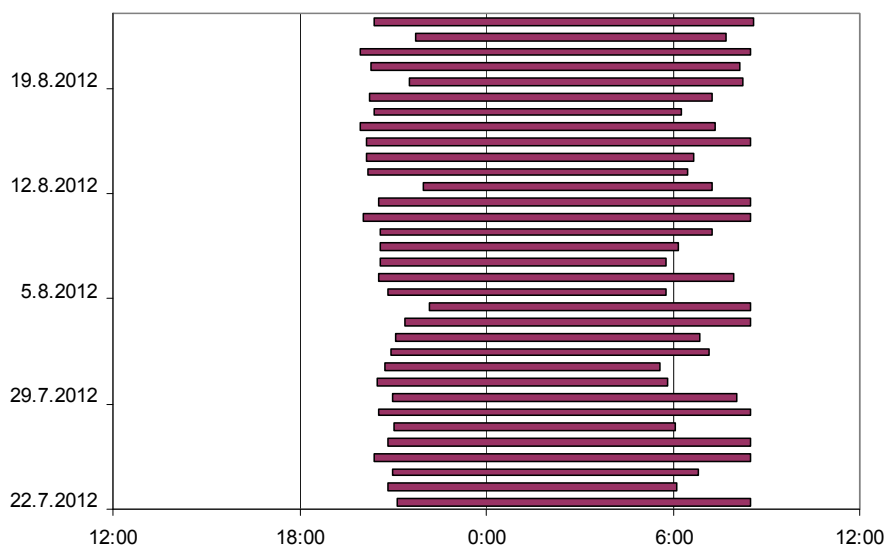
Příkony elektrické energie společně se základními technickými parametry osvětlení ve všech stájích jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab.12: Příkony a technické parametry osvětlení ve stájích

	jednotka	stáj A	stáj B	stáj C
počet svítidel	ks	2 x 20	4 x 20	2 x 12
příkon svítidla	W	116	116	58
celkový příkon svítidel ve stáji	kW	4,6	9,3	1,4
průměrná denní doba zapnutí osvětlení v letním období	hod	11,5	10,2	6,1
průměrná denní doba zapnutí osvětlení v zimním období	hod	16,3	15,2	10,4
průměrná denní spotřeba v letním období	kWh	52,9	94,9	8,54
průměrná denní spotřeba v zimním období	kWh	75,0	141,4	14,6

Negativní vliv ručního ovládání osvětlení na spotřebu elektrické energie se nejvíce projevil ve stáji A. Na obrázku 19 je grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení v této stáji z období srpna 2012. Červená úsečky v grafu znázorňují dobu zapnutí svítidel. Osvětlení bylo manuálně zapínáno i vypínáno pracovníky ve stáji. Ve většině případů bylo osvětlení zapínáno ošetřovateli při příchodu do stáje před večerním dojením bez ohledu na intenzitu osvětlení ve stáji. Díky nevyhovujícímu orientačnímu osvětlení bylo hlavní osvětlení ponecháváno v činnosti po celou noc. Osvětlení bylo většinou

vypínáno ručně až kolem 9:00 při odchodu ranní směny ze stáje, kdy již byla intenzita venkovního osvětlení poměrně vysoká (v tomto období se rozednívá cca v 5:30).



Obr. 19: grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A

5.6.2 Příkon přídavných ventilátorů ve stájích A a B

Ve stájích A a B jsem nainstaloval impulsní elektroměry se záznamníky pro sledování spotřeby elektrické energie ventilátorů. V obu stájích jsou použity stejné ventilátory i řídicí systémy. Ventilátory se zapínají při teplotě 17 °C na 1/4 výkonu, při teplotě 22 °C na 1/2 výkonu a při teplotě 26 °C se ventilátory zapínají na plný výkon. Maximální příkon jednotlivých ventilátorů je 1 300 W. Ve stáji A je nainstalováno 10 ventilátorů ve 2 řadách, ve stáji B 12 ventilátorů ve 2 řadách.

V tabulce 13 jsou shrnuty průměrné denní teploty ve stájích A a B za měsíce květen až září 2014 a měsíční spotřeby energií ventilátory ve stejném období.

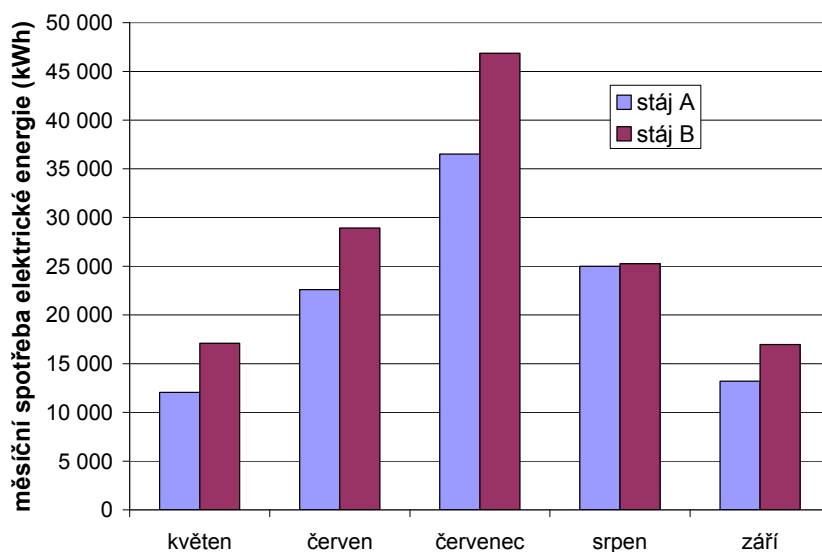
Tab.13: Průměrné měsíční teploty ve stájích a spotřeby energií na ventilaci

	květen	červen	červenec	srpen	září	celkem
průměrná teplota ve stáji A (°C)	16,7	18,3	21,1	18,8	17,5	
Spotřeba elektrické energie ve stáji A (kWh)	12 045	22 597	36 512	24 985	13 204	109 343
průměrná teplota ve stáji B (°C)	16,2	18,9	20,2	17,7	17,0	
Spotřeba elektrické energie ve stáji B (kWh)	17 096	28 913	46 855	25 269	16 966	135 099

Měsíční spotřeby elektrické energie na provoz přídavných ventilátorů v obou stájích odpovídají průměrným měsíčním teplotám uvnitř stájí A i B.

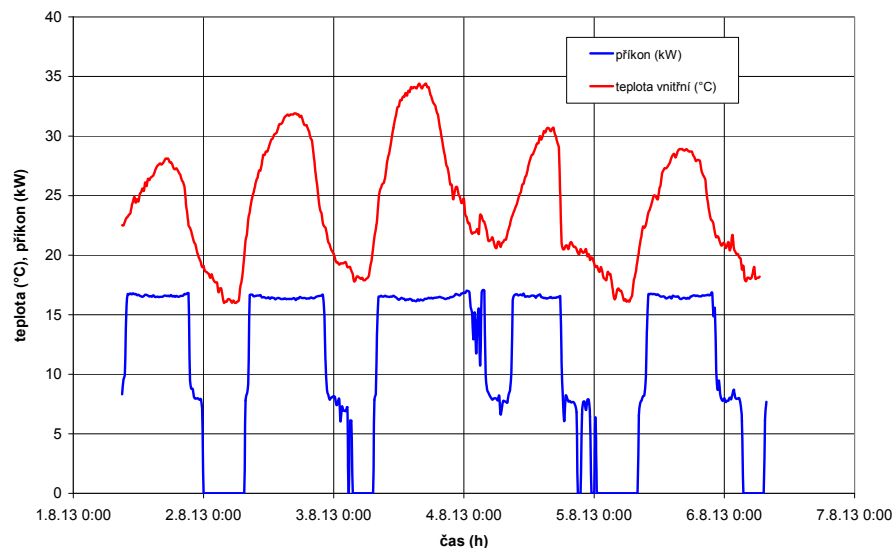
Celková spotřeba elektrické energie na provoz ventilátorů v letním období činila pro stáj A 109,3 MWh a pro stáj B 135,1 MWh. Tomu odpovídají náklady na elektrickou energii cca 370 tis. Kč pro stáj A a cca 460 tis. Kč pro stáj B.

Grafické vyjádření spotřeby elektrické energie ventilátory ve stájích A a B v letních měsících je na obrázku 20.



Obr. 20: měsíční spotřeby elektrické energie ventilátorů ve stájích A a B

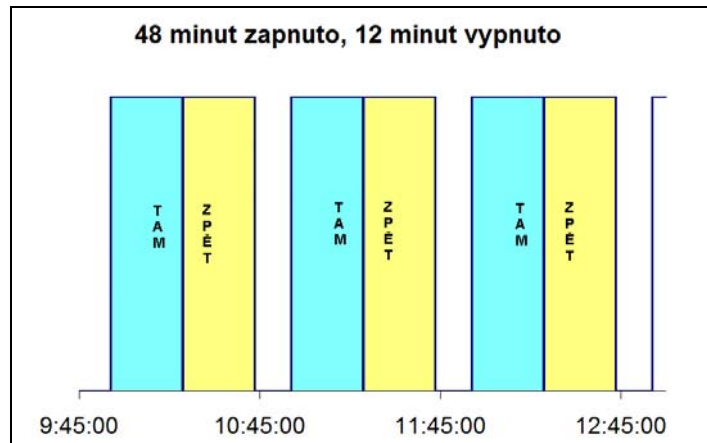
Na obrázku 21 je průběh příkonu ventilátorů ve stáji B současně s hodnotami vnitřní teploty vzduchu. Na grafu je zaznamenáno období s mimořádně vysokými teplotami, kdy teplota ve stáji přesáhla několikrát hodnotu 30 °C a dojnice byly vystaveny extrémně velké tepelné zátěži. Z grafu na obrázku 20 je patrné, že ventilátory byly přes den v provozu na maximální výkon a pouze v nočním období se příkon snížil na cca 1/3 maximální hodnoty.



Obr. 21: grafický průběh příkonu ventilátorů ve stáji B

5.6.3 Příkon motoru lanové lopaty

Ve stáji A jsou nainstalovány 2 komplety lanových lopat pro odklíz exkrementů z hnojných chodeb. V každé polovině stáje jsou 2 podélné hnojné chodby. V každé chodbě je jedna lopata se společným pohonem asynchronním motorem, který přes převodovku a napínací zařízení pohání lanem shrnovací lopaty ve 2 hnojných chodbách v jedné polovině stáje. Na konci hnojných chodeb je kanál, do kterého lopaty shrnují exkrementy. Ty samospádem odtékají kanálem do hnojné jímky. Lopaty pojíždí hnojnými chodbami nepřetržitě 24 hodin denně. Jedna lopata je 24 minut tažena od hnojného kanálu na konec chodby se sklopenou stírací plochou. Současně je na druhém konci lana tažena druhá lopata hnojnou chodbou opačným směrem k hnojným kanálům. Při tom shrnuje z podlahy chodbou exkrementy do hnojného kanálu. Poté se obrátí směr pohybu lana a obě lopaty se pohybují dalších 24 minut opačným směrem. Po tomto cyklu lopaty 12 minut stojí. Tento cyklus se každých 60 minut periodicky opakuje. Na obrázku 22 je znázorněn periodický cyklus činnosti lopaty.



Obr. 22: Periodický pracovní cyklus shrnovací lopaty

Lopaty jsou poháněny asynchronním motorem s jmenovitým výkonem 2,2 kW. Provedl jsem 3 měření příkonu v různých vzdálenostech lopaty od kanálu při různém zatížení proměnlivým množstvím exkrementů. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab.14: Příkon motoru shrnovací lopaty

	U (V)	I (A)	cos φ (-)	P (kW)
měření 1	232	2,36	0,85	1,40
měření 2	232	2,40	0,85	1,42
měření 3	232	2,45	0,85	1,45

Spotřeba elektrické energie obou lopat je při popsaném pracovním režimu cca 54 kWh za 24 hodin. Tomu odpovídají náklady na elektrickou energii přibližně 170 Kč denně.

Jedním z cílů práce bylo sledovat vytíženost lopaty exkrementy v průběhu dne s ohledem na fyziologické projevy zvířat a technologické postupy ve stáji a pokusit se optimalizovat pojezdy lopaty. S ohledem na relativně nízkou spotřebu elektrické energie jsem od toho upustil zejména z toho důvodu, že v zimním období by při delší nečinnosti lopaty mohlo dojít k zamrznutí lana v drážce v podlaze. Navíc dojnice jsou nuceny překračovat při pobytu v hnojně chodbě (zejména u krmiště) lopatu i s odklizenými exkrementy. Pokud by objem exkrementů byl zbytečně velký, byly by dojnice nuceny prošlapávat vyšší vrstvu exkrementů. To by mohlo negativně působit na stav paznehtů a čistotu zvířat. V intenzivních chovech jsou paznehty velice náchylné na poškození a často jsou kvůli jejich poškození dojnice vyřazeny z chovu. To by ve výsledku mohlo vést k vysokým ekonomickým ztrátám.

5.6.4 Zhodnocení stanovení spotřeby elektrické energie

Roční náklady na elektrickou energii pro sledované technologie ve všech stájích v roce 2013 jsou shrnuty v tabulce 15.

Tab.15: Roční náklady na elektrickou energii

	stáj A	stáj B	stáj C
náklady na osvětlení (tis. Kč)	79	147	14
náklady na ventilátory (tis. Kč)	370	460	0
náklady na odkliz kejdy (tis. Kč)	67	0	0
náklady na el. energii celkem (tis. Kč)	509	607	14

Z tabulky je zřejmé, že nejvyšší náklady na elektrickou energii byly prokázány u přídatných ventilátorů ve stáji B. Nejvyšší spotřebu jsem zaznamenal v červenci, kdy náklady na elektrickou energii dosáhly téměř 150 tis. Kč. Tomu odpovídá při výkupní ceně 7 Kč za litr mléka cca 20 tis. litrů mléka. Měsíční nádoj za měsíc červenec byl ve stáji B 249 tis. litrů mléka. Náklady na provoz ventilátorů odpovídají cca 8 % výkupní ceny měsíčního nádoje. Propad produkce mléka dosahuje vlivem tepelného stresu běžně 20 % denního nádoje a v některých případech může dosáhnout až 50 % (Doležal - Staněk, 2015). Lze proto prohlásit, že i zdánlivě vysoké náklady na provoz ventilátorů jsou rentabilní. Kromě nižšího poklesu dojivosti se snížení tepelného stresu navíc projeví i menším poklesem reprodukčních parametrů a nižší zátěží organismu dojnic během období s extrémními teplotami.

V porovnání se stájemi A a B jsou překvapivě nízké náklady na elektrickou energii ve stáji C typu K105. Elektrická energie je spotřebována pouze na osvětlení ve stáji. Roční náklady ve výši 14 tis. Kč jsou dány absencí přídatných ventilátorů, což se v letním období projevilo na největším zatížení zvířat tepelným stresem. Ale i náklady na osvětlení na 1 dojnici ve stáji C oproti stájím A a B jsou velice nízké, protože je stáj osazena malým počtem málo výkonných svítidel. Oba faktory se mohou podílet na výrazně nižší užitkovosti dojnic ve stáji C proti dojnicím ve stájích A a B.

Pokud bychom přepočítali přibližné náklady na ventilaci 1500 Kč na jednu dojnici za rok na litry mléka při výkupní ceně 7 Kč, dostaneme se k množství 200 litrů mléka. Lze předpokládat, že při instalaci ventilátorů ve stáji C by se téměř jistě zvýšila užitkovost z 6 200 litrů na více než 6 400 litrů mléka. Tato úprava by tedy byla rentabilní. Při předpokladu instalace 6 až 8 ventilátorů by se pořizovací náklady zřejmě uhradily již v průběhu prvního roku.

6. NÁVRH OPTIMALIZACÍ NA ZÁKLADĚ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ

Na základě vyhodnocení naměřených údajů z provozních měření a sledování jsem navrhl několik úprav, jejichž cílem bylo snížení energetické náročnosti chovu dojníc nebo zlepšení stájového mikroklimatu.

6.1 Nízkopříkonový systém nucené ventilace ve stáji C

Teplotně vlhkostního index (THI), který jsem vypočetl pro letní období z výsledků měření teploty a relativní vlhkosti ve stáji C, byl ze všech 3 sledovaných stájí nejvyšší. Dojnice byly v nejteplejších dnech vystaveny silnému tepelnému stresu. Ve stáji nejsou nainstalovány přídatné ventilátory a v nočním období, kdy je venkovní teplota vzduchu relativně nízká, nedochází k dostatečnému ochlazení vnitřního prostoru stáje. Stáj typu K105 má díky robustní konstrukci velkou tepelnou setrvačnost. V roce 2015 jsem proto navrhl vybavení stáje přídatnými axiálními ventilátory s relativně malým výkonem. Příčný rozměr stáje je pouze 3,2 x 10 m a za těchto podmínek je použití běžných ventilátorů v důsledku jejich velkého výkonu problematické. Rychlost proudění vzduchu by výrazně přesáhla hodnotu $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V této stáji jsem ověřil možnost využití ventilátorů o průměru 345 mm se stejnosměrnými motory na 12V s příkonem 100 W typu 6E0 959 455 A, které se používají v osobních automobilech Škoda. Ventilátor je upevněn v plechovém tubusu o délce 200 mm a průměru 405 mm. Tubus je upevněn v rámu, který umožňuje naklápění ventilátoru v obou osách pro optimalizaci nasměrování výstupního proudu vzduchu. Osa ventilátoru je ve výšce 260 cm nad podlahou nad okrajem lože směrem ke krmné chodbě. Pohled na nainstalovaný ventilátor v průběhu testu je na obrázku 23.



Obr. 23: Příkladový axiální ventilátor

Pro stáj C jsem navrhl a kouřovou zkouškou potvrdil, že dostatečné výměny vzduchu bude dosaženo osmi ventilátory umístěnými ve 2 řadách symetricky k podélné ose stáje. Na obrázku 24 je záznam kouřové zkoušky a na obrázku 25 je situační plán s návrhem rozmístění ventilátorů v prostoru stáje.



Obr. 24: Průběh kouřové zkoušky po nainstalování ventilátoru

Výstupní rychlost v bezprostřední vzdálenosti od ventilátoru dosahovala $6,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato rychlost zaručila dostatečnou výměnu vzduchu a v zóně zvířat jsem naměřil maximální rychlost $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

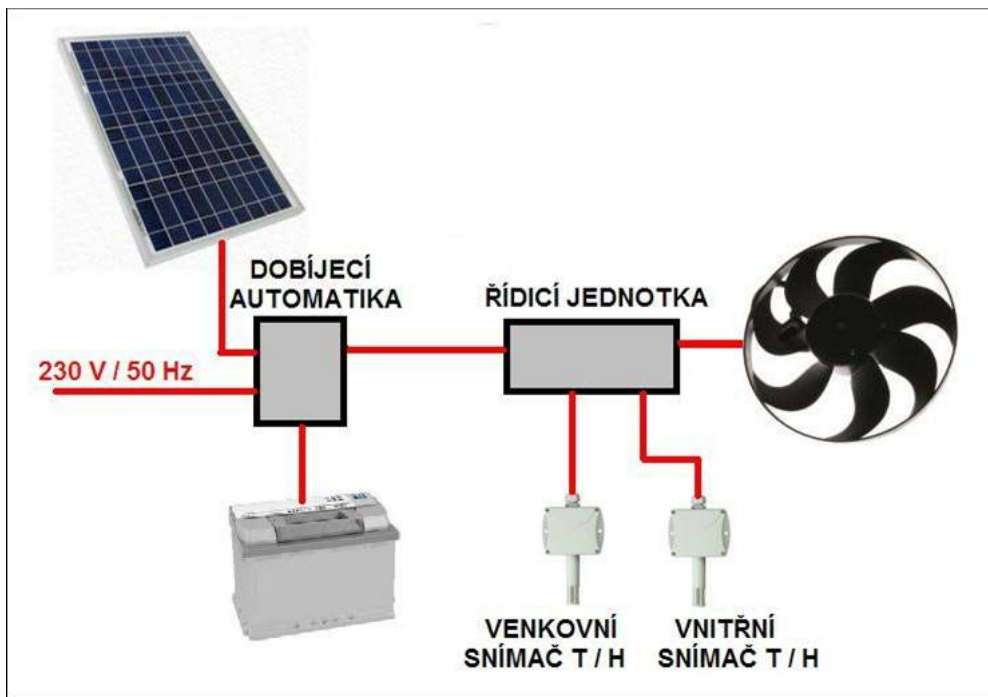


Obr. 25: Situační plán s návrhem rozmístění ventilátorů

(převzato z Češpiva et al. 2015)

Chod ventilátoru je řízen vnitřním snímačem teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Ventilátor se zapíná při překročení vnitřní teploty $24 \text{ }^\circ\text{C}$ s hysterezí $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ nebo při překročení relativní vlhkosti $85 \text{ } \%$ s hysterezí $5 \text{ } \%$. Chod ventilátoru při překročení relativní vlhkosti je ovládán i venkovním snímačem teploty a relativní vlhkosti. Pokud je vnější relativní vlhkost vyšší než $90 \text{ } \%$, bude chod ventilátoru blokován. Řídicí jednotka umožňuje nastavit i nucený chod ventilátorů bez ohledu na klimatické parametry pro zabezpečení minimální výměny vzduchu ve stáji. Při ověřování byl nastaven režim při kterém každou hodinu byl ventilátor v činnosti po dobu 1 minuty.

Blokové schéma řídicího systému ventilátorů je na obrázku 26.



Obr. 26: Blokové schéma řízení ventilátorů

Pro napájení ventilátoru je použit fotovoltaický panel s výkonem 158 W, který je přes nabíjecí automatiku propojen s olověným akumulátorem 12 V / 35 Ah. V případě nedostatečného výkonu fotovoltaického panelu vlivem snížené intenzity slunečního záření je akumulátor dobíjen a ventilátor poháněn ze síťového rozvodu 230 V. Jeden síťový napáječ má dostatečnou kapacitu pro napájení 2 ventilátorů. Řídicí jednotka ovládá společně všech 8 ventilátorů.

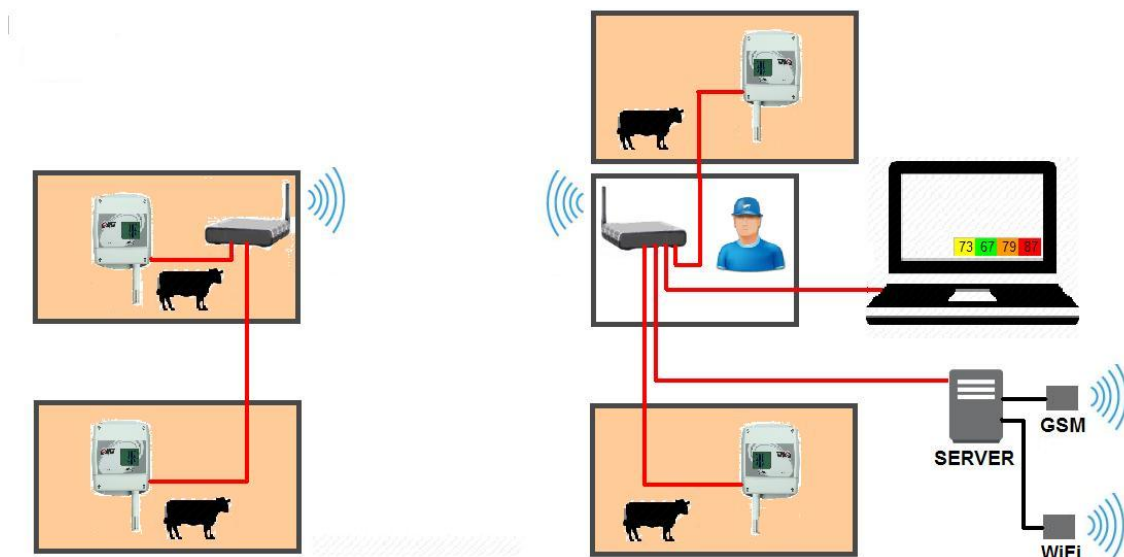
Po skončení ověřovacího provozu byl systém zprovozněn a na podzim 2016 po letním období bude vyhodnocena efektivnost tohoto řešení. Z finančních důvodů bylo napájení fotovoltaickým panelem ověřeno pouze pro 1 ventilátor, zbylých 7 využívá pouze síťové napájení.

Celý systém přídatné ventilace byl zpracován formou ověřené technologie v rámci projektu NAZV QJ1210375 (ČEŠPIVA et al., 2015).

6.2 Systém pro monitorování teplotně vlhkostního indexu ve stáji

Tepelný stres má negativní vliv na užitkovost, reprodukci a zdravotní stav chovaných zvířat. Ošetřovatelé většinou přijímají opatření pro zmírnění tepelného stresu až při viditelných příznacích na zvířatech (zvýšená frekvence dýchání, polehávání v hnojných chodbách kvůli ochlazení povrchu těla, slinění, zvýšení nedožerků a další).

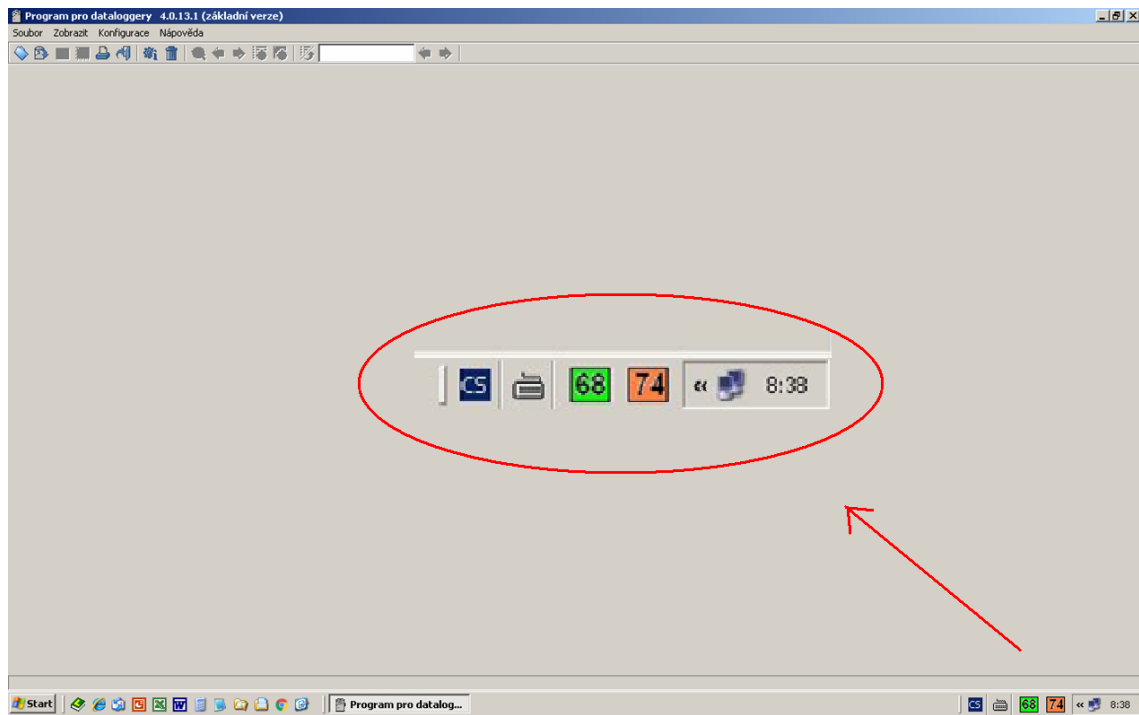
Navrhl jsem proto systém pro monitoring teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stáji s okamžitým výpočtem teplotně vlhkostního indexu (THI) a jeho zobrazením na počítači například v kanceláři zootechnika. Blokové schéma monitorovacího systému je na obrázku 27.



Obr. 27: Blokové schéma monitorovacího systému THI

Základem systému je snímač teploty a relativní vlhkosti T3610 firmy COMET Systém, s.r.o. s výstupem Ethernet. Pohled na snímač je na obrázku 6 v příloze. Snímač ve stáji je propojen síťovým rozhraním Ethernet s počítačem zootechnika. Na tomto počítači běží na pozadí aplikace, která na základě údajů o teplotě a relativní vlhkosti ve stáji, které snímač aktualizuje každou půlhodinu, vypočítává aktuální hodnotu teplotně vlhkostního indexu (THI). Číselná hodnota THI se zobrazuje v podobě ikony na panelu nástrojů v barevném políčku. Barva políčka se mění podle hodnoty THI od zelené přes žlutou, oranžovou až po červenou. Zootechnik tak má možnost sledovat vývoj THI a včas a s dostatečným předstihem může realizovat opatření, která povedou ke snížení THI nebo ke snížení negativního účinku tepelného stresu. Systém je navržen tak, aby bylo možné na počítači zobrazovat současně údaje o THI až ze 4 stájí. Hranice intervalů THI, kterým odpovídá konkrétní barva políčka, je možné uživatelsky nastavovat. Snímač si ve své vnitřní paměti uchovává až 32 000 záznamů naměřených hodnot. Program umožňuje uživateli zobrazovat historii vývoje měřených veličin pro analýzu jejich trendu.

Komunikace snímačů s počítačem po síťovém rozhraní Ethernet umožňuje využít všechny výhody tohoto rozhraní a umožňuje připojit k počítači i vzdálenější stáje na farmě například pomocí technologie Wi-Fi. Nabízí se také možnost distribuce naměřených parametrů pomocí datového přenosu na mobilní telefony s touto aplikací. Na obrázku 28 je pohled na obrazovku počítače se zobrazenými hodnotami tepelného stresu pro 2 osazené snímače teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stáji.



Obr. 28: Pohled na obrazovku počítače se zobrazenými hodnotami tepelného stresu

Vybrané technické parametry snímače COMET T3610:

Měření teploty:

Rozsah měření: -30 až +80 °C

Rozlišení: 0,1 °C

Přesnost: ± 0,4 °C

Měření relativní vlhkosti (údaje jsou teplotně kompenzovány v celém teplotním rozsahu):

Rozsah měření: 0 až 100 %RV

Rozlišení: 0,1 %RV

Přesnost: ± 2,5 %RV v rozsahu 5 až 95 %RV při 23 °C

Nastavitelný interval záznamu: 10 s až 24 hod

Maximální počet záznamu: 32 000

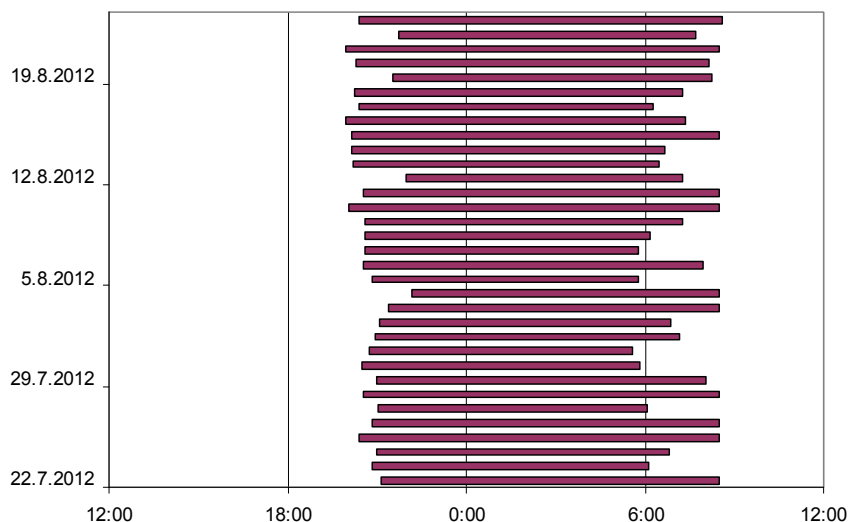
Možnost napájení snímače systémem PoE

V současné době probíhá ověřovací provoz systému v laboratorních podmínkách a v průběhu roku 2016 bude nainstalován ve stáji A.

Pro chovatele je k dispozici několik aplikací pro mobilní telefony, které usnadňují stanovení tepelného stresu zvířat. Nejčastěji využívají měření dechové frekvence, kterou chovatel zadává ručně do aplikace a výsledkem je informace v jakém pásmu tepelného stresu se dojnice nachází (Animal.AgWired, 2012). Chovatel tak získá informaci o nebezpečí tepelného stresu až v okamžiku, kdy zvíře je již nucené zapojit aktivní systémy ochlazování, mezi které právě patří i zvýšená dechová frekvence. Další variantou jsou aplikace, do kterých chovatel zadává teploty a relativní vlhkosti ručně a výsledkem je hodnota teplotně – vlhkostního indexu (THI). Lze říci, že výhoda navrženého systému je v tom, že dává informaci o teplotně – vlhkostním indexu automaticky a umožňuje preventivně zasáhnout proti negativnímu vlivu zvýšeného THI na ustájená zvířata ještě před zvýšenou fyziologickou zátěží zvířat.

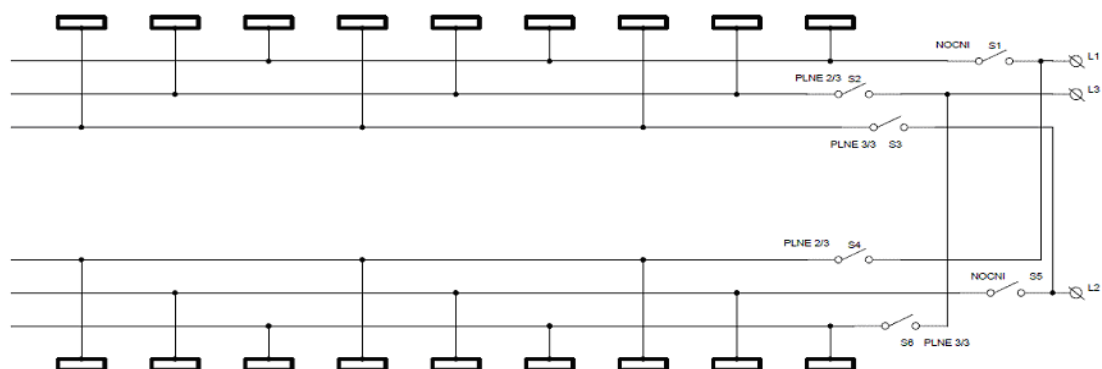
6.3 Zlepšení parametrů osvětlení ve stáji A

Na obrázku 29 je grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A z období srpna 2012. Červená úsečky v grafu znázorňují dobu zapnutí svítidel. Osvětlení bylo zapínáno i vypínáno obsluhou manuálně. Je patrné, že osvětlení bylo ponecháváno v činnosti po celou noc a bylo většinou vypínáno až kolem 9:00, kdy již intenzita venkovního osvětlení byla poměrně vysoká (v tomto období se rozednívá cca v 5:30). Tento čas vypnutí se shodoval s odchodem ranní směny ze stáje.



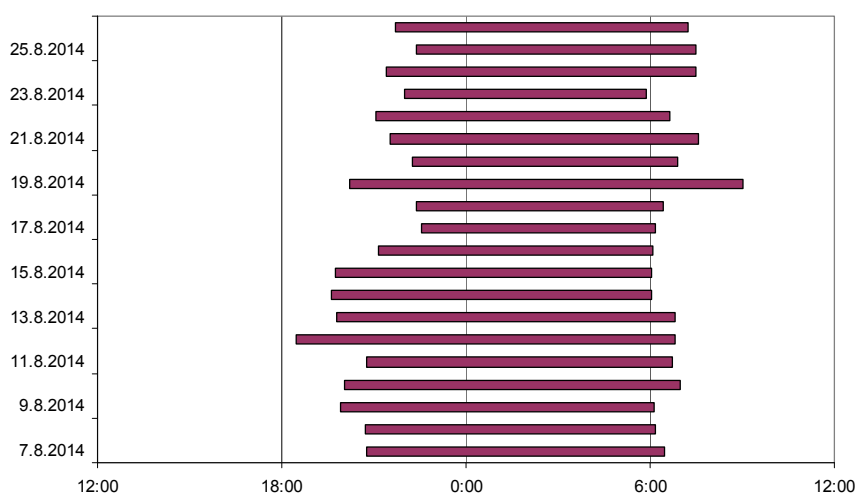
Obr. 29: Grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A

Navíc zářivky byly ve stáji nevhodně zapojeny do skupin pro plné a orientační svícení. V některých místech ve stáji noční orientační osvětlení nezajišťovalo ani minimální požadovanou intenzitu osvětlení, nutnou pro bezpečnou činnost ošetřovatelů. Proto bylo po celou noc rozsvíceno plné osvětlení, což je z hlediska fyziologických procesů zvířat škodlivé. Navrhl jsem přepojení zářivek do 3 skupin, aby byla stáj osvětlena rovnoměrněji i při orientačním osvětlení. Zapojení skupin jsem navrhl tak, aby bylo zabráněno stroboskopickému jevu, který by mohl ohrozit bezpečnost obsluhy. Vytvoření skupin umožní eventuální automatické třístupňové ovládání intenzity osvětlení, které by mohlo být ovládáno na základě měření vnitřní a venkovní intenzity osvětlení. Schéma upraveného zapojení osvětlení ve stáji je na obrázku 30.



Obr. 30: Schéma optimalizace zapojení zářivkových svítidel s možností plánovaného stupňovitěho řízení výkonu v závislosti na intenzitě osvětlení

Na základě výsledků z měření byl systém osvětlení doplněn o spínací jednotku, která zapíná a vypíná osvětlení podle intenzity vnitřního osvětlení. Přepínání mezi plným osvětlením a orientačním osvětlením řídí časový spínač, který je nastaven podle doby nočního dojení. Úpravy se uskutečnily v průběhu roku 2014. Přepínání mezi plným a orientačním osvětlením (cca 3 lx) je dobře patrné ze záznamu intenzity osvětlení ve stáji A na obrázku 13 v kapitole 5.5. Na obrázku 31 je záznam doby zapnutí osvětlení po instalaci systému pro automatické řízení osvětlení podle snímače intenzity osvětlení ve stáji. Proti původnímu stavu je patrné výrazné zkrácení času, kdy je osvětlení zapínáno a vypínáno automaticky podle čidla intenzity osvětlení ve stáji.



Obr. 31: Grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A po úpravě

Proti původnímu stavu, kdy bylo osvětlení řízeno manuálně pracovníky ve stáji, se v letním období zkrátila průměrná doba zapnutí osvětlení ve stáji o 2,8 hodiny a o 1,6 hodiny v zimním období. To představuje průměrnou denní úsporu 10,2 kWh. Roční úspora elektrické energie dosahuje hodnoty cca 3700 kWh, což představuje roční úsporu přibližně 11 500 Kč.

Tento jednoduchý a levný systém řízení osvětlení je možné bez problému instalovat v libovolné stáji osazené lineárními zářivkami. V průběhu roku 2016 bude nainstalován i ve stáji C typu K 105. Při úpravě osvětlení ve stáji C se nabízí možnost plynulého řízení svitu zářivek. Tato úprava by znamenala instalaci nových svítidel s regulačními členy a to by včetně pořízení řídicího systému buď v analogové verzi 0 – 10 V nebo digitálního rozhraní DALI bylo finančně náročné a neúměrné výslednému efektu.

Na základě naměřených parametrů osvětlení ve stáji A a vzhledem ke stáří použitých svítidel se vedení farmy rozhodlo pro komplexní rekonstrukci systému osvětlení. Ve spolupráci s vedoucími pracovníky farmy jsme připravili podklady pro komplexní rekonstrukci osvětlení v této stáji s využitím technologie LED a zcela automatickým řízením osvětlení. Vedení farmy podalo v roce 2016 žádost o dotaci na realizaci tohoto projektu.

Na základě realizovaných měření jsem navrhl ve stáji A odstranění lávky pod střešní štěrbinou. Lávka byla součástí systému dávkování krmiva nadžlabníkovým dopravníkem, který byl v provozu až do rekonstrukce stáje z vazného na volné ustájení.

Provedl jsem měření intenzity osvětlení ve stáji A bez lávky současně s měřením intenzity osvětlení v naprosto identické stáji, která je stejně orientována a je vzdálena od stáje A cca 50 m. V této stáji lávka ještě demontována nebyla. Měření jsem provedl 15. 6. 2015 v 13 hodin letního času, kdy je Slunce nejvýše nad obzorem. Na obrázku 32 je interiér stáje A bez lávky a na obrázku 33 interiér kontrolní stáje s lávkou.



Obr. 32: Stáj bez lávky



Obr. 33: Stáj s lávkou

V tabulce 16 jsou uvedeny naměřené hodnoty intenzit osvětlení na krmném stole a v boxech blíže středu stáje pro stáj A a kontrolní stáj s lávkou.

Tab.16: Změny intenzity osvětlení ve stáji po odstranění lávky

	intenzita osvětlení (lx)	
	stáj A	kontrolní stáj
krmný stůl	310	162
levý box	169	148
pravý box	160	152

Měření prokázalo zvýšení intenzity osvětlení ve stáji odstraněním nevyužívané lávky pod hřebenovou štěrbinou. Úprava bude mít příznivý vliv na snížení spotřeby elektrické energie zejména v případě realizace plánované komplexní rekonstrukce osvětlení s propracovaným systémem automatického řízení osvětlení v závislosti na denním osvětlení.

7. ZÁVĚR

Provedená měření potvrdila hypotézu, že stavební řešení a technologické vybavení stáji má zásadní vliv na parametry stájového mikroklimatu.

Stavební řešení stáji se projevilo na dynamice nárůstu a poklesu vnitřní teploty a teplotně vlhkostního indexu. Při dlouhodobějším působení vysokých teplot se v zastaralé stáji typu K105 nepříznivě projevila tepelná setrvačnost stavby na hodnotu THI. Tomu napomohla i absence přídavných ventilátorů, které v ostatních stájích v nočních hodinách přispěly ke snížení teploty na přijatelnou mez.

Různý způsob odklizu kejdy ve sledovaných stájích se spolu s teplotou a rozdílnými způsoby ventilace projevil na koncentracích sledovaných plynů ve stájovém prostředí i na jejich emisích do ovzduší. Koncentrace amoniaku byla v letním období nejvyšší ve stáji B s roštovými podlahami, kde se na zvýšené tvorbě amoniaku podílela kejda v podroštových prostorech. Naopak v této stáji byly koncentrace amoniaku v zimním období nejnižší. Překvapivě vysoké koncentrace amoniaku jsem zjistil v letním i zimním období ve stáji A se shrnovacími lopatami. Je to způsobeno neustálým roztíráním čerstvých exkrementů shrnovacími lopatami po celých podlahách hnojných chodeb, jejichž plocha je téměř 900 m². Z naměřených průběhů je patrné, že k nárůstu koncentrací amoniaku dochází v době, kdy dojnice opouštějí boxová lože a odcházejí do dojírny nebo ke krmnému stolu. Vždy je to spojeno s prudkým nárůstem produkce moči. Produkce metanu je v porovnání s koncentracemi amoniaku vyrovnanější. Výrazně vyšší koncentrace metanu se projevila pouze v letním období ve stáji s vyhrnováním slamnaté podestýlky čelním nakladačem. Zřejmě to bylo nedokonalým odstraněním zbytků podestýlky při odklizu a svůj podíl na vyšších koncentracích metanu měla i nižší rychlost proudění vzduchu společně s relativně vysokou teplotou vzduchu ve stáji. Pozitivním výsledkem je, že ani v jedné stáji koncentrace metanu ani amoniaku nepřesáhly ani polovinu doporučených maximálních koncentrací v objektech pro chov skotu.

Byl prokázán vliv stavebního řešení na prostupnost denního světla do stáje v různých ročních obdobích včetně pozitivního vlivu světlých odrazivých ploch v interiéru stáje. Ve stáji B je řada zděných stavebních prvků včetně zděného podhledu, které jsou pravidelně bíleny. Spolu s širokou hřebenovou štěrbinou se to projevilo na relativně

vysoké intenzitě osvětlení v letním období, která přesáhla doporučovanou hodnotu 200 lx.

Na základě vyhodnocení naměřených údajů jsem navrhl a zrealizoval úpravu ovládání osvětlení ve stáji A. Kromě snížení nákladů na elektrickou energii se tato úprava projevila ve zlepšení světelného režimu pro dojnice, kdy je doporučována doba s vysokou intenzitou osvětlení cca 16 hodin a 8 hodin by měla být intenzita osvětlení co nejnižší. V průběhu roku 2016 se bude realizovat obdobný systém pro automatické ovládání osvětlení i ve stáji C.

Nejvyšší spotřebu elektrické energie ze sledovaných technologií jsem zjistil u přídavných ventilátorů ve stáji B. Roční spotřeba elektrické energie dosáhla 135,1 MWh, to představuje náklady cca 460 tis. Kč. S ohledem na nebezpečí propadu denních nádojů vlivem tepelného stresu jsou však vynaložené prostředky na napájení ventilátorů výrazně nižší, než ztráty z produkce mléka v letním období.

Navrhl jsem a odzkoušel systém pro přídavnou ventilaci ve stáji C s nízkoříkonovými ventilátory, pro jejichž napájení by bylo vhodné použít fotovoltaické panely. Návrh byl publikován jako ověřená technologie (Češpiva et al., 2015). Přídavné ventilátory by se měly pozitivně projevit na průběhu teplot ve stáji v letním období a měla by se snížit tepelná zátěž dojnic ve dnech s extrémně vysokými teplotami.

Osobně považuji za nejvýznamnější výsledek, který jsem v průběhu své práce navrhl, systém pro kontinuální monitorování teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve stájích s průběžným výpočtem teplotně vlhkostního indexu. Zootechnikům by měl umožnit včas podniknout preventivní opatření na zlepšení stájového mikroklimatu a provést další kroky pro eliminaci tepelné zátěže dojnic. To by mělo mít významný vliv na pohodu a zdravotní stav ustájených vysokoprodukčních dojnic

V průběhu práce jsem v období s extrémními teplotami zjistil ve stáji B s roštovými podlahami v nočním období velký nárůst relativní vlhkosti, který je patrně způsobený odparem fyzikálně vázané vody v kejdě v podroštových prostorech. Odpar patrně snižuje teplotu uvnitř stáje a pozitivně přispívá ke snížení tepelné zátěže zvířat. Tento jev chci prozkoumat podrobněji a připravuji dlouhodobá měření teploty a relativní vlhkosti uvnitř i vně stáje B společně s kontinuálním měřením teploty kejdy a pravidelným měřením koncentrací amoniaku, metanu a oxidu uhličitého bezprostředně nad povrchem kejdy i v zóně zvířat.

Měření jsem prováděl v reálných podmínkách v zemědělských provozech. Zásadním problémem provozních měření je omezená možnost zajištění podmínek pro opakovatelnost měření. Velký vliv má kromě současného ovlivňování výsledků měření různými fyzikálními vlivy i například rotace stáda, přechod na jiný typ krmiva a podobně. Pro zpřesnění výsledků měření a dosažení vyšší míry opakovatelnosti by bylo vhodné využít pro měření menší poloprovozní stáje, ve kterých by nebylo zásadním problémem omezení produkce vlivem nastavení parametrů, jejichž vliv na výsledek měření bychom sledovali.

V době kdy jsem začínal pracovat na své disertační práci bylo díky příznivé výkupní ceně mléka hlavní snahou chovatelů zvýšit užitkovost. Při dnešních velice nízkých cenách, za které jsou zemědělci nuceni prodávat mléko zpracovatelům, je v první řadě snaha snížit co nejvíce náklady na produkci. Chovatelé se budou snažit s co nejmenšími náklady využít i možnosti snižování spotřeby elektrické energie. Jednou z možností je efektivně řídit osvětlení ve stáji a co nejvíce využít přirozené zdroje světla pro osvětlení prostor stáje. Optimálním využíváním ventilátorů s regulací výkonu podle teploty lze dosáhnout přijatelného prostředí ve stáji i při relativně vysokých teplotách vzduchu a ochránit dojnice před dlouhodobým vlivem tepelného stresu, který by se mohl negativně projevit na jejich zdravotním stavu.

Na konci roku 2015 se na klimatologické konferenci v Paříži zúčastněné státy dohodly na radikálním snížení emisí skleníkových plynů do ovzduší. S jistotou lze očekávat tlaky na omezování emisí metanu a dalších skleníkových plynů ze zemědělské výroby včetně chovu skotu. Požadavky na zavedení opatření pro snížení emisí skleníkových plynů budou znamenat ještě vyšší náklady na produkci a chovatelé budou nuceni hledat další cesty ke snížení nákladů na výrobu mléka. Lze také očekávat nárůst požadavků na měření a výpočet emisí skleníkových plynů z objektů pro chov hospodářských zvířat stejně jako tomu bylo na přelomu století u emisí amoniaku. Jsem proto rád, že jsem při řešení své práce mohl ověřit metodiky pro stanovení průtoku vzduchu a emisí zátěžových plynů ve stájích s přirozenou ventilací. Potěšilo mne, že výsledky realizovaných měření jsou v souladu s údaji udávanými v odborné literatuře.

Navržené úpravy ovládání osvětlení, systém pro kontinuální vyhodnocování THI a navržený systém ventilace pro stáj K105 by mohly s relativně nízkými náklady přispět ke snížení nákladů a ke zlepšení mikroklimatu ve sledovaných stájích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1312 Lumasense Technologies Instruction Manual, [online]. 2005, [cit. 2015-03-06]. Dostupné z:

http://innova.lumasenseinc.com/uploads/media/1312_User_Manual_be6002-11_01.pdf

ADAMOVSÝ, D. : *Využití tepelného čerpadla pro chlazení stáje pro dojnice* [online]. Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2004, [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Tecnicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Adamovsky_Daniel.pdf

Animal.AgWired, 2012, *Thermal Aid App Can Detect Heat Stress*, [online], [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://animal.agwired.com/2012/08/09/thermal-aid-app-can-detect-heat-stress/>

ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77, s. 2044 - 2050, ISSN: 0022-0302

AVENDAÑO-REYES, L., Heat Stress Management for Milk Production in Arid Zones [online]. In: *Chaiyabutr, N. Milk Production - An Up-to-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health*, 26.9.2012, [cit. 2015-2-14]. Dostupné z: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39481.pdf> ISBN 978-953-51-0765-1.

BALENZA, J., TEGUI, L., CHENLO F. Measurement and analysis of angular response of solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2005, č. 86, s. 53–83

BECHNÍK, B., BAŘINKA, R., ČECH, P. Analýza životního cyklu FVS. In: *Sborník příspěvků ze 3. České fotovoltaické konference*. Brno: 3. - 5. 11. 2008, Kongresové centrum BVV. ISBN 978-80-254-3528-1

BELADA, B.: Navrhování stájí pro dojnice. *Moderní živočišná výroba*, č. 1, 2005. s. 14 – 16. ISSN 1214-2298.

BELL, S.: *A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement*, [online] 19.12.2010, [cit. 2016-2-14], dostupné z:

http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/UK_NPL/mgpg11.pdf

BOUŠKA et al.: *Chov dojeného skotu*, 1. vydání, Praha: PROFI PRESS, 2006, 186 s. ISBN 80-86726-16-9.

BROOM, D.M. Indicators of poor welfare. 1986: *British Veterinary Journal*, 142: s. 524–526

CLARKE, S., ENG. P., HOUSE, H. *Energy Efficient Dairy Lighting*, Ontario Ministry of Agriculture, 2006. Fact Sheet 06-007

CUERVA, A., SANZ-ANDRÉS, A. On sonic anemometer measurement theory. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2000, 88.1: s. 25-55.

ČEŠPIVA, M., KOCÁN, P.: Effect of the temperature and air speed on the ammonia emissions from manure corridor in the cow stables. In *Applied Physics in Live Science. Proceeding of the 6th International Workshop*. Praha: 14.9.2007. ČZU Praha, s. 12-18. ISBN 978-80-213-1718-5

ČEŠPIVA, M., ZABLOUDILOVÁ, P., FABIÁNOVÁ, M., ŠIMON, J., PECEN, J., JELÍNEK, A. *Ověřená technologie nízkoenergetické výměny vzduchu ve stáji typové řady K96 v období se zvýšeným rizikem tepelného stresu*. Uživatelé technologie: Zemědělsko obchodní družstvo Starosedlský Hrádek, Starosedlský Hrádek 6, 262 72 Březnice, Ověřená technologie, 2015

ČSN 730543. *Vnitřní prostředí stájových objektů*. Praha: Český normalizační institut, 1997

DAHL, G.E., PETITCLERC, D., Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. In *Journal of Animal Science* 81, 11-17. 2003

DOLEJŠ, J., TOUFAR, O. Kvantifikace tepelného stresu a efektivnost ochlazování zvířat. In *Vnútorná klíma polnohospodárskych objektov*. Bratislava: 25.8.2003, SSTP Bratislava. s. 25-30

DOLEJŠ, J., TOUFAR, O., KNÍŽEK, J.: *Vliv mikroklimatických podmínek v uzavřených stájích na užitkovost skotu*. Praha: MZe ČR, Informační list, 01.01.16, č. 10, s. 10, 1994

DOLEJŠ, J., TOUFAR, O., KNÍŽKOVÁ, I.: Dispozice a možnosti eliminace tepelného stresu u dojnic. In *Aktuální otázky bioklimatologie zvířat 2002*. Brno: VFU, 2002. s. 25 -29. ISBN 80-7305-451-5.

DOLEJŠ, J., TOUFAR, O., KNÍŽEK, J., NĚMEČKOVÁ J. Teplota prostředí ovlivňuje reprodukční ukazatele u dojnic. In *Vnútorná klíma polnohospodarskych objektechov*. Bratislava: 25.8.2008, SSTP Bratislava. s. 39-43

DOLEŽAL, O., STANĚK, S. *Chov dojeného skotu - technologie, technika, management* Praha: Profi Press s.r.o., 2015, ISBN 978-80-86726-70-0

DOLEŽAL, O. et al. *Komfortní ustájení vysokoprodukčních dojnic*. Praha: VÚŽV, 2003. ISBN 80-86454-28-2

DOLEŽAL, O. et al. *Zemědělský poradce ve stáji. I. Dojnice*. Metodika, Praha Uhřetěves: VÚŽV, v.v.i., 2007.

DOLEŽAL, O et al. *Metody eliminace tepelného stresu – významná chovatelská rezerva* [online]. Svaz chovatelů českého strakatého skotu, 2010, [cit. 2015-4-15]. Dostupné z: http://www.cestr.cz/files/nezarazene_dokumenty/publikace_tepel._stres3.pdf

DVOŘÁČEK, V. Světelné zdroje – lineární zářivky. *Světlo*, 2008, roč.11, č. 2, s. 56-58

DVOŘÁČEK, V. Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky. *Světlo*, 2009, roč.12, č. 3, s. 40-42

DVOŘÁČEK, V. Světelné zdroje – světelné diody. *Světlo*, 2009, roč.12, č. 5, s. 68-71

EIHOLZER, L. Updated Technology Provides an Advantage: LED Lighting and LDPP [online]. Cornell University - Northwest New York. Dairy, Livestock & Field Crops, 19.5.2015, [cit. 2015-5-22]. Dostupné z: <http://nwnyteam.cce.cornell.edu/submission.php?id=475>

FIŠER, A., SEDLÁČEK, V. Emise amoniaku z chovů hospodářských zvířat. In *Veterinářství*, 48, č. 9, 1998. s. 375 – 377 ISSN: 0506-8231

HAARLEM, R. P., DESJARDINS, R. L., GAO, Z., FLESCHE, T. K., LI, X., Methane and ammonia emissions from a beef feedlot in western Canada for a twelve-day period in the fall, 12.6.2008, [online]. In *Canadian journal of animal science*, [cit. 2015-7-14]. Dostupné z: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$foragebeef/frgebeef.nsf/e5ae854df3230ce787256a3300724e1d/30242e114ec84f8487257162006b48b0/\\$FILE/Ccb12daybeeffeedlot.pdf](http://www1.agric.gov.ab.ca/$foragebeef/frgebeef.nsf/e5ae854df3230ce787256a3300724e1d/30242e114ec84f8487257162006b48b0/$FILE/Ccb12daybeeffeedlot.pdf)

HAVLÍK, V. Možnosti ventilace stájí pro dojnice, *Chov skotu*, 2011, roč. 8, č. 3, s. 26 - 27.

GRAINGER, Ch. et al. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques [online]. In *Journal of dairy science*, 2007, 90.6. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z:

[http://www.researchgate.net/publication/6314384_Methane_emissions_from_dairy_cows_measured_using_the_sulfur_hexafluoride_\(SF6\)_tracer_and_chamber_techniques](http://www.researchgate.net/publication/6314384_Methane_emissions_from_dairy_cows_measured_using_the_sulfur_hexafluoride_(SF6)_tracer_and_chamber_techniques). ISSN: 2755-2766

HUTLA, P. *Osvětlování v zemědělství*. Praha: ÚZPI, 1998. 53 s. ISBN 80-86153-96-7

CHLOUPEK, J., SUCHÝ, P. *Mikroklimatická měření ve stájích pro hospodářská zvířata*, Brno: Fakulta veterinární hygieny a ekologie, multimediální výukový text VFU, 2008.

JELÍNEK, A., PECEN, J. Verification of Continual Measuring Methodology of Ammonia Emissions in Animal Husbandry. In *Research in Agricultural Engineering*, Praha, 2002, 49(1), s. 1-6.

JELÍNEK, A., DĚDINA, M., PLÍVA, P. *Vývoj emisí amoniaku z intenzivních chovů hospodářských zvířat do roku 2010* [online]. 2005 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/vyzkum/2002/jelinek.htm>

JOHNSON, K. A. a JOHNSON, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2483-2492.

KADLEC, K.: Pelistorové senzory – vlastnosti a použití. Praha: 2004, *AUTOMA 10*, s. 2-6, ISBN: 978-2-9521105-4- 9.

KARANDUŠOVSKÁ I., MIHINA Š., BOŠANSKÝ M. (2015): Impact of construction and technological solution of dairy cows housing on production of ammonia and greenhouse gases in winter. *Res. Agr. Eng.*, 61: S13-S20.

KIC, P., BROŽ, V. *Tvorba stájového prostředí*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, 1995. 47 s. ISBN 80-7105-106-3.

KIWAN, A. et al. Air exchange rate measurements in naturally ventilated dairy buildings using the tracer gas decay method with 85 Kr, compared to CO₂ mass balance and discharge coefficient methods [online]. In *Biosystems Engineering*. 2013, 116.3: 286-296, [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:

<http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/viewFile/1981/1661>. ISSN: 1537-5110

KLIPSTEIN, D. *The Most Efficient LEDs and where to get them!* [online]. 2012-05-14, [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://donklipstein.com/led.html>

KNÍŽKOVÁ, I. et al. *Metodické listy 07/ 03 - TECHNIKA A TECHNOLOGIE CHOVU SKOTU*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, 2003, ISBN 80-86454-33-9

MISSELBROOK, T.H., VAN DER WEERDEN, T.J., PAIN, B.F., JARVIS, S.C., CHAMBERS, B.J., SMITH, K.A., PHILLIPS, V.R., DEMMERS, T.G.M., 2000. Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmospheric Environment* 34, 871e880.

MONTENY, G. J.; ERISMAN, J. W. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. In *NJAS wageningen journal of life sciences*, 1998, 46.3: s. 225-247.

PECEN, J.; ZABLOUDILOVÁ, P. (2005): The comparison of two types sensors for ammonia emission continual measurement. *Res. Agr. Eng.*, 51: 112-118.

PEDERSEN, S. et al. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review [online]. In *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X., prosinec 2008, [cit. 2015-4-15]. Dostupné z:

http://www.researchgate.net/publication/37791707_Carbon_Dioxide_Production_in_Animal_Houses_A_literature_review . ISSN: 1682-1130

POPL, M., FÄHNRIK, J. *Analytická chemie životního prostředí*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Chemicko-inženýrská fakulta, 1999, ISBN 8070803363

Praktická příručka 11 / 1996 – požadavky na stavby a zařízení pro hospodářská zvířata, Praha: MZe ČR, 1996

RHOADS M.L. et al. 2009: Effect of heat stress and plane of nutrition of lactating Holstein cows: I, Production, metabolism and aspects of circulating somatotropin. In *Journal Dairy Science*, 92, 5, s. 1986-1997.

SAMER, M., ABUARAB, M. Development of CO₂ balance for estimation of ventilation rate in naturally cross-ventilated dairy barns. [online]. In *Transactions of the asabe*, 2014, 57.4: s. 1255-1264, [cit. 2015-4-10]. Dostupné z:

http://scholar.cu.edu.eg/sites/default/files/m12s1978/files/development_of_co2_balance_for_estimation_of_ventilation_rate_in_naturaly_cross-ventilated_dairy_barns.pdf . ISSN: 2151-0059

SMART, A. *VOST are value of solar taxes* [online]. The Alliance for Solar Choice, Huffingtonpost, 25.4.2014, [cit. 2015-4-10]. Dostupné z:

http://www.huffingtonpost.com/anne-smart/value-of-solar-powertariffs-_b_5051448.html accessed 25 April 2014.

ŠOTTNÍK, J. Význam vetrání maštali a jeho regulace – vliv na užitkovost v chovu. In *Aktuální otázky bioklimatologie zvířat 2001*. Brno: VFU, 2001. s. 107 – 111. ISBN 80-7305-418-3

TOPIČ, J. Vliv typu střešní krytiny na tepelnou zátěž stájí pro chov dojeného skotu. *TZB-info*, [online]. 12.8.2013, [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/10216-vliv-typu-stresni-krytiny-na-tepelnou-zatez-staji-pro-chov-dojeneho-skotu>

TOUFAR, O., DOLEJŠ, J. Efektivní metody snižování stájové produkce amoniaku. In *Ochrana zvířat a welfare*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2004, s. 164-167.

TOUFAR, O., DOLEJŠ, J. Produkce amoniaku u nejčastějších chovů hospodářských zvířat. In *Ochrana zvířat a welfare*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2004, s. 168-172

TOUFAR, O., DOLEJŠ, J. Snižování emisí amoniaku v chovech skotu. *Farmář*, 2004, roč. 10, č. 12, s. 40-42.

TOUŠOVÁ, R., BERAN, J., DUCHÁČEK, J. *Technika a technologie v chovu dojnic* Produkční období [online]. ČZU Praha, 2013, [cit. 2015-4-10]. Dostupné z: http://katedry.czu.cz/storage/3371_technika_a_techologie_v_chovu_dojnic.pdf

TURNET, L. W., WARNER, R. C., CHASTAIN, J. P. Reducing heat stress in dairy cows through improved facility and system design. *Livestock Environment IV: ASAE*, Warwick, 1993, s. 356 – 364.

VEGRICHT, J., HUTLA, P., ČEŠPIVA, M., BAK, J.: Výstavba nové volné boxové stáje – reálná alternativa k modernizacím stávajících stájí. *Náš chov*. č. 9, 2003, s. 4 –9. ISSN: 0027-8068

VÝZKUMNÝ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY, v. v. i. *Komora pro odběr plynů*. Původci: ČEŠPIVA, Miroslav, Petra ZABLOUDILOVÁ a Pavel KOVAŘÍČEK. LOC 10-05. Česká republika. Průmyslový vzor CZ 36271. Zapsán 17.12.2014. Dostupné z: <http://isdv.upv.czportalplsportalportlets.vzs.frm>

Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. 2001, [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Amoniak>

Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. 2001- [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Methan>

Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. 2001, [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD

YEWALE A. K., RAULKAR K. B., WADATKAR, A. S., LAMDHARE G. T., Application of metal oxide thick film as a NH₃ gas sensor, In *Journal of Electron Devices*, 11, s. 544-550, 2011.

ZEJDOVÁ, P., CHLÁDEK, G., FALTA, D. 2014, *Vliv stájového prostředí na chování a mléčnou užitkovost dojníc*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 26 s., 2014, ISBN: 978-80-7375-945-2.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Graf závislosti THI na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu
- Obr. 2: Pohled do stáje A
- Obr. 3: Pohled do stáje B
- Obr. 4: Pohled do stáje C
- Obr. 5: Princip funkce analyzátoru
- Obr. 6: Průběhy teplot a relativních vlhkostí ve stáji B
- Obr. 7: Týdenní průměrné hodnoty THI
- Obr. 8: Průběh THI v týdnu s nejvyššími teplotami
- Obr. 9: Průběhy koncentrací amoniaku ve stájích A, B a C v letním období.
- Obr. 10: Průběhy koncentrací amoniaku ve stájích A, B a C v zimním období.
- Obr. 11: Průběhy koncentrací metanu ve stájích A, B a C v letním období.
- Obr. 12: Průběhy koncentrací metanu ve stájích A, B a C v zimním období.
- Obr. 13: Průběh intenzity osvětlení ve stáji A v prosinci 2014
- Obr. 14: Průběh intenzity osvětlení ve stáji B v prosinci 2014
- Obr. 15: Průběh intenzity osvětlení ve stáji C v prosinci 2014
- Obr. 16: Průběh intenzity osvětlení ve stáji A v červnu 2015
- Obr. 17: Průběh intenzity osvětlení ve stáji B v červnu 2015
- Obr. 18: Průběh intenzity osvětlení ve stáji C v červnu 2015
- Obr. 19: grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A
- Obr. 20: měsíční spotřeby elektrické energie ventilátorů ve stájích A a B
- Obr. 21: grafický průběh příkonu ventilátorů ve stáji B
- Obr. 22: Periodický pracovní cyklus shrnovací lopaty
- Obr. 23: Přídavný axiální ventilátor
- Obr. 24: Průběh kouřové zkoušky po nainstalování ventilátoru
- Obr. 25: Situační plán s návrhem rozmístění ventilátorů
- Obr. 26: Blokové schéma řízení ventilátorů
- Obr. 27: Blokové schéma monitorovacího systému THI
- Obr. 28: Pohled na obrazovku počítače se zobrazenými hodnotami tepelného stresu
- Obr. 29: Grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A
- Obr. 30: Schéma optimalizace zapojení zářivkových svítidel s možností plánovaného stupňovitého řízení výkonu v závislosti na intenzitě osvětlení
- Obr. 31: Grafické vyjádření doby zapnutí osvětlení ve stáji A po úpravě
- Obr. 32: Stáj bez lávky
- Obr. 33: Stáj s lávkou

SEZNAM TABULEK

Tab.1: Základní parametry stájí

Tab.2: Hodnoty produkce CO₂

Tab.3: Průměrné měsíční teploty ve stájích

Tab.4: Týdenní průměrné hodnoty THI

Tab.5: Průměrné hodnoty koncentrací amoniaku ve sledovaných stájích

Tab.6: Průměrné hodnoty koncentrací metanu ve sledovaných stájích

Tab.7: Průměrné hodnoty koncentrací CO₂ ve sledovaných stájích

Tab.8: Data pro výpočet průtoku vzduchu

Tab.9: Vypočtené hodnoty emisí amoniaku

Tab.10: Vypočtené hodnoty emisí metanu

Tab.11: Vypočtené hodnoty intenzit osvětlení

Tab.12: Příkony a technické parametry osvětlení ve stájích

Tab.13: Průměrné měsíční teploty ve stájích a spotřeby energií na ventilaci

Tab.14: Příkon motoru shrnovací lopaty

Tab.15: Roční náklady na elektrickou energii

Tab.16: Změny intenzity osvětlení ve stáji po odstranění lávky

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

%RV	procenta relativní vlhkosti vzduchu
°C	stupeň Celsia (jednotka teploty)
A	světelný útlum (-)
Ah	ampérhodina (jednotka elektrické kapacity baterie)
AP	aritmetický průměr
C_{EXT}	koncentrace plynu vně stáje (mg.m^{-3})
C_M	koncentrace plynu v měřicím místě (mg.m^{-3})
CO ₂	oxid uhličitý
C-plemeno	označení strakatého skotu
ČR	Česká republika
E27	označení normalizovaného závitu žárovky
E_{EXT}	intenzita osvětlení vně stáje (lx)
E_{INT}	intenzita osvětlení uvnitř stáje (lx)
hod	hodina (jednotka času)
H-plemeno	označení Holštýnského skotu
Hz	Hertz (jednotka frekvence)
CH ₄	metan
I	elektrický proud (A)
IP67	stupeň krytí elektrického zařízení proti vniknutí vody a prachu
IS	interval spolehlivosti
J	jih
JV	jiho-východ
JZ	jiho-západ
k	koncentrace plynu (mg.m^{-3})
K105	označení typizované stavby pro chov skotu

K174	označení typizované stavby pro chov skotu
kg	jednotka hmotnosti
ks	počet kusů
kW	kilowatt (jednotka výkonu, příkonu)
kWh	kilowatthodina (jednotka práce, elektrické spotřeby)
LED	Light-Emitting Diode (dioda emitující světlo)
lm	lumen (jednotka světelného toku)
lx	lux (jednotka intenzity osvětlení)
M	hmotnostní tok plynu ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)
$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	metr za sekundu (jednotka rychlosti)
m^2	metr čtvereční (jednotka plochy)
m^3	metr krychlový (jednotka objemu)
$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	miligram na metr krychlový (jednotka hmotnostní koncentrace)
mm	milimetr (jednotka délky)
MVE	měrná výrobní emise ($\text{g}\cdot\text{den}^{-1}\cdot\text{zvíře}^{-1}$)
MWh	megawatthodina (jednotka práce, elektrické spotřeby)
n	počet zvířat ve stáji
NH_3	amoniak
P	výkon, příkon (W)
p	průtok vzduchu ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
ppm	jednotka objemové koncentrace (-)
Q	produkce plynu ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)
RH	relativní vlhkost vzduchu
S	sever
s	sekunda (jednotka času)
SF_6	fluorid sírový (značkovací plyn)

SV	severo-východ
SZ	severo-západ
t	teplota
THI	teplotně vlhkostní index
$t_{\alpha,f}$	kritická hodnota pro hladinu významnosti α
U	elektrické napětí (V)
VKK	označení typizované stavby pro chov skotu
W	watt (jednotka výkonu, příkonu)
Wi-Fi	standard pro bezdrátovou komunikaci
x_i	naměřená hodnota
φ	fázový úhel

PŘÍLOHY



Obr. 1: COMET S3120



Obr. 2: Luxmetr UT382



Obr. 3: Nainstalovaný luxmetr v pouzdru



Obr. 4: Sestava analyzátoru INNOVA 1312 s přepínačem odběrových míst 1309



Obr. 5: Anemometr TESTO 445 se sondami



Obr. 6: COMET T3610