

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

**VĚTRÁNÍ, VYTÁPĚNÍ A KLIMATIZACE
VELKOPROSTOROVÝCH BUDOV**

KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB

Disertační práce

JMÉNO A PŘÍJMENÍ: Ing. Van Doan Cao

ROK: 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto tezi disertační práce vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ: VAN DOAN CAO

PODPIS:

DATUM: 31/05/2019

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Prof. Ing. Pavlovi Kicovi, DrSc. za odborné vedení, cenné rady a podporu v průběhu zpracování této práce.

Abstrakt

Cílem disertační práce je provést teoretický rozbor a provést experimentální měření v podmínkách velkoprostorových budov, s cílem optimalizace vnitřních podmínek a minimalizace spotřeby energie. Získané závislosti ověřit v praxi a uvést do souvislosti s hygienickými předpisy pro pracovníky a s technologickým režimem provozu budovy. Na základě získaných poznatků zpracovat podklady pro praktické využití v projekční činnosti.

V rámci řešení disertační práce, výzkumná činnost bude zaměřena na několik typů velkoprostorových budov. První oblast výzkumu je plánována v halách využívaných v zemědělství, na farmách živočišné výroby. Druhou skupinu tvoří haly typické pro průmyslové, dílenské a servisní činnosti. Další výzkum zahrnuje ostatní velkoprostorové objekty, jako jsou např. velké výukové prostory, tělovýchovná zařízení, kancelářské prostory apod.

Výsledkem práce je zhodnocení vnitřních podmínek zkoumaných prostorů při aktuálním stavu. V první oblasti, navrhované stavby budou srovnány se skutečným stavem budovy za účelem hledání lepšího vnitřního stavu. Výsledky měření teploty vzduchu, vlhkosti a koncentrace CO₂ budou ukazovat vnitřní mikroklima v budově s vlivem aktivit HVAC systému. Další část výzkumné práce je sestavení vzorců pro výpočet požadavku na výkon chlazení vzduchu pro činnosti pracovníků. Experimentální měření bude prokazovat vliv slunečního záření na vnitřní teplotu vzduchu, vliv žaluzií a zastínění stromy v okolí budov. Získané výsledky měření v místnostech mohou být užitečné pro výpočet výkonu klimatizace k udržení lepší tepelné pohody uvnitř místnosti během léta. Stavební konstrukce a materiály budov mají velký vliv na přenos tepla a jsou hlavními faktory odpovědnými za tepelné ztráty a tepelné zisky v budovách. Vzorce by mohly být užitečné pro konstruktéry staveb k dosažení optimalizace vnitřních podmínek a minimalizace spotřeby energie na udržení vnitřní tepelné pohody pro pracovní výkony. V poslední části bylo prokázáno, že stínění stromy prokázalo schopnost snížení slunečního záření na fasádách budov, zlepšit vnitřní tepelnou pohodu a šetřit energii vynaloženou na chlazení.

Klíčová slova: přenos tepla; sluneční záření; tepelná pohoda; teplota vzduchu.

Abstract

The aim of the dissertation work is to perform a theoretical analysis and to carry out experimental measurements in the conditions of large buildings in order to optimize internal conditions and minimize energy consumption. The obtained dependencies are verified in practice to adjust the hygienic regulations for workers and the building's technical mode of operation. The materials for practical use in the design activities are based on the knowledge acquired.

In this dissertation work, research activities are focus on several types of large buildings. The first part is done in halls that are used in agriculture for livestock farms. The second part is carried out in some typical halls of industrial, workshop and service activities. Further research includes other large objects, such as large learning spaces, physical education facilities and office buildings.

The result of the research work is an evaluation of the internal conditions of investigated spaces at their current state. In the first part, the proposed buildings will be compared to the real state of the building in order to find a better internal state. The results of the air temperature, humidity and CO₂ concentration will indicate the indoor microclimate in the building with the effects of the HVAC system. The other part of the research work is to set up formulas to calculate the energy demand for air cooling performance for workers' activities. Experimental measurements will prove the effect of solar radiation on indoor air temperature as well as the effect of blinds and shading trees around buildings. Building structures and materials have a great effect on heat transfer; they are the main factor responsible for heat gains and losses in buildings. Formulas could be useful for building designers to achieve optimized indoor conditions and minimize energy consumption to maintain indoor thermal comfort for work performance. The last experiment shows that shading of trees has proven its cover to be an important parameter in reducing solar heat gain on building facades, improve indoor thermal comfort and save cooling energy.

Key words: air temperature; heat transfer; solar radiation; thermal comfort.

Obsah

Prohlášení	i
Poděkování	ii
Abstrakt	iii
Abstract.....	iv
Obsah	v
1 Úvod do problematiky	1
2 Literární řešerše.....	2
2.1 Normativní vymezení.....	2
2.1.1 Stájové prostředí	2
2.1.2 Pobytové prostředí.....	3
2.2 Účel a způsoby větrání velkoprostorových budov	9
2.2.1 Přirozená ventilace	9
2.2.2 Nucená ventilace	10
2.2.3 Větrání zemědělských objektů	11
2.2.4 Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska větrání	12
2.3 Účel a způsoby vytápění velkoprostorových budov	13
2.3.1 Vytápění velkoprostorových budov	13
2.3.2 Teplovodní podlahové vytápění	13
2.3.3 Elektrické podlahové vytápění	15
2.3.4 Vytápění zavěšenými sálavými panely	16
2.3.5 Vytápění infračervenými plynovými zářiči	17
2.3.6 Vytápění lokálními elektrickými topnými tělesy	18
2.3.7 Lokální systémy elektrického vytápění	19
2.3.8 Teplovzdušné vytápění	20

2.3.9	Kombinované vytápění.....	21
2.3.10	Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska vytápění	22
2.4	Klimatizace	23
2.4.1	Aktivní klimatizace	23
2.4.1.1	Základní pojmy	23
2.4.1.2	Charakteristika klimatizačních systémů.....	25
2.4.2	Pasivní klimatizace budov	33
2.4.3	Podnebí a klimatizace ve Vietnamu	35
2.4.4	Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska klimatizace.....	39
3	Cíl práce.....	40
3.1	První cíl	41
3.1.1	První dílčí cíl prvního cíle	41
3.1.2	Druhý dílčí cíl prvního cíle.....	41
3.2	Druhý cíl.....	42
3.2.1	První dílčí cíl druhého cíle	42
3.2.2	Druhý dílčí cíl druhého cíle.....	42
3.3	Třetí cíl	42
3.3.1	První dílčí cíl třetího cíle	43
3.3.2	Druhý dílčí cíl třetího cíle.....	43
3.3.3	Třetí dílčí cíl třetího cíle	43
4	Materiál a metody řešení.....	44
4.1	Mikroklimatické podmínky ve sportovních halách.....	44
4.2	Letní větrání v hale pro výkrm brojlerů v CFD modelování	45
4.3	Analýza vnitřní teploty v dílnách v letním období.....	52
4.4	Tepelné bilance v dílnách v zimním období	54
4.5	Analýza vlivu žaluzií a slunečního záření na mikroklima v kancelářských prostorách v letních dnech	56

4.6	Zastínění stromy ke snížení slunečního zahřívání budov	60
4.7	Analýza stavebního řešení a zastínění budov ve Vietnamu ke snížení silného slunečního záření	63
5	Výsledky a diskuse	70
5.1	Větrání	70
5.1.1	Vliv HVAC systému na mikroklimatické parametry ve sportovních halách z hlediska větrání	70
5.1.2	Letní větrání v ustájecím prostoru pro výkrm brojlerů v CFD modelování ...	73
5.1.3	Větrání a klimatizace v dílnách	78
5.2	Vytápění a klimatizace	83
5.2.1	Zlepšení tepelné bilance v dílnách v zimním období	83
5.2.2	Vliv žaluzií a slunečního záření	85
5.2.3	Vliv zastínění stromy ke snížení slunečního zahřívání budov	92
5.2.4	Zlepšení tepelné bilance v dílně v letním období ve Vietnamu	97
6	Závěr	100
6.1	První cíl	100
6.2	Druhý cíl	101
6.3	Třetí cíl	102
6.4	Shrnutí a možnosti dalšího výzkumu	104
7	Seznam literatury	108
7.1	Monografie, odborné publikace, sborníky, výzkumné práce, skripta.	108
7.2	Příručka dostupná z internetu	116
8	Seznam obrázků	117
9	Seznam tabulek	120

1 Úvod do problematiky

Přívodem i odvodem vzduchu v místnosti dochází k vytvoření proudění uvnitř celého prostoru. Je to jev velmi složitý, protože na jeho vzniku se podílí řada faktorů: tvar a velikost větraného prostoru, proudy přiváděného a odváděného vzduchu (jejich rozmístění, velikost a druh vyústek, rychlost a teplota vzduchu), a dále i rozmístění a mohutnost zdrojů tepla, resp. chladu v místnosti (Xu a spol, 2014). Znalosti o zákonitostech, jimiž se toto proudění řídí, jsou velmi důležité pro návrh větracích zařízení z hlediska jejich funkce i hygienických a ekonomických poměrů (Figueiredo a spol, 2017).

Tepelný stav vnitřního prostředí lze ovlivnit pomocí následujících faktorů: operativní teplota, střední radiační teplota, relativní vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu (Nový a kolektiv, 2006).

Cílem analýzy tepelného stavu prostředí je definice podmínek, které jsou pro lidský organismus optimální (tepelná pohoda, komfort), případně stanovení podmínek únosných, přijatelných, adaptivních. Tepelný stav prostředí se definuje ve větrání a klimatizaci i pro jiné (převážně technologické) účely. Tepelný tok Q produkovaný lidským organismem se sdílí z povrchu těla do okolního prostředí. Rozdíly mezi produkovaným teplem a teplem odnímáním okolím těla vyrovnávají termoregulační mechanismy těla, aby byla udržena konstantní vnitřní tělesná teplota (Jokl, 1984; Drkal, 2006; Drkal a Zmrhal, 2013).

Vnitřní teplota je součástí kvality vnitřního životního prostředí, která je ovlivněna klimatickým stavem a konstrukcí místa (Randall, 2006). Úspěšné vnitřní prostředí velice závisí na porozumění environmentálním faktorům, včetně návrhu a nastavení budov (Yeang, 2006).

Tvorba vnitřního prostředí velkoprostorových budov má velký význam pro pobyt lidí a v zemědělských provozech též pro ustájení zvířat. Vyznačuje se čistotou vzduchu a tepelnou pohodou. Hledání optimálních variant stavebních a technických řešení by mělo vést ke zlepšení parametrů vnitřního prostředí a podle možností též ke snižování spotřeby energie. Disertační práce bude zaměřena na výzkum a vyhodnocování vnitřního prostředí velkoprostorových objektů s cílem optimalizace vnitřních podmínek z hlediska chovaných zvířat i pohody pro lidi v souladu s hygienickými předpisy a s možnostmi snižování spotřeby energie.

2 Literární rešerše

Když je horko a slunečno technologií a technik v rámci řešení větrání, vytápění a klimatizace. Kapitoly literární rešerše poskytují obecný přehled používaných technologií a nejpodstatnějších faktorů, které k vlastní disertační práci neodmyslitelně patří. Dále je popsán současný stav poznání mající bezprostřední dopad na vytyčené cíle disertační práce.

2.1 Normativní vymezení

2.1.1 Stájové prostředí

Pro návrh stájového prostředí je v ČR využívána česká technická norma: Vnitřní prostředí stájových objektů ČSN 73 0543-1 a ČSN 73 0543-2. Ta mimo jiné uvádí definice některých pojmů, které jsou dále používány i v této práci. Jedná se zejména o tyto definice:

- **Stájový prostor:** Uzavřený prostor ve stájovém objektu určený pro pobyt zvířat.
- **Zóna zvířat:** Část stájového prostoru vymezená hrazením, stěnami klece apod. od podlahy stání do výšky stojícího zvířete, nebo stropu klecí.
- **Stájový vzduch:** Směs plynů, vodní páry a příměsí v zóně zvířat. Jeho stav je charakterizován teplotou, relativní vlhkostí, rychlostí proudění, složením a obsahem příměsí (plyny, prach, mikroorganismy).
- **Biologická produkce:** Celková produkce tepla vlhkosti a plynů působící na stájový vzduch, způsobená ustájenými zvířaty, jejich exkrementy a stájovým prostředím.

Ostatní definice jsou obsaženy ve zmíněné ČSN (kolektiv, 1997) pro výklad anglických termínů je vhodnou příručkou slovník (Bateman, 2006). Pro problematiku výkrmu brojlerů existuje rovněž doporučení Evropské Komise (European Commission, 2000).

2.1.2 Pobytové prostředí

Tepelná pohoda

Člověk na základě svých biologických pochodů neustále produkuje teplo, které odevzdává do svého okolí. Stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, označujeme jako tepelná rovnováha (Rubinová a Rubina, 2005).

Tepelná pohoda označuje takový stav prostředí, ve kterém je splněna podmínka tepelné rovnováhy mezi organismem člověka a okolím a význam má i způsob a rovnoměrnost, s jakou člověk do okolí teplo vydává. V případě nedodržení optimálních podmínek je člověk před nadměrným teplem chráněn pocením, ale před nadměrným chladem chráněn není. Tepelná rovnováha však není jedinou podmínkou. Pro člověka je důležitá tzv. radiační pohoda, tj. aby teplo z okolí přijímal radiací (podobně jako od Slunce) a vyrobené teplo vydával konvekcí (prouděním), tj. ochlazováním okolním vzduchem, tomu odpovídá oblíbené posezení u krbu. Pro tepelnou pohodu místnosti to znamená, že množství tepla, které člověk vydá do okolí konvekcí, má být minimálně stejné, pokud možno větší než teplo předané do okolí sáláním. Z této podmínky plyne maximální přípustný rozdíl mezi teplotou vzduchu a stěn (o kolik mohou být obvodové stěny a otvorové výplně chladnější než vzduch v místnosti). Kromě tepelné rovnováhy a splnění radiační pohody je lidský organismus ještě citlivý na rovnoměrný odvod tepla do okolí, a to jednak v prostoru, jednak v čase. V prostoru to znamená, že ochlazování nohou se nemá příliš lišit od ochlazování hlavy a proudění vzduchu by mělo být rovnoměrné, jinak vzniká průvan (Rubinová a Rubina, 2005).

Větrání

Obecně vychází právně závazné hygienické požadavky na jednotlivé faktory prostředí a větrání ze zákonů:

- **Zákon č. 183/2006 Sb.**, o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v platném znění.
- **Zákon č. 20/1966 Sb.**, o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů – především zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.
- **Zákon č. 262/2006 Sb.**, zákoník práce v platném znění.

- **Zákon č. 309/2006 Sb.**, o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

Požadavky na větrání pobytových prostor jsou další ve stavební vyhlášce, tj. ve vyhlášce č. 20/2012 Sb. Tato novelizace předchozí vyhlášky č. 268/2009 Sb. jednoznačně stanovuje požadavky na větrání, rozlišuje pobytové místnosti a obytné místnosti.

Požadavky na limitní hodnoty všech faktorů vnitřního prostředí staveb, vč. větrání, někdy se i požadavky liší podle tabulky 2.1.

Tabulka 2.1: Platné předpisy stanovující limity pro jednotlivé faktory vnitřního prostředí

Typ prostředí	Předpis	Existují limity pro:
Pracovní	NV č. 361/2007 Sb., ve znění NV č. 93/2012 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, osvětlení, větrání
Stravovací	Vyhláška č. 137/2004 Sb. ve znění č. 602/2006 Sb.	Žádné limity neexistují
Školské	Vyhláška č. 343/2009 Sb.	MKL, osvětlení, větrání
Pobytové	Vyhláška č. 6/2003 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, výskyt mikroorganismů, výskyt roztočů
Bazény, sauny	Vyhláška č. 238/2011 Sb.	MKL, osvětlení, větrání, mikrobiální kontaminaci vody
Vnitřní prostředí staveb	Vyhláška č. 20/2012 Sb.	Větrání, koncentrace CO ₂

Pozn.: NV = nařízení vlády

MKL = mikroklima (teploty, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu)

Tepelně vlhkostní podmínky

Zde došlo k výrazným změnám v poslední novelizaci vlády č. 361/2007 Sb., která je uvedena pod číslem 93/2012 Sb. (předchozí novelizace měla číslo 68/2010 Sb.). Opakovaně byla upravena část řešící tepelnou zátěž zaměstnanců, došlo ke změně limitů i sledovaných teplotních veličin, zavedena byla i veličina nová – stereoteplota. Základní teplotní veličinou je stále změřená výsledná teplota kulového teploměru t_g , nebo vypočítaná teplota operativní. Tepelně vlhkostní podmínky v pracovním prostředí se liší podle třídy práce, které jsou shrnuty v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje (M) vyjádřené v brutto hodnotách a ztráta tekutin za osmihodinovou směnu

Třída práce	Druh práce	M (W·m ⁻²)
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů.	≤ 80
IIa	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.	81 až 105
IIb	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou – dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu. Práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg, prodavači, lakýrníci, svařování, soustružení, strojové vrtání, dělník v ocelárně, valcír hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků. Práce spojená s ruční manipulací s živým břemenem, práce zdravotní sestry nebo ošetřovatelky u lůžka.	106 až 130
IIIa	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin občas v předklonu nebo vkleče, chůze – údržba strojů, mechanici, obsluha koksových baterie, práce ve stavebnictví - ukládání panelů na stavbách pomocí mechanizace, skladníci s občasným přenášením břemen do 15 kg, řezníci na jatkách, zpracování masa, pekaři, malíři pokojů, operátoři poloautomatických strojů, montážní práce na montážních linkách v automobilovém průmyslu, výroba kabeláže pro automobily, obsluha válcovacích tratí v kovoprůmyslu, hutní údržba, průmyslové žehlení prádla, čištění oken, ruční úklid velkých ploch, strojní výroba v dřevozpracujícím průmyslu.	131 až 160
IIIb	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze, práce ve stavebnictví při tradiční výstavbě, čištění menších odlitek sbíječkou a broušením, příprava forem na 15 až 50 kg odlitky, foukači skla při výrobě velkých kusů, obsluha gumárenských lisů, práce na lisu v kovárnách, chůze po zvlněném terénu bez zátěže, zahradnické práce a práce v zemědělství.	161 až 200
IVa	Práce spojená s rozsáhlou činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – práce ve stavebnictví, práce s lopatou ve vzpřímené poloze, přenášení břemen o váze 25 kg, práce se sbíječkou, práce v lesnictví s jednomužnou motorovou pilou, svoz dřeva, práce v dole – chůze po rovině a v úklonu do 15 °C, práce ve slévárnách,	201 až 250

	čištění a broušení velkých odlitků, příprava forem pro velké odlitky, strojní kování menších kusů, plnění tlakových nádob plyny.	
IVb	Práce spojené s rozsáhlou a intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – práce na pracovištích hlubinných dolů – ražba, těžba, doprava, práce v lomech, práce v zemědělství s vysokým podílem ruční práce, strojní kování větších kusů.	251 až 300
V	Práce spojené s rozsáhlou a velmi intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – transport těžkých břemen např. pytlů s cementem, výkopové práce, práce sekerou při těžbě dřeva, chůze v úklonu 15 až 30 °C, ruční kování velkých kusů, práce na pracovištích hlubinných dolů s ruční ražbou v nízkých profilech důlních děl.	301 a více

Tabulka 2.3: Celoročně přípustné teploty na pracovišti podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb., v závislosti na náročnosti vykonávané činnosti, tj. na energetickém výdeji zaměstnanců

Třída práce	Energetický výdej M [W·m ⁻²]	$t_{o \text{ min}}$ nebo $t_{g \text{ min}}$ [°C]	$t_{o \text{ max}}$ nebo $t_{g \text{ max}}$ [°C]	Rychlost proudění v_a [m·s ⁻¹]	Relativní vlhkost RH [%]
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	26		
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30		
IIIb	161 až 200	10	26	0,1 až 0,5	
IVa	201 až 250	10	24		
IVb	251 až 300	10	20		
V	301 a více	10	20		

ČSN 06 0210 Výpočet tepelné ztráty objektu. Pro orientační výpočet tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění použijte naší on-line kalkulačku Zelená úsporám. Tato zjednodušená výpočtová pomůcka je určena pro výpočet tepelné ztráty místnosti nebo pro výpočet tepelné ztráty budovy obálkovou metodou. V takovém případě části popisující vlastnosti místnosti uvažujte jako vlastnosti popisující počítanou budovu (rozměry budovy jsou rozměry venkovní).

DIN 4108 – Německá norma: Tepelná izolace a úspory energie v budovách. V normě jsou redukční faktory F_c materiálů, které jsou použitelné k výpočtu celkové propustnosti sluneční energie s ochranou před slunečním zářením.

Chlazení

ČSN EN 15240 Větrání budov – Energetická náročnost budov – Směrnice pro kontrolu klimatizačních systémů a ČSN EN 15239 Větrání budov – Energetická náročnost budov a směrnice pro kontrolu větracích systémů. Normy popisují společnou metodiku pro kontrolu větracích a klimatizačních systémů v budovách z hlediska spotřeby energie. Normy se vztahují na všechny typy systémů klimatizace a chlazení (určených pro vytváření tepelné pohody) s celkovým chladicím výkonem větším než 12 kW. K výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostorů se používá ČSN 73 0548 – Norma platí pro výpočet tepelné zátěže a tepelných zisků prostorů se stálou vnitřní teplotou. Výsledky výpočtů slouží jako podklad pro dimenzování klimatizačních zařízení.

ČSN 73 0540-4 reaguje jak na změny ve struktuře hodnocených veličin podle revize a změny požadavků v části 2 normy, tak na zavedení rozsáhlého souboru evropských a mezinárodních norem výpočtových metod v této oblasti do soustavy českých technických norem tak, aby byly zajištěny základní požadavky na úsporu energie a tepelnou ochranu budov a na ochranu zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí. Hlavní text normy je členěn podle veličin hodnocených v ČSN 73 0540-2.

Osvětlení

Požadavky jsou stanoveny odkazem na normy: ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov, ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení a ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení.

Koncentrace CO₂

Požadavky jsou stanoveny ve stavební vyhlášce č. 20/2012 Sb. Ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1 500 ppm (což je požadavek značně změkčený, původní limit byl 1 000 ppm). Je to jediný předpis, kde je CO₂ označen jako základní škodlivina. Přestože není cítit, velmi podstatně se podílí se pocitu pohody, únavě, nesoustředěnosti i drobných zdravotních potíží – viz tabulka 2.4.

Tabulka 2.4: Účinky CO₂ na lidský organismus

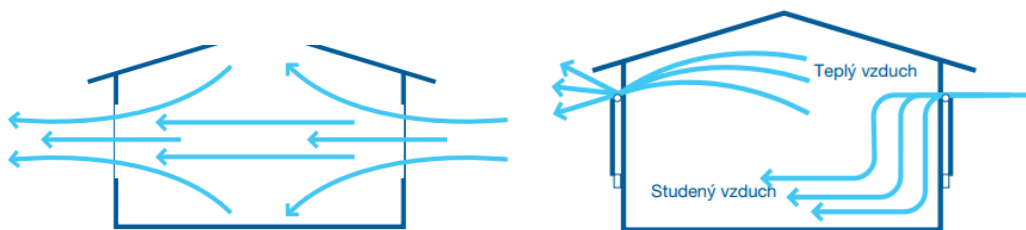
Koncentrace [ppm]	Účinky
cca 350	Úroveň venkovního prostředí
do 1 000	Doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 200 – 1 500	Doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 000 – 2000	Nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2 000 – 5 000	Nastávají možné bolesti hlavy
5 000	Maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5 000	Nevolnost a zvýšený tep
> 15 000	Dýchací potíže
> 40 000	Možná ztráta vědomí

2.2 Účel a způsoby větrání velkoprostorových budov

Ventilace je velice důležitá při zajišťování optimálního vnitřního prostředí pro lidi a pro ustájení zvířat nebo pěstování speciálních rostlin ve velkoprostorových halách. Pro správné navržení a řízení haly je nezbytné pochopení základních principů ventilace. Existují dva základní typy ventilace: přirozená ventilace a nucená ventilace.

2.2.1 Přirozená ventilace

Přirozené větrání je levné a nejpoužívanější, ale v létě málo účinné. Přirozené ventilace se deje účinkem větru a účinkem rozdílu teplot (rozdíl teploty je rozdíl hustoty vzduchu). Základní způsob je větrání otvory (okna, dveře, vrata). Přirozené větrání se většinou rozlišuje jako infiltrace, provětrávání, aerace a šachtové větrání (Nový a kolektiv, 2000).



Obrázek 2.1: Přirozené větrání.

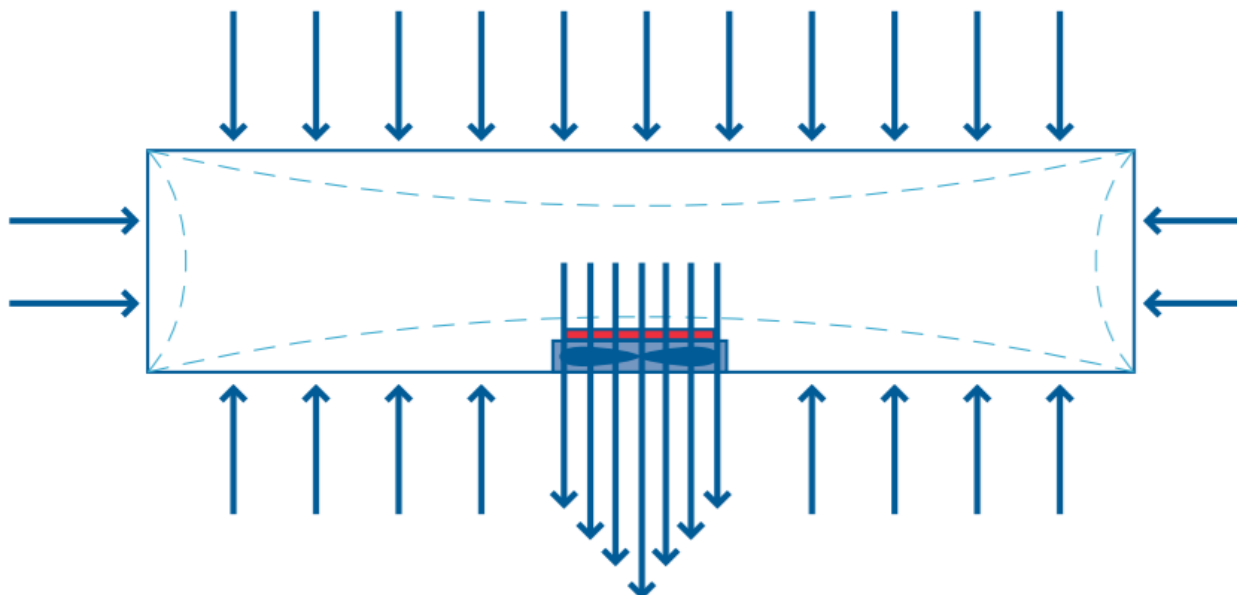
Zdroj: Junga, 2014

Běžné je využití přirozeného větrání rozdílem hustot vzduchu v halách s vnitřními tepelnými zisky (aerace). V těchto halách je celoročně vyšší teplota než teploty venkovního vzduchu a spodní otvory slouží pro přívod a horní pro odvod, v hale nejsou žádné další výrazné odpory pro proudění vzduchu. V zimních měsících je výrazně vyšší rozdíl teplot, a tudíž i účinný tlak a pro stejný požadovaný průtok vzduchu je možné využít menších otvorů, menší zimní přívodní otvory se většinou umísťují výše, aby se zmenšilo riziko průvanu v pracovní oblasti. Naopak velké přívodní otvory pro léto jsou u podlahy, kde se maximálně využije výška objektu, a vyšší rychlosti proudění jsou při vysokých teplotách v hale příznivé (Lain, 2009).

V objektech s nižší tepelnou zátěží dochází většinou během horkých letních dnů k opačnému proudění a vzduch je přiváděn horními otvory a odváděn spodními, protože teplota v objektu je nižší než teplota venkovního vzduchu. Optimální návrh a regulace

takového systému je poměrně náročná, protože teplejší venkovní vzduch může zahřívat budovu, ale zároveň větrání odvádí tepelné zisky. Pro budovy s velmi nízkými tepelnými zisky je většinou vhodnější větrání během dne omezit. Dynamická počítačová simulace může pomoci při hledání optimálního režimu (Lain, 2009).

2.2.2 Nucená ventilace



Obrázek 2.2: Nucené větrání.

Zdroj: Junga, 2014

Nucená ventilace používá k přivádění vzduchu do haly a k jeho proudění skrze objekt ventilátory. Nucená ventilace obvykle umožňuje mnohem lepší kontrolu rychlosti výměny vzduchu a vzorce proudění vzduchu, a to v závislosti na nastavení ventilátorů a přívodu vzduchu a typu používaného ovládání. Systémy nucené ventilace mohou využívat přetlak, podtlak nebo rovnotlak (Junga, 2014).

- **Větrání přetlakové** – objem přiváděného vzduchu větší než objem odváděného vzduchu: je vhodné pro objekty, do kterých nemá vnikat vzduch ze sousedních prostorů. Přetlakové větrání je typické nuceným přívodem vzduchu. Odtah je u tohoto systému zajišťován infiltrací (např. okny, světlíky, větracími štěrbinami).
- **Větrání podtlakové** – objem přiváděného vzduchu menší než objem odváděného: Vhodné pro objekty s vysokou produkcí škodlivin (průmyslové provozy, hygienická

zařízení, kuchyně apod.). Podtlakové větrání je typické nuceným odvodem vzduchu, přívod vzduchu je prostřednictvím otvorů (okenních, dveřních, ventilačních), větracích štěrbin apod. Přívod vzduchu má možnost regulace.

- **Větrání rovnotlaké** – objem přiváděného vzduchu je stejný s objemem odváděného vzduchu. Rovnotlaké větrání je nejvhodnější pro prostory s výskytem většího množství bariér (Junga, 2014).

2.2.3 Větrání zemědělských objektů

Zemědělské objekty mají systém větrání uzpůsoben tak, aby zajistil základní funkce:

- Přívod čerstvého vzduchu do dýchací zóny lidí i hospodářských zvířat.
- Odvod znehodnoceného vzduchu, škodlivých plynů a prachových příměsí z vnitřního prostředí budov.
- Odvod nadměrné vzdušné vlhkosti.
- Temperování či ochlazování ovzduší vnitřního prostředí budov (Junga, 2014).

Vzduch přiváděný do vnitřního prostředí zemědělských objektů se musí dostat do požadovaného prostoru v objektu a zajistit jeho odvětrání, ale zároveň nesmí dojít k překročení stanovených parametrů (zejména rychlosti proudění – vznik průvanu). Celková bilance výměny vzduchu je u stájových objektů několikanásobně větší v letním období oproti zimnímu období (Junga, 2014).

Proudění vzduchu je ve vnitřním prostředí ovlivňováno výskytem různých bariér jako např. samotná zvířata, skladované materiály, stavební konstrukce, strojně technologické zařízení apod. U zemědělských objektů se nejčastěji využívá kombinace přirozeného větrání (okna, větrací štěrby, větrací světlíky, větrací průduchy apod.) a nuceného větrání (ventilátory; jednotkové nebo centrální vzduchotechnické jednotky). Jednotkové vzduchotechnické (VZT) soustavy jsou obvykle tvořeny axiálními ventilátory (pro přívod či odvod vzduch) umístěnými v obvodovém plášti (stěny, střecha) (Junga, 2014).

Nucené větrání je typické pro větší, členité prostory s množstvím bariér a především tam, kde je požadavek intenzivní výměny vzduchu (např. vepřiny, haly pro slepice apod.) (Junga, 2014).

2.2.4 Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska větrání

Technologie chovu drůbeže, vnější klimatické podmínky a počasí ovlivňují vnitřní mikroklima v různých obdobích roku. Vyžaduje různé metody regulace ventilace (Kic a spol, 2007). Vytváření vnitřního prostředí v halách pro drůbežářství je komplikované zejména z důvodu vysoké biologické zátěže vnitřního prostředí, což je důsledkem velkého počtu kuřat na 1 m² podlahové plochy (Kic a spol, 2012).

Cílová teplota pro nejlepší brojlery během jejich růstu se liší a závisí na velikosti kuřete a dalších faktorech. To je obvykle kolem 30 °C. Nejnižší teplota v prvních dnech je téměř 20 °C (Henriksen a spol, 2002). Proto musí být ventilace nastavena odpovídající metodou pro udržení optimální teploty.

Ventilace je jediný praktický způsob, jak snížit velmi vysokou vlhkost, která je nejčastějším problémem v zimě a může ovlivnit zdraví kuřete. I když ventilace není nutná pro odstranění tepla, může být udržována na minimální úrovni, aby se zabránilo smáčení a vytvrzování podestýlky a problémům s čpavkem (Purswell a spol, 2012).

Při dýchání odebírají kuřata kyslík ze vzduchu a vydechují oxid uhličitý. Proto je nutné dodávat čerstvý vzduch pro výměnu kyslíku a odstraňování přebytku oxidu uhličitého. Větrání je nezbytné pro zajištění čerstvého vzduchu v průběhu roku v teplém i chladném počasí. Nejčastějším problémem kvality ovzduší je čpavek, který je způsoben velmi vlhkou podestýlkou. To způsobuje zdravotní problémy. Správná ventilace zabraňuje hromadění amoniaku regulováním relativní vlhkosti (Liu a spol, 2013).

Proto je potřeba při posuzování systémů hledat taková technická a provozní opatření, která budou přijatelná jak pro výkrm kuřat, tak i pro chovatele.

2.3 Účel a způsoby vytápění velkoprostorových budov

2.3.1 Vytápění velkoprostorových budov

Velkoprostorové budovy jsou skladové a logisticky, průmyslové, zemědělský, komunální, budovy pro sport a volný čas, kancelářské a správní budovy atd. jsou z hlediska vytápění specifické především svými rozměry. Mnohé nepříznivé ekonomické aspekty, hlavně výrazný nárůst cen energií, podněcují snahu o hledání nových alternativ ve všech oblastech techniky prostředí (Kotrbatý, 2012).



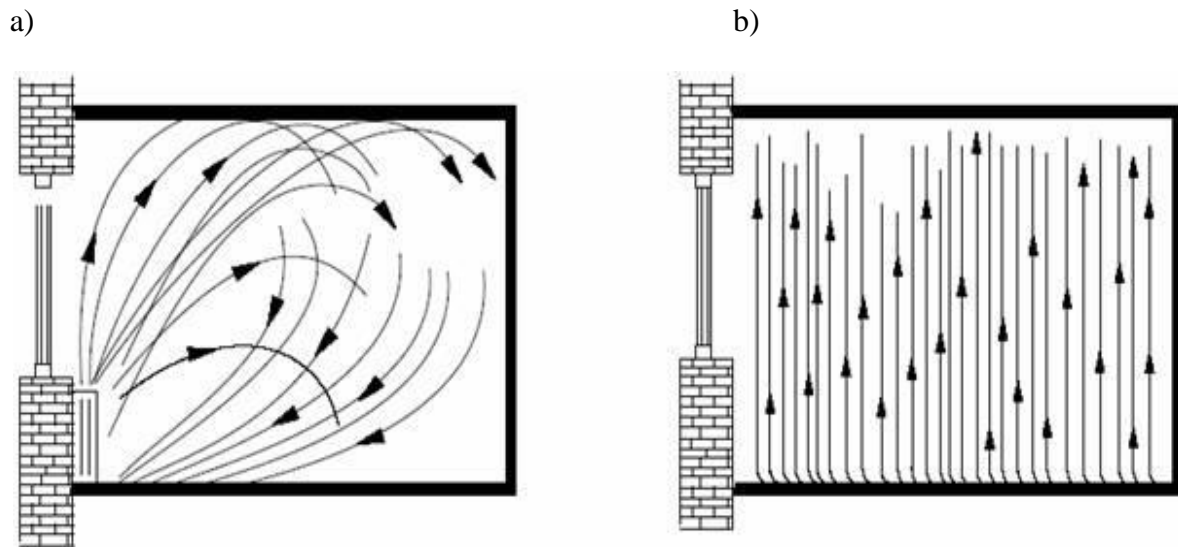
Obrázek 2.3: Zónové sálavé vytápění průmyslového haly.

Zdroj: Kotrbatý, 2012

2.3.2 Teplovodní podlahové vytápění

Teplovodní podlahové vytápění patří mezi sálavé soustavy, přičemž podíl sálavé složky na celkovém přenosu tepla z otopné plochy je jen o něco vyšší než tok tepla konvekcí (55 : 45 %). Zároveň to má pozitivní vliv na oba způsoby transferu tepla do interiéru (Cihelka, 1961).

Tepl vodní podlahové vytápění je současně velkoplošné, tj. otopné trubky jsou součástí podlahové konstrukce. Vzhledem k hygienickým požadavkům, které souvisejí s limitovanou povrchovou tepelnou podlahy a tím relativně nižšími měrnými tepelnými výkony otopné podlahové plochy. To mimořádně pozitivně ovlivňuje rovnoměrnost přenosu tepla v interiéru a napomáhá vytvářet teplotně homogenní uniformní prostředí ať už ve vertikálním nebo horizontálním směru (Petráš a Koudelková, 2001).



Obrázek 2.4: Schéma přenosu tepla

a) u podlahového vytápění; b) u konvenčního vytápění s otopnými tělesy.

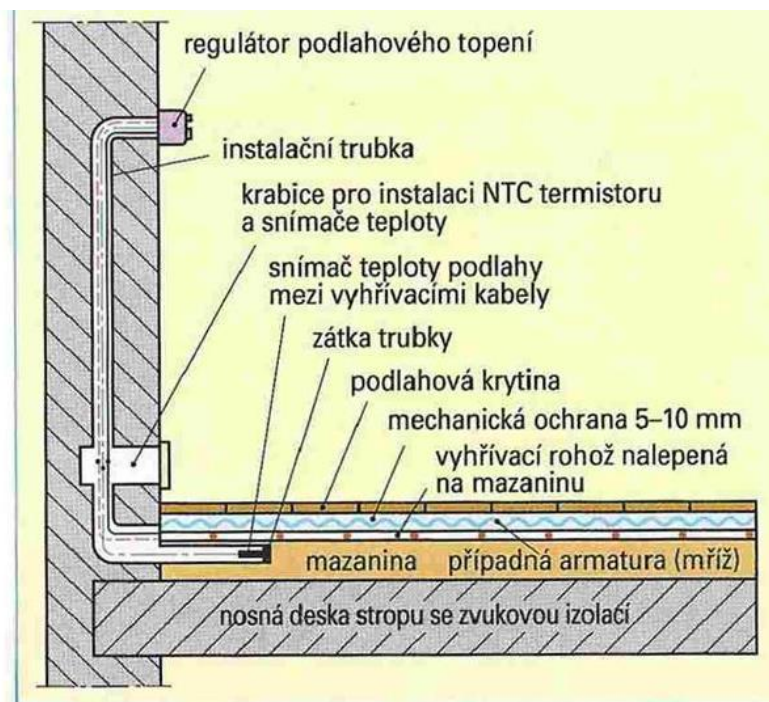
Zdroj: Petráš a Koudelková, 2001

Teplota otopné vody je obvykle nižší než $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, takže současně můžeme hovořit o teplovodním podlahovém vytápění jako o nízkoteplotním (Kraft, 1980), což má několik výhod. Jednak je to zabezpečení podstatných úspor tepelné energie při provozu, jednak možnost aplikace netradičních nízkopotenciálních energetických zdrojů, jako sluneční záření, energie geotermálních vod, případně tepelná čerpadla využívající prostředí (Petráš a Koudelková, 2001).

Právě tyto fakty zařazují teplovodní podlahové vytápění mezi progresivní otopné soustavy a garantují všechny tři E, tj. energetické, environmentální i ekonomické aspekty vytápění budov (Petráš a Koudelková, 2001).

2.3.3 Elektrické podlahové vytápění

Elektrické podlahové vytápění patří mezi lokální systémy vytápění. K příměrné energii v teple dochází a jeho přenos a odevzdání do prostoru se uskutečňuje v jedné kompaktní jednotce přímo ve vytápěné místnosti. Účinnost přeměny je téměř 100 %, bez zbytečných ztrát při transportu energie na místo spotřeby. Vytápění je ekologické, v lokalitě nedochází k žádnému znečištění životního prostředí. Není potřebný komín, sklad paliva ani prostor pro kotelnu či kotel. Rozvod elektrické energie v porovnání s jinými teplonosnými látkami je podstatně snazší a z hlediska investic levnější, s menšími zásahy do stavebních konstrukcí či nároky na prostor. Z hlediska šíření tepelného toku z podlahové otopné plochy do interiéru platí stejné zásady jako u teplovodního vytápění. Velkou výhodou vytápění elektrickou energií je možnost přesného měření u každého spotřebitele individuálně, což vede ke snaze snížit v rámci možností její spotřebu (Koudelková, 1999).



Obrázek 2.5: Základní konstrukce podlahové vytápění.

Zdroj: Kotrbatý, 1988

Možnosti využití elektrických systémů podlahového vytápění jsou velmi široké. Systém může zabezpečovat tepelnou pohodu jako základní zdroj tepla nebo sloužit jako doplňkové vytápění při temperování podlahy na příjemnou teplotu. Vzhledem k tomu, že vytápění může

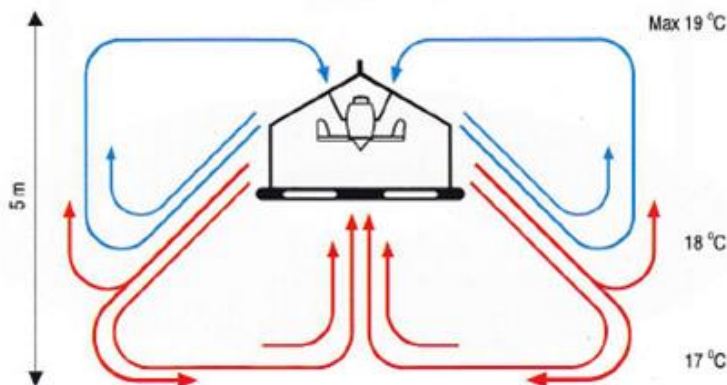
být provozováno s různými režimy vytápění, od čehož se odvíjí konstrukce podlahy a výkon zdroje tepla, systém je vhodný nejen do nově postavených objektů, ale je uplatňován i jako jedna z možností při rekonstrukci. Může být instalován do celé plochy podlahy nebo mohou být vytápěny pouze určité části. Protože nehrozí zamrznutí systému, je rovněž vhodný pro místnosti nebo objekty vytápěné pouze občasně. Spektrum aplikací systému elektrických prvků otopné soustavy lze shrnout do těchto oblastí:

- velkoplošné vytápění a temperování;
- ochranné systémy;
- speciální aplikace (Petráš a kolektiv, 2006).

2.3.4 Vytápění zavěšenými sálavými panely

Tvorba pracovního prostředí ve velkoprostorovém objektu musí vycházet z komplexního pohledu na danou problematiku. Není to jen otázka řešení mikroklimatických podmínek vytápěného interiéru, ale i otázka jejich vlivu na energetickou náročnost objektu, jakož i na hospodárnost celé tepelně technické soustavy včetně zdroj tepla a distribuční sítě (Petráš a kolektiv, 2006).

Existuje mnoho typů otopných soustav. Mají svoje výhody i nevýhody, ale jejich správným použitím vystupují výhody do popředí, zatímco nevýhody, které s sebou přinášejí, jsou naopak eliminovány. Při každém návrhu bychom ale neměli zapomínat na požadavek dnešní doby, a to zabezpečit člověku optimální stav vnitřního prostředí a zároveň dbát na minimální energetickou náročnost celé otopné soustavy (Petráš a kolektiv, 2006).



Obrázek 2.6: Sálavé vytápění.

Zdroj: ASHRAE, 1999

Otopná plocha sáláním odevzdává tepelný tok okolním ochlazovaným plochám interiéru bez prostřednictví vnitřního vzduchu. Účinná teplota okolních ploch $\theta_{r,m}$ je vždy vyšší než teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} . Sálavá otopná plocha je umístěna nejčastěji na stropě, popřípadě a stěnách v podobě zavěšených sálavých panelů nebo světlých a tmavých infrazářičů. Teplota vnitřního vzduchu je o tolik menší než účinná teplota okolních ploch, o kolik menší je tepelněizolační schopnost stavebních konstrukcí ohraničujících vnitřní prostor a o kolik nižší je teplota vnějšího vzduchu (ASHRAE, 1999).

2.3.5 Vytápění infračervenými plynovými zářiči

Tento způsob vytápění je jedním z nejvýhodnějších systémů díky principu dodávky tepla do prostoru. Dochází k přímému spalování plynu ve vytápěném prostoru a tím odstranění tepelných ztrát ve zdroji tepla a venkovních rozvodech. Ovšem aby bylo zcela využito všech výhod infračervených zářičů, je nutno brát v potaz všechny aspekty technologie a konstrukce. Nelze říci, že jen použití této technologie zaručuje x-procentní snížení nákladů. Infrazářiče mají mnoho technických a konstrukčních předností, stejně tak ale i několik záporů. Z návrhového hlediska vyžaduje princip dodávky tepla sáláním specifický přístup při projektování otopné soustavy, resp. rozmístování zářičů ve vytápěném prostoru. Špatně navržený projekt v kombinaci s nekvalitní konstrukcí výrobku může vést ke zcela opačným výsledkům při nákladech na vytápění (ASHRAE, 1999; Gabanyi, 1983).



Obrázek 2.7: Světlý infračervený plynový zářič – Tmavý infračervený plynový zářič.

Zdroj: Kotrbatý, 2006

Tepelná energie je do pracovní zóny dodávána sáláním. Dopadá na podlahu a ta se ohřívá. Od podlahy se ohřívá vzduch. Teplota vnitřního vzduchu stoupá s výškou objektu velmi pomalu ($0,3$ až $0,5 \text{ K}\cdot\text{m}^{-1}$). To má příznivý vliv na tepelnou ztrátu budovy. V podstřešním prostoru je teplota poměrně nízká, což je důležité, protože střešní plášť spolu se světlíkem je největší ochlazovanou plochou. Tepelná ztráta je tedy nižší než u soustav, kde se pod střešou tvoří teplý polštář vzduchu (teplovzdušné soustavy) (ASHRAE, 1999).

Zářiče se dělí podle způsobu spalování plynu a následného ohřevu činné otopné plochy na světlé a tmavé. Označení vychází z jejich vnějšího vzhledu. Světlé zářiče svítí díky vysoké teplotě při spalování plynu na povrchu keramických destiček, zatímco tmavé zářiče nemění barvu povrchu (Banhidi, 1976).

2.3.6 Vytápění lokálními elektrickými topnými tělesy

Vytápění lokálními topnými jednotkami znamená vytápění necentrálními elektrickými jednotkami umístěnými přímo ve vytápěném interiéru.

Rozdělení systémů elektrického vytápění:

- Podle časového využití:
 - Občasné: v přechodných obdobích mezi otopnými sezónami při náhlém poklesu teplot.
 - Trvalé: jako základní zdroj tepla.
- Podle způsobu odevzdávání tepla na systémy odevzdávání tepla:
 - Prouděním: prostřednictvím teplotonosného média (voda, vzduch) přes teplosměnnou plochu.
 - Sáláním: prostřednictvím elektromagnetických vln.
 - Vedením: prostřednictvím tuhé látky.
- Podle druhu tepelného zdroje:
 - Individuální: každá místnost má svůj zdroj tepla.
 - Ústřední: topná tělesa vhodná pro centrální vytápění z jednoho zdroje.
 - Velkoplošné: topná tělesa jsou uložena na povrchu nebo pod povrchem některé stavební konstrukce.
 - Kombinované: kombinace předcházejících systémů vytápění (dělené systémy).
- Podle hromadění a uvolňování energie v závislosti na čase:
 - Přímé: odběr elektrické energie, přeměna v teplo a vytápění probíhají současně.
 - Akumulační: přeměna elektrické energie v teplo a jeho uskladnění do tepelně izolovaného akumulčního média (voda, beton, šamot) a vytápění s časovým posunem.
 - Polo akumulční: kombinace předcházejících dvou systémů (Ražnjevič, 1964).

2.3.7 Lokální systémy elektrického vytápění

Z hlediska odevzdání tepelné energie je nevýhodnější umístit elektrické topné jednotky přímo v jednotlivých místnostech objektů. Odevzdání tepla vyrobené z elektřiny bez dalšího nosiče-zprostředkovatele přímo do místností. Děje se tak po nevyhnutelně potřebný čas a na

požadovanou teplotu v každé místnosti, resp. zóně, k čemu slouží vhodně zvolená regulace daného systému vytápění (Ražnjevič, 1964).

Nejpoužívanější typy individuálních systémů elektrického vytápění jsou elektrické konvektory a elektrické infrazářiče (světlé a tmavé sálavé panely).



Obrázek 2.8: Elektrický konvektor a elektrické sálavé panely.

Zdroj: www.tzb-info.cz

2.3.8 Teplovzdušné vytápění

Vytápění velkoprostorových objektů teplovzdušnými jednotkami je značně rozšířené, avšak převážná většina soustav (nástěnné soupravy vytápěné parou nebo vodou) pracuje velice neekonomicky. Kromě velkých spotřeb tepla se nedosahují požadované teploty v oblasti pobytu člověka. Je to dáno jednak nevhodnou distribucí vzduchu a jednak také nevhodným použitím v nadměrně vysokých halách. Výsledkem jsou vysoké teploty vzduchu pod střešním pláštěm (až $t_v = 30\text{ °C}$) a nevytápění v oblasti pobytu člověka. Teplovzdušné vytápění může být však ekonomické, avšak musí se dodržovat zásady, které respektují jednak principy dodávky tepla do vytápěného prostoru a jednak fyzikální podstatu chování teplého vzduchu. Přímotopné plynové jednotky mají navíc tu výhodu, že obraz proudění vzduchu je během celé otopné sezony konstantní-regulace dodávky tepla odstavováním jednotek z provozu = přerušované vytápění (Banhidi, 1976; Bill, 1980).



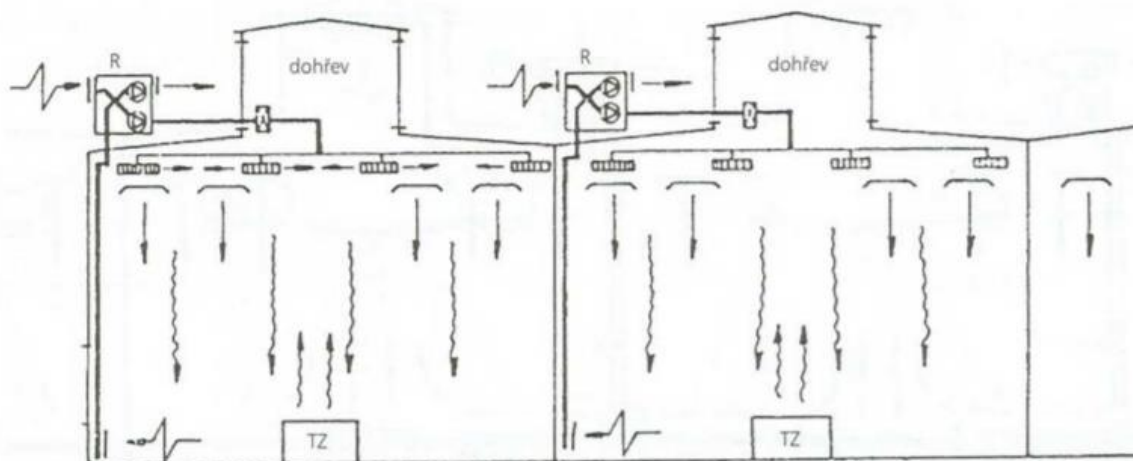
Obrázek 2.9: Vytápění haly teplovzdušnými jednotkami.

Zdroj: Kotrbatý, 2006

Princip teplovzdušného vytápění a větrání: Teplovzdušné vytápění je vzduchotechnický systém zajišťující vytápění haly přívodním vzduchem o vyšší teplotě, než má vzduch ve vytápěném prostoru, a také nutnou výměnu znehodnoceného vzduchu. Vzduch vstupuje do prostoru z vyústky velkou výtakovou rychlostí, aby byl dosah proudu co největší (min. 25 metrů). Tím ovšem dochází k víření prachu. Přiváděný vzduch se ohřívá na teplotu až 70 °C. Takto horký vzduch ale stoupá velmi rychle vzhůru a vytváří pod střešním pláštěm polštář teplého vzduchu (Banhidi, 1976; Bill, 1980).

2.3.9 Kombinované vytápění

Stejně jako probíhají koncepční změny charakterizující přechod od stavební velkovýroby a unifikace budov k různorodosti, díky novým technologiím, inovovaným materiálům a progresivním technickým řešením lze dnes navrhnout systém vytápění přímo na míru podle individuálních požadavků investora. Stále častěji tak dochází ke kombinaci různých systémů vytápění, které dokáží vhodně skloubit jejich výhody (Petráš a kolektiv, 2006).



Obrázek 2.10: Vytápění zavěšenými sálavými panely s přívodem větracího vzduchu vířivými výstřiky ve střešním prostoru, R – rekuperátor, TZ – tepelný zdroj.

Zdroj: Kotrbatý, 1988

Ve velkoprostorových budovách lze kombinovat systém sálavého vytápění s teplovzdušnou soustavou zajišťující distribuci větracího vzduchu, a to jak soustavou směšovací (stěnové výstřiky, trysky), tak vytěšňovací (zdrojové větrání). Efektivita větrání je však u směšovacího systému zhruba poloviční než efektivita systému zdrojového větrání, proto musí být při směšovacím systému větrání průtok větracího vzduchu dvojnásobný (ASHRAE, 1999).

2.3.10 Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska vytápění

Tepelná pohoda je stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení (ASHRAE, 1992). Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověk není ani chladno, ani příliš teplo – člověk se cítí příjemně (Cihelka a spol, 1975). Měření tepelné pohody je obtížné, protože je vysoce subjektivní (Petersen a Knudsen, 2017). Tepelná pohoda záleží na teplotě vzduchu, vlhkosti, sálavé teplotě, rychlosti vzduchu, rychlostech metabolismu a druhu oděvu. Každý člověk vnímá okolní prostředí trochu jinak na základě své fyziologie a stavu (Ghahramani a spol, 2014).

Tepelné zatížení zahrnuje vnější tepelné zatížení a vnitřní tepelné zatížení. Vnější tepelná zatížení vyplývají z přenosu tepla přes obvodový plášť budovy ze slunce, počasí a vnějšího

prostředí. Opláštění budovy zahrnuje střechy, podlahy, stěny, okna a jiné povrchy, které oddělují vnitřní a vnější okolí budovy. Opláštění budov spolu s externími tepelnými a produktovými vnějšími zisky nebo ztrátami budov se vzájemně ovlivňují (Bourdeau a spol, 2018; Kosny a spol, 2018).

Na základě těchto výsledků a výsledků dalších studií je třeba více zvážit posouzení a zlepšení podmínek vnitřního prostředí, zejména teplotních důsledků slunečního záření a konvekčního přenosu tepla.

2.4 Klimatizace

2.4.1 Aktivní klimatizace

2.4.1.1 Základní pojmy

Klimatizací se pro účely tvorby vnitřního prostředí, tj. interního mikro-klimatu budov rozumí úprava vzduchu sledující zajištění požadované čistoty, teploty a vlhkosti vzduchu v místnostech souborem technických prvků vytvářejících klimatizační zařízení (Hirš a spol, 2005).

Ve směrnici EPBD II (Směrnice Evropského parlamentu a Rady, 2010) konstatuje, že v posledních letech vzrostlo množství klimatizačních systémů v evropských zemích. To způsobuje značné problémy v dobách nejvyššího zatížení, zvyšuje náklady na elektřinu a narušuje energetickou rovnováhu. Prioritou by měly být strategie, které zlepšují tepelné vlastnosti budov během letního období. Pozornost by proto měla být zaměřena na opatření, která zabraňují přehřátí, jako je zastínění a dostatečná tepelná kapacita konstrukce budovy, a na další rozvoj a používání technik pasivního chlazení, zejména těch, jež zlepšují vnitřní mikroklimatické podmínky a mikroklimatické podmínky v okolí budov (Hirš a spol, 2005).

V případě, že prognóza tepelného chování prokáže, že navrženým řešením se přesáhne přípustná teplota, tedy po vyčerpání všech pasivních řešení, nezbyvá než připustit návrh systému chlazení, resp. klimatizace (Hirš a spol, 2005).

Klimatizační zařízení, které zajistí alespoň chlazení či vlhčení nebo alespoň odvlhčování je označována jako **dílčí klimatizace** (Hirš a spol, 2005).

Soubor technických prvků s výše uvedenými funkcemi tvoří **klimatizační systém**. Dle technického provedení a typických teplotnosných látek, které jsou primární pro tvorbu

interního mikroklimatu lze klimatizační systémy dělit na *vzduchové, kombinované a chladivové* (Hirš a spol, 2005).

Podle účelu lze klimatizační zařízení dělit na *komfortní a technologické*. Komfortní klimatizační zařízení slouží ke tvorbě mikroklimatu pro lidi pobývajících v určitém prostoru. Technologická klimatizační zařízení slouží k vytváření prostředí nutného k průběhu technologických procesů (Hirš a spol, 2005).

Klimatizace se používá k zajištění vnitřního prostředí (interního mikroklimatu) místností a budov s vyššími požadavky na jeho kvalitu zejména v letním období. Stává se nutností v budovách s velkým podílem zasklených ploch s vysokou tepelnou zátěží, a také v místnostech a budovách s vysokými nároky na pohodu prostředí, kde se stává běžným standardem. Klimatizace je nutná také ve výrobních budovách, pokud to vyžaduje průběh technologických procesů. Příkladem použití klimatizace v občanských budovách jsou divadla, konferenční sály, hotely, obchodní domy, restaurace, správní budovy apod. (Hirš a spol, 2005).

Nyní se označení „větrání“ a „klimatizace“ značně překrývají a mají nejasný význam, neboť komfortní větrání může obsahovat více úprav vzduchu a být koncepčně náročnější než celá klimatizace. Určité vodítko obsahuje tabulka 2.5 (Hirš a spol, 2005).

Nezbytná je klimatizace u místností s vysokou tepelnou zátěží, kterou nelze eliminovat vhodným stavebním řešením (kino, divadlo) (Hirš a spol, 2005).

Tabulka 2.5: Klasifikace systémů podle jejich funkce (Hirš a spol, 2005)

Kategorie systému VZT	Úprava vzduchu					
	Větrání	Filtrace	Ohřev	Chlazení	Zvlhčování	Odvlhčování
Čistě větrací systém	X					
Teplovzdušné větrání	X	X	X			
Teplovzdušné větrání s chlazením	X	X	X	X		
Dílčí systém klimatizace s chlazením oběhového vzduchu		X		X		
Dílčí systém klimatizace s chlazením a vlhčením	X	X	X	X	X	
Plná klimatizace (se všemi úpravami vzduchu)	X	X	X	X	X	X

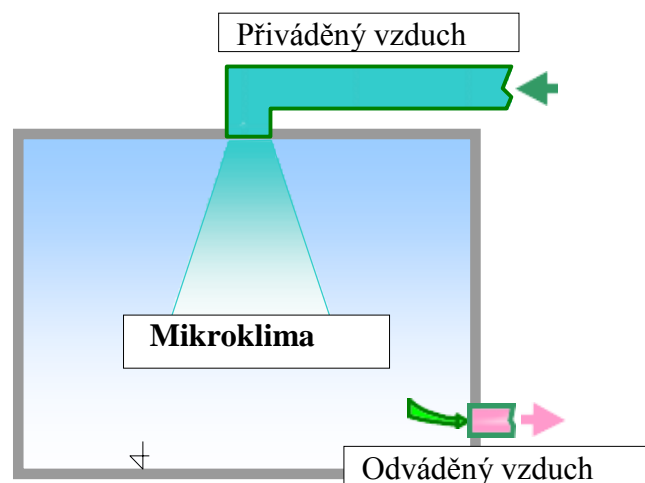
2.4.1.2 Charakteristika klimatizačních systémů

Vzduchové systémy

Vzduchové systémy představují klasická technická řešení. Teplonosnou látkou zprostředkující přenos tepla a chladu mezi zdroji a klimatizovanou místností k pokrytí tepelné zátěže a ztrát je vzduch vedený vzduchovody. Z důvodu malé tepelné kapacity vzduchu jsou k přenosu tepelné energie nutné větší průtoky. Z uvedené skutečnosti vyplývá, že k zajištění vnitřního prostředí jsou nutné větší výměny vzduchu v místnostech, s ní spojená vyšší rychlost proudění vzduchu vnitřním prostorem a zejména rozměrná potrubí vedená mezi místem úpravy vzduchu (strojovnou) a klimatizovanou místností. Vzduchové systémy se vyskytují v řadě variant provedení. Převažující systémy s ústřední strojovnou méně časté jsou systémy jednotkové. Užívají se zejména pro velké místnosti občanských a průmyslových budov (Gebauer a spol, 2005).

Vzduchové systémy existovaly dříve v provedení nízkotlakém nebo vysokotlakém. Vysokotlaké systémy s vysokou rychlostí a tím pádem tlakovou ztrátou se u nás neuchytily. Běžně se vyskytují systémy nízkotlaké, zejména ústřední, které slouží zároveň pro větrání

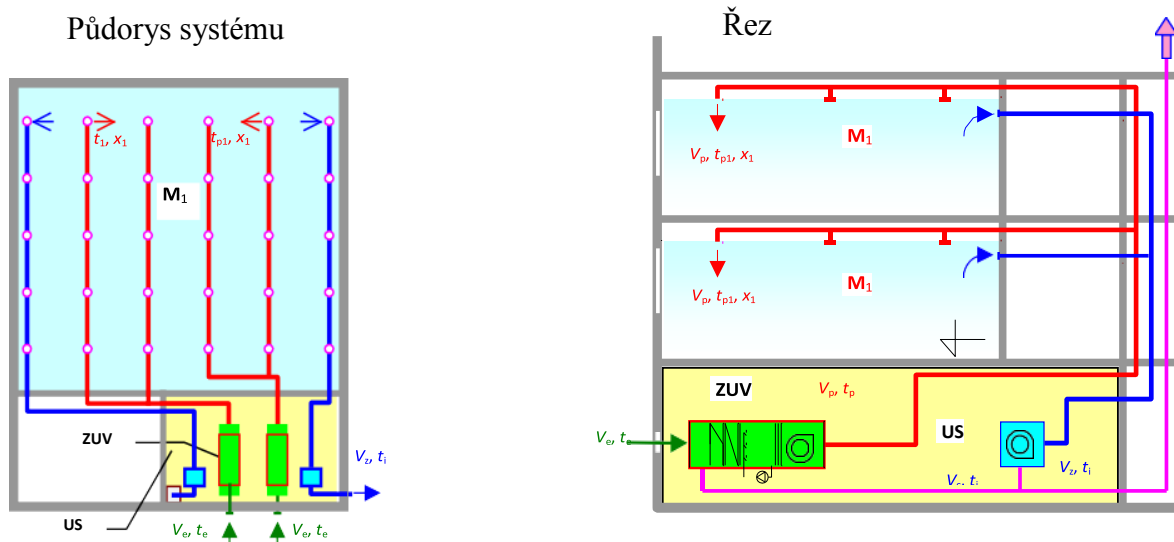
a tím jsou vhodné zejména pro shromažďovací prostory. Skládá se z VZT (vzduchotechnika a klimatizace) jednotky, potrubí a koncových elementů. Tento systém může obsluhovat více místností se stejnými nároky na prostředí a stejným průběhem tepelných zisků, vhodné je však použití pro jednu velkou místnost, jako např. kino nebo divadlo. Do klimatizované místnosti vede jediné přívodní potrubí, díky čemuž je tento systém nazýván také jednokanálový. Systém pracuje obvykle s konstantním průtokem přiváděného vzduchu. Tepelný výkon se reguluje změnou teploty přiváděného vzduchu (Gebauer a spol, 2005).



Obrázek 2.11: Základní schéma vzduchového systému.

Zdroj: Gebauer a spol, 2005

Úprava vzduchu formující interní mikroklima probíhá v zařízeních úpravy vzduchu (ZUV), tvořených zpravidla sestavnými klimatizačními jednotkami umožňujícími i aktuální zpětné využití tepla. Základní variantou technického řešení nízkotlakého ústředního vzduchového systému je klimatizační systém vzduchový jednokanálový. U tohoto řešení se upravený vzduch dopravuje do klimatizované místnosti jedním vzduchovodem. Systém pracuje obvykle s konstantním průtokem přiváděného vzduchu. Tepelný výkon se reguluje změnou teploty přiváděného vzduchu. Příklad technického řešení systému je na obrázku 2.12. Primárním funkčním zařízením systému je klimatizační jednotka. Schéma běžné sestavné ležaté jednotky uvádí modul BT02-06. Je tvořena funkčními elementy v konstrukci umožňující sestavit je ve sledu potřebném dle úprav vzduchu (Gebauer a spol, 2005).

**Legenda**

M₁ - interní mikroklima
US - ústřední strojovna
ZUV - zařízení úpravy vzduchu
V - objemový průtok vzduchu
t, x - teplota, měrná vlhkost vzduchu

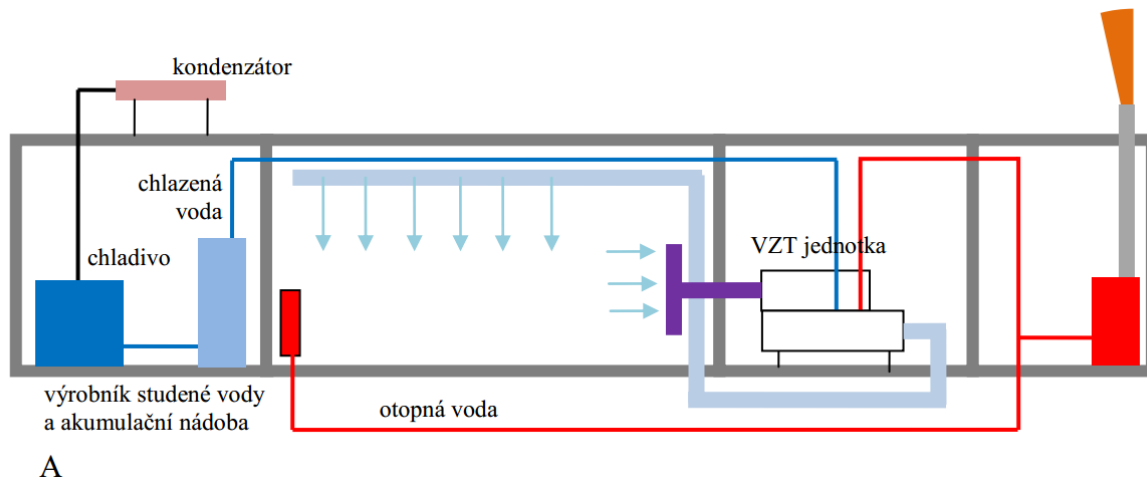
indexy veličin

e, i - vnější, vnitřní
 p - přiváděný
 c - cirkulační (oběhový)
 z - odváděný

Obrázek 2.12: Příklad ústředního vzduchového klimatizačního systému – Základní komponenty vzduchových systémů uvádí modul BT02-06.

Zdroj: Gebauer a spol, 2005

Z hlediska udržitelnosti je vhodné se zaměřit na energetické zdroje, na nichž je vzduchotechnika také bytostně závislá. Jednotlivé alternativy se liší zejména použitím různých zdrojů tepla nebo chladu, čímž jsou také různě náročné jak na primární energii, tak na náklady v rámci LCA. Podobně jako existují **zónové systémy** větrací, na stejné bázi fungují systémy klimatizační, kde každá samostatná větev, která obsluhuje soubor místností se stejným průběhem zisků, obsahuje výměník (chladič). Varianta provedení systému vzduchové klimatizace je na obrázku 2.13 (Rubinová, 2012).



Obrázek 2.13: Příklad vzduchové klimatizace s energetickými zdroji: Kotelna na plynná paliva nebo OZE, zdroj chladu s odděleným kondenzátorem.

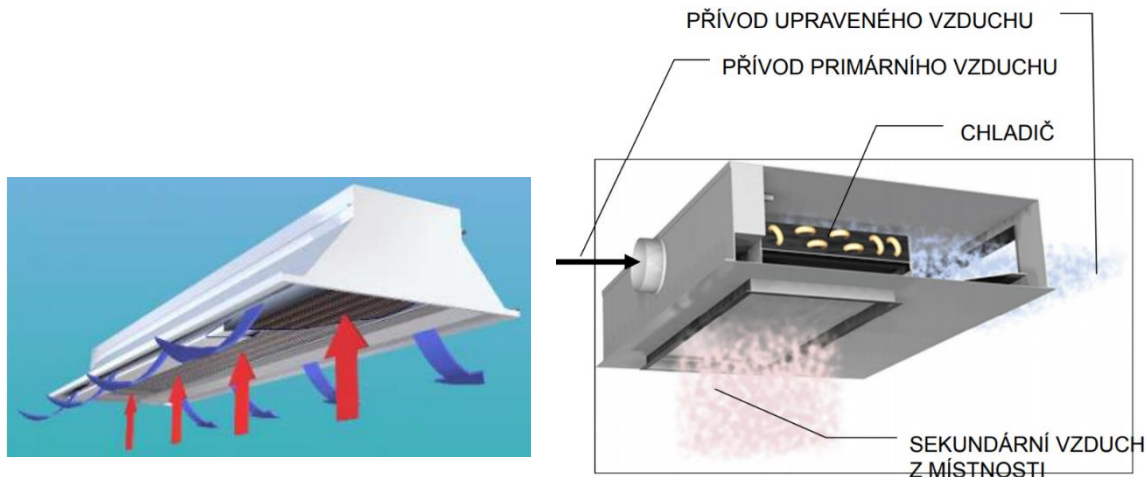
Zdroj: Rubinová, 2012

Pozn. Rozvody topné a chladicí vody, stejně jako chladiva, jsou schematicky znázorněny jednou čarou, přestože se jedná o uzavřené okruhy, takže potrubí je vždy přívodní a vratné. Vytápění je v případě A a B realizováno otopným tělesem (Rubinová, 2012).

Decentrální vzduchové klimatizační systémy mají prvky pro úpravu vzduchu rozmístěné v jednotlivých obsluhovaných místnostech, díky čemuž je možné každou místnost samostatně ovládat, což je zásadní výhoda těchto systémů. Mohou mít integrováno větrání, častěji je však větrání od klimatizace odděleno. Chlazení může být přímé (chladicí kompresorový okruh přímo chladí vzduch v místnosti) nebo nepřímé, tedy vodní (chladiivo kompresorového okruhu ochlazuje vodu). Tím, že jsou jednotky přímo v obsluhovaných místnostech, nevyžadují centrální strojovnu ani velkou potrubní síť (Rubinová, 2012).

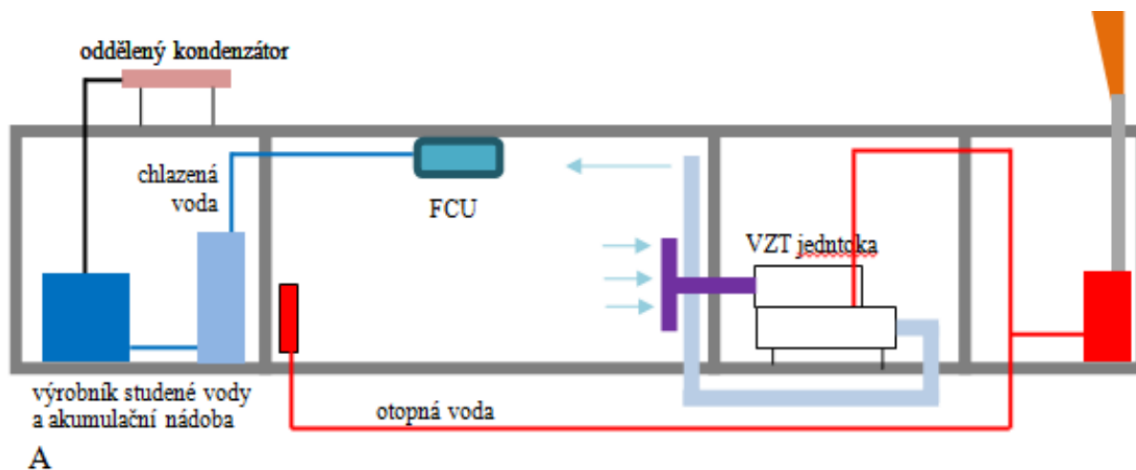
Zcela odděleně od větrání pracují jednotky fan-coil, které ke své funkci potřebují oběhový vzduch, někdy s příměsí vzduchu venkovního. V tom případě může být větrání i přirozené (Rubinová, 2012).

Atraktivní variantou zajišťující jak větrání, tak individuální chlazení je systém s indukčními jednotkami, což jsou v podstatě distribuční prvky pro přívod vzduchu s vodním výměníkem, chladičem. Příklady indukčních jednotek jsou na obrázku 2.14 (Rubinová, 2012).



Obrázek 2.14: Příklady indukčních jednotek k instalaci pod strop, použité na obrázku 2.15.

Zdroj: Rubinová, 2012



Obrázek 2.15: Příklad decentrální klimatizace s energetickými zdroji: Kotelna na plynná paliva nebo OZE, zdroj chladu s odděleným kondenzátorem a jednotky fan-coil, které jediné zajišťují chlazení prostoru. VZT zajišťuje větrání s ohřevem vzduchu.

Zdroj: Rubinová, 2012

Kombinované systémy klimatizace se vyznačují kombinovaným přenosem chladu a tepla k pokrytí tepelné zátěže a ztrát klimatizovaných místností. Zmíněný přenos u těchto systémů zprostředkuje voda a vzduch. Podstatnou část potřeb tepla a chladu přenáší voda. K větrání prostorů se upravený čerstvý vzduch dopraví potrubní sítí ze strojovny do koncových prvků osazených do jednotlivých klimatizovaných místností budovy. Dle koncových prvků základní provedení tvoří:

- kombinované indukční;
- kombinované s fan-coily;
- chladicí stropy (Hirš a spol, 2005).

Kombinované indukční lze obdobně jako v případě systémů s fan-coily dle rozvodu vody dělit do čtyř skupin. Kritériem dělení je rozvodná potrubní síť vody. Společným rysem všech variant indukčních systémů je rozvodná síť k přívodu primárního vzduchu do každé z indukčních jednotek (Hirš a spol, 2005).

Kombinované klimatizační systémy indukční se vyznačují tím, že nositeli tepelné energie ke tvorbě vnitřního prostředí budov je voda a vzduch. Voda umožní z důvodu svých přenosových vlastností minimalizaci hmotnostních toků látek nutných k přenosu tepla, a tudíž i profily potrubní sítě. Vnitřní prostředí se bezprostředně formují tzv. *indukční jednotky*. Jednotky jsou osazeny v klimatizovaných místnostech, napojeny na rozvod vody a rozvod tzv. *primárního vzduchu*. Jednotky svým provedením umožňují přísávání *sekundární vzduch*, kterým je oběhový vnitřní vzduch. Primární vzduch zajišťuje větrání místností a jeho průtok je dán minimální dávkou vnějšího vzduchu pro klimatizovanou místnost (Hirš a spol, 2005).

Další variantou je **chladicí strop**, což je velkoplošný výměník sdílející teplo radiací i konvekcí a odnímající citelné teplo z chlazeného prostoru. Mohou být uzavřené nebo otevřené. Plocha stropu je ochlazována vodou proudící v trubkách tvořících konstrukci chladicího stropu. Vhodná je kombinace chladicího stropu a přívodu hygienicky nutného množství vzduchu s regulací relativní vlhkosti vzduchu. U chladicích strojů je nutné hlídat, aby nedošlo ke kondenzaci vodní páry na jeho chladném povrchu. Tím je potřeba pracovat s vyšší teplotou chlazené vody, než je tomu u fan-coilů (Rubinová, 2012).

Otevřené chladicí stropy mají mezery mezi panely nebo nezakryté perforace v panelech, takže vzduch z prostoru může díky termickému vzlaku obtékat i zadní stranu chladicích elementů, což u zavřeného provedení není možné. Chladicí stropy a panely mohou působit, dle své instalace, jako segmenty, které jsou určeny pouze pro vymezenou oblast prostoru, např. nad pracovní místo, a mohou být nakloněny od roviny stropu. Jsou ze všech stran obtékány vzduchem z prostoru a mají proto větší výkony (Rubinová, 2012).

Chladivové systémy

Chladivové systémy lze charakterizovat specifickým přenosem chladu a tepla k pokrytí tepelné zátěže klimatizovaných místností. Teplonosnou látkou k přenosu tepelné energie mezi zdrojem a klimatizovanou místností k pokrytí tepelné zátěže nebo tepelných ztrát tvoří **chladio** umožňující přenos tepla pomocí skupenských změn. Systémy pracují běžně v režimu chlazení, některé mohou sloužit vytápění v režimu provozu tepelného čerpadla. Systémy umožňují „čerpání tepla“ mezi místnostmi s kladným a negativním tepelným potenciálem (Hirš a spol, 2005).

Chladivové systémy představují moderní variantu klimatizace administrativních budov, hotelů i bytového prostředí. Vyrábí se ve variantách od jednoduchého systému pro jednu klimatizovanou místnost po rozsáhlé soustavy stovek místností. Tato variabilita je velkou předností chladivových systémů. Mají hospodárný provoz a zpravidla umožňují v létě chlazení a v zimě vytápění, u technicky nejdokonalejších systémů je možné provozovat režim chlazení a vytápění současně (Hirš a spol, 2005).

Chladivové systémy se vyznačují chladicím zařízením děleným a tvoří tzv. „split“ systém s jednou vnější a vnitřní jednotkou nebo s více vnitřními jednotkami. Vnější a vnitřní jednotky jsou vzájemně spojeny potrubím k cirkulaci chladiva. Chladivé potrubí velmi subtilní a tím prostorově nenáročné. Součástí vnitřní ventilátorové jednotky je výparník ve funkci chladiče vzduchu. Vnější jednotka je zpravidla umístěna ve venkovním prostoru obsahuje kompresor a vzduchem chlazený kondenzátor (Hirš a spol, 2005).

Tyto systémy nezajišťují větrání, vnitřní jednotky pracují pouze s oběhovým (cirkulačním) vzduchem. Ve speciálních případech umožňují některé vnitřní jednotky připojení potrubí s přívodem venkovního (upraveného nebo neupraveného) vzduchu (Hirš a spol, 2005).

Chladiva jsou regulovanou látkou, podléhají kontrole, neboť ve větší či menší míře poškozují ozónovou vrstvu Země a přispívají ke skleníkovému efektu. Podle aktuálních předpisů musí být každé zařízení s náplní chladiva větší, jak 3 kg každý rok kontrolováno pověřeným revizním technikem z hlediska úniku chladiva (Hirš a spol, 2005).

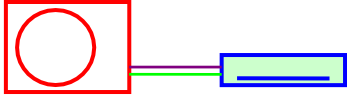
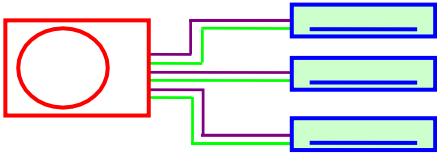
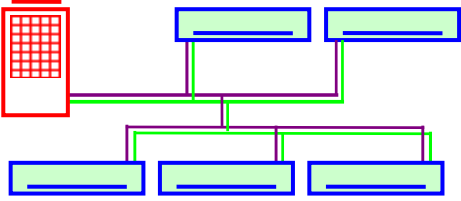
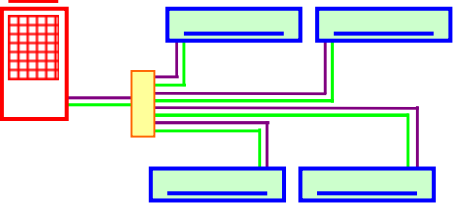
Díky tomu, že do chladicího oběhu nejsou vloženy žádné další okruhy jako např. u vodního chlazení, dosahují chladivové systémy vysokého chladicího faktoru a mají

úspornější provoz. Ve srovnání s vodními systémy odpadají rozměrné a těžké akumulární nádoby, hydraulické vyvážení rozvodů chladné vody apod. (Hirš a spol, 2005).

Chladivové systémy lze rozdělit do těchto základních skupin:

- **Split** – systém skládající se z jedné vnitřní a jedné venkovní jednotky. Výkon kompresoru se reguluje 0/100 % – zapnuto/vypnuto, nebo plynule, tato technologie se nazývá invertorová.
- **Multisplit** – systém skládající se z několika (zpravidla od 2 do 4) vnitřních jednotek a jedné jednotky venkovní. Vnitřní jednotky pracují ve stejném režimu, každá vnitřní jednotka je ovládána samostatně. Výkon kompresoru se reguluje 0/100 % zapnuto/vypnuto.
- **Multisplit s proměnným průtokem chladiva** (obchodní označení VRV, VRF, MRV) – systém skládající se z několika (podle velikosti od 2 až do 40) vnitřních jednotek a jedné jednotky venkovní. Výkon kompresoru je plynule řízen frekvenčním měničem (inverter).
- **Multisplit s proměnným průtokem chladiva s přečerpáním tepla** (VRV, VRF), někdy také označované se zpětným získáváním tepla. Jedná se o předchozí variantu, která je doplněna o prvky umožňující distribuci tepelné energie mezi jednotlivými vnitřními jednotkami. Tím mohou některé vnitřní jednotky být v režimu vytápění a jiné současně v režimu chlazení (Hirš a spol, 2005).

Z tohoto výčtu je zřejmé, že chladivové systémy jsou vhodné jak pro klimatizaci jediné místnosti, tak ve vhodné konfiguraci pro klimatizaci rozsáhlé budovy s několika sty místnostmi. Systém umožňuje individuální regulaci teploty v každé klimatizované místnosti. Chladivové systémy se stále technicky zdokonalují, proto členění na jednotlivé typy již není výstižné, systémy se v některých parametrech překrývají (Hirš a spol, 2005).

	
(mono) split	multisplit
	
Multisplit s proměnným průtokem chladiva	Multisplit s proměnným průtokem chladiva a přečerpáním tepla

Obrázek 2.16: Schéma základních typů chladivových systémů.

Zdroj: Hirš a spol, 2005

2.4.2 Pasivní klimatizace budov

„Pasivní“ solární design zahrnuje použití přirozených procesů pro vytápění nebo chlazení, aby bylo dosaženo vyvážených vnitřních podmínek. Tok energie v pasivním designu je přirozenými prostředky: záření, vedení nebo konvekce bez použití jakéhokoli elektrického zařízení. Udržení komfortního prostředí v budově v horkém podnebí spočívá ve snížení rychlosti tepelných zisků do budovy a podpoře odstranění přebytečného tepla z budovy. Pro zabránění vniknutí tepla do budovy nebo odejmutí, jakmile vstoupí do budovy, je základním principem pro chlazení v koncepcích pasivního chlazení. To závisí na dvou podmínkách: na dostupnosti chladiče, který je při nižší teplotě, než je vnitřní vzduch, a na podpoře přenosu tepla směrem k dřezu (Kamal, 2012).

Techniky pasivního chlazení mohou snížit špičkové chladicí zatížení v budovách, čímž se zmenší velikost klimatizační zařízení a dobu, po kterou je obecně požadováno (Kamal, 2012).

Efekt stromů a zeleně

Rostliny mají naopak příznivý vliv na teplotu vzduchu a intenzitu záření, jak v interiéru budov, tak v jejich okolí. Rostliny, především stromy pohlcují značnou část slunečního záření listy, pohlcená energie se částečně využije pro fotosyntézu (možno zanedbat), částečně se předá do okolí ve formě vázaného tepla (odpar vody z pórů rostliny) a částečně se předá do okolí ve formě tepla citelného. Rozhodující pro výslednou bilanci je množství vody odpařené z povrchu listů, které způsobuje snížení teploty vzduchu. Z povrchu listů s otevřenými póry se odpaří 50 až 70 % vody jako z vodní hladiny o stejné ploše, při stejných klimatických podmínkách (Santamouris a Asimakopoulos, 1996). Měření efektu stromů u dvou domů v Sacramentu v Kalifornii v roce 1992 ukázala, že stínění a ochlazování vzduchu stromy v blízkosti budov vedlo ke snížení spotřeby energie na chlazení o 30 % (3,6 až 4,8 kWh/den) a snížení maximální spotřeby elektrické energie o 0,6 a 0,8 kW (27 % a 42 %) (Akbari, 2005). Výsadba stromů a rozšíření parků má významný vliv na snížení výše zmiňovaného efektu městských tepelných ostrovů, v průměru můžou stromy snížit odpolední letní teploty ve městech o 0,3 až 1 K v některých případech i o 3 K (Akbari, 2005). U listnatých stromů je příznivé i opadání listů v zimním období, kdy není stínění v našich klimatických podmínkách žádoucí. Listnatý strom má v létě propustnost slunečního záření 15 až 30 %, a v zimě 55 až 65 % (Santamouris a Asimakopoulos, 1996). Pro chlazení budov jsou rozhodující dva efekty stromů a rostlin – stínění a snížení teploty vzduchu adiabatickým odpařováním vody z listů; třetí vliv, který také hraje určitou roli, je rostlina jako překážka při proudění větru. Kromě toho existují i další příznivé vlivy stromů a rostlin, jako je přeměna CO₂ na kyslík, pohlcování smogu, tlumení hluku a v neposlední řadě vytváření lidem příjemného prostředí. Pro detailní řešení vlivu zeleně existují modely založené na bilanci vázaného tepla sdíleného konvekcí a sáláním. Bilance vázaného tepla lze řešit podle vztahu uvedených v zahraniční literatuře (Levinson, 1997).

Stínění budovy, oken

Základním prvkem pasivních budov z pohledu chlazení je snížení tepelné zátěže radiací okny. K neúčinnějším možnostem patří vnější stínění oken. Stínění je možné zajistit pevnými či pohyblivými prvky, žaluziemi, roletami, markýzami, či slunolamy (Allard a spol, 2003).

Sluneční geometrie

Poloha slunce je dána slunečním azimutem a (úhel slunečního paprsku od směru sever) a výškou slunce nad obzorem h (úhel, pod kterým pozorovatel vidí slunce nad obzorem), oba tyto úhly závisí na sluneční deklinaci δ (zeměpisná šířka s kolmým dopadem paprsků ve 12 hodin slunečního času). Vztahy pro výpočet polohy slunce jsou všeobecně známé a hojně publikované (Nový a kolektiv, 2000) proto je není třeba uvádět.

Stínící prvek by měl být navržen tak, aby v době vysoké intenzity dopadajícího záření byla okna plně zastíněna. Za předpokladu vodorovného stínícího prvku lze určit délku stínu (ČSN 730548) ze vztahu:

$$E = C \cdot \frac{\tan(h)}{\cos(a-\gamma)} \quad (2.1)$$

kde:

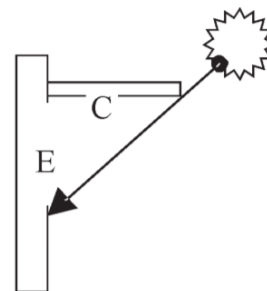
E - délka stínu [m],

C - hloubka stínícího prvku [m],

h - výška slunce nad obzorem [°],

a - sluneční azimut [°],

γ - azimut normály stěny [°].



Obrázek 2.17: Schéma délky stínu.

Zdroj: Lain, 2009

Přirozené větrání

Budovy s přirozeným větráním (bez ventilátorů), které je využíváno na odvod tepelné zátěže v letních měsících jsou často zahrnovány mezi budovy s pasivním chlazením. Přirozené větrání bylo uvedeno v kapitole 2.2.1.

2.4.3 Podnebí a klimatizace ve Vietnamu

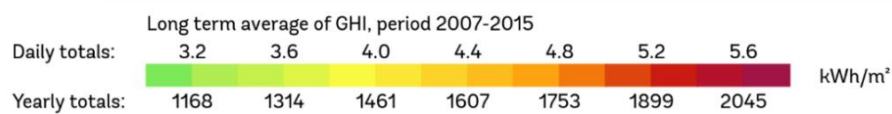
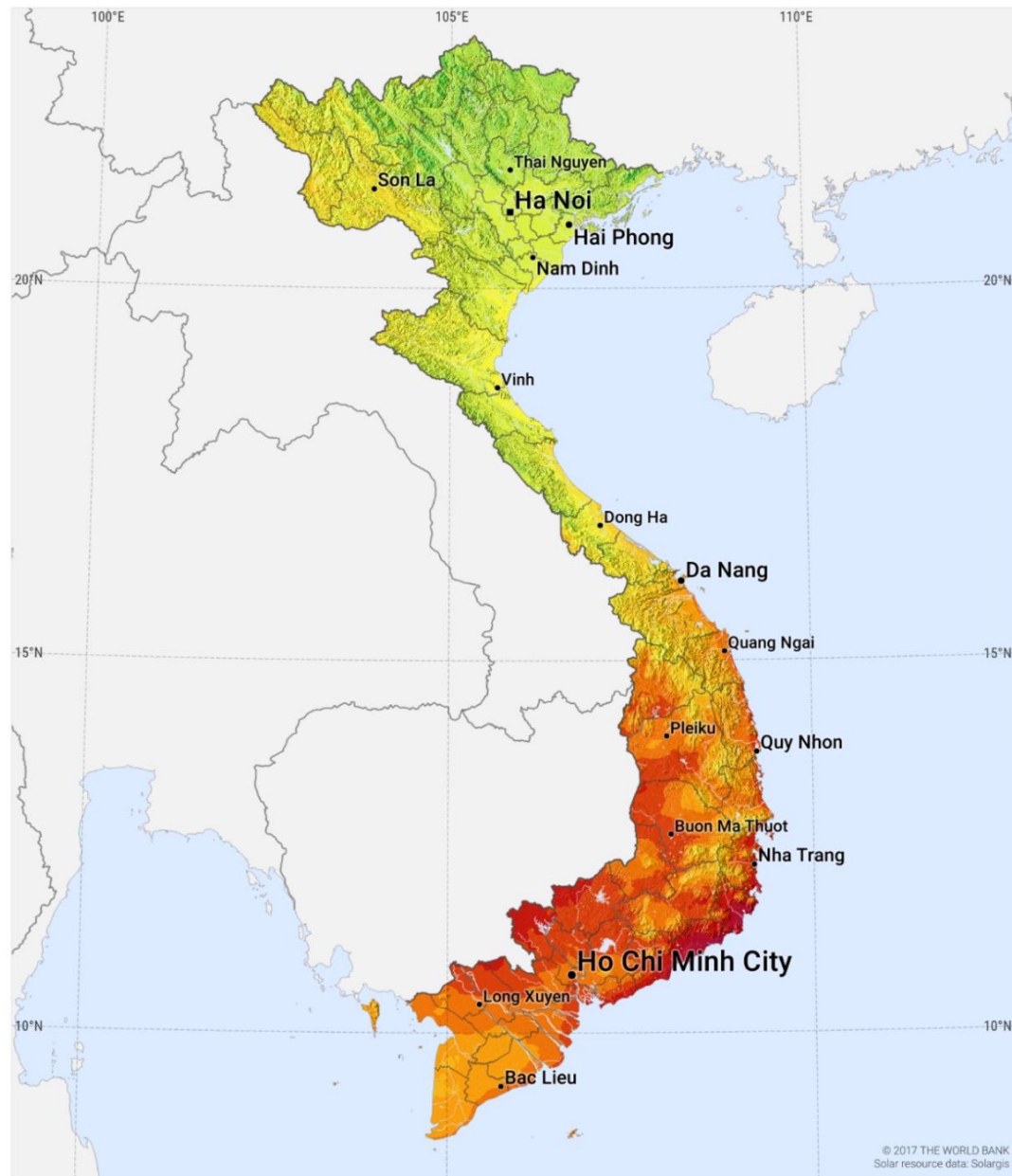
Vietnam obecně má tropické monzunové klima (Ministerstvo výstavby Vietnamu, 2009). Území Vietnamu je lokalizováno v tropech, v jihovýchodním okraji asijského kontinentu, hraničící s východním mořem (část Tichého oceánu). Klima Vietnamu je silně ovlivňováno pasáty, které často foukají v nízkých zeměpisných šířkách.

Obecně lze Vietnam považovat za zemi s vysokým potenciálem solární energie. Sluneční zdroje jsou srovnatelné se zeměmi jako Itálie, Španělsko a Kalifornie nebo v asijském regionu – Čína nebo Thajsko. Podle globálního solárního atlasu (Global Solar Atlas) vykazují celkové solární zdroje ve Vietnamu průměrnou hodnotu GHI ve výši $3,2 - 5,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ ve většině oblastí jižního, centrálního a částečně i severního Vietnamu (což odpovídá $1\,168 - 2\,045 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Je vyšší než solární energie v ČR (odpovídající $1\,000 - 1\,200 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$), kterou můžeme vidět na mapě solárních zdrojů globálního horizontálního záření (GHI) na obrázku 2.18 a 2.19.

SOLAR RESOURCE MAP

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

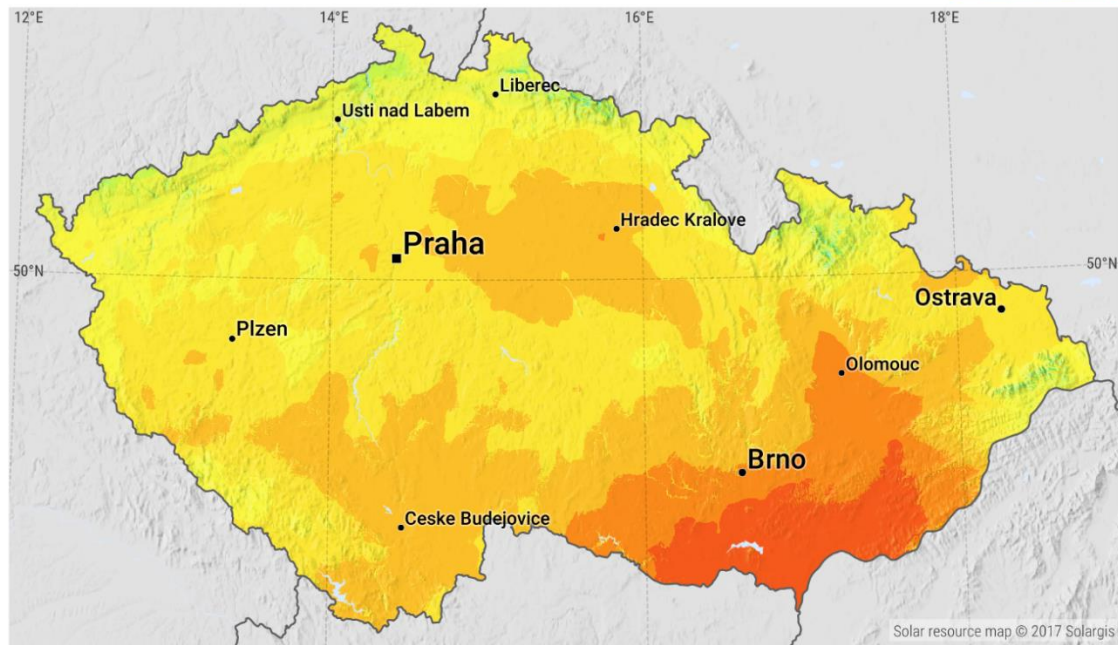
VIETNAM



Obrázek 2.18: Mapa globálního horizontálního záření ve Vietnamu.

Zdroj: Global Solar Atlas

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION CZECH REPUBLIC

Average annual sum of GHI, period 1994-2016



Obrázek 2.19: Mapa globálního horizontálního záření v České republice.

Zdroj: Global Solar Atlas

Ve Vietnamu mají přirozené větrání a přímé chlazení odpařováním téměř stejnou účinnost chlazení. Přímé odpařovací chlazení vyžaduje sofistikované vybavení a může zvýšit vlhkost vzduchu a růst plísní na stěnách a oděvu. Přirozené větrání je nenákladné, snadno se aplikuje a poskytuje dobrou kvalitu vnitřního vzduchu, ale silně závisí na přirozené konfiguraci větru a budov a také na jeho umístění. Vzhledem k tomu, že Vietnam má horké a vlhké klima, přirozené větrání ve většině případů by bylo lepší volbou pro pasivní chlazení, protože zvýšení vlhkosti vzduchu způsobené přímým chlazením odpařováním je méně vhodné pro vlhké podnebí. Pasivní solární systém nemá vysokou účinnost, protože nemůže ukládat sluneční energii pro noční vytápění. Aktivní systém s tepelnou energií a tepelným výměníkem může fungovat lépe i v noci nebo za zatažených podmínek. Úplné spoléhání se na pasivní řešení pro udržení lidského pohodlí není ve Vietnamu proveditelné, ale je zde významný potenciál zlepšení komfortu (Nguyen, 2011).

2.4.4 Úvod k tvoření dílčích cílů práce z hlediska klimatizace

Důležitým prvním krokem k úspěšným strategiím pasivního designu je pochopení toho, kde se v návrhu získává a ztrácí tepelná energie (Walikewitz a spol, 2015; Nazarian a Kleissl, 2016). Když je horko a slunečno, použití správně navržených odstínů budovy a oken s nižšími hodnotami propustnosti solárního záření i součinitele prostupu tepla mohou být velmi důležité ke snížení zátěže ze slunečního záření. Na druhé straně, v chladném klimatu nebo v zimě, je často žádoucí zachytit tuto volnou sluneční energii nějakým způsobem (Tybl a Kic, 2016).

Vliv venkovního klimatu na vnitřní klima, zejména v letním období, byl dobře prozkoumán (Quinn a spol, 2014). Vnitřní teplota je ovlivňována především venkovním prostředím, ale její denní průběh je omezen fyzikálními vlastnostmi budovy (Höppe, 1993). Když přímé sluneční záření vstupuje do místnosti skrz okna, je třeba zvážit dodatečné tepelné zatížení (La Gennusa a spol, 2005). Vysoká průměrná teplota vzduchu a sluneční záření v létě naznačují, že dominantní bude poptávka po chlazení. Vítr během roku nabízí velký potenciál pro pasivní chlazení a zlepšení kvality vnitřního prostředí (Fleury, 1980; Bahadori, 1986).

Na základě těchto výsledků a výsledků dalších studií je nutno více hodnocení způsobů použitého pasivního chlazení ke zlepšení podmínek vnitřního prostředí. V některých případech, použití pasivní klimatizace by mohlo snížit spotřebu energie pro aktivní chlazení vzduchu, zejména použitím žaluzií a zastíněním stromy budov, které byly částečně zkoumány a hodnoceny.

3 Cíl práce

Obecným cílem disertační práce je provést teoretický rozbor a provést experimentální měření v podmínkách velkoprostorových budov, s cílem optimalizace vnitřních podmínek a minimalizace spotřeby energie. Získané závislosti ověřit v praxi a uvést do souvislosti s hygienickými předpisy pro pracovníky a s technologickým režimem provozu budovy. Na základě získaných poznatků zpracovat podklady pro praktické využití v projekční činnosti.

Smyslem experimentální práce a měření bylo potvrzení či vyvrácení třech následujících hypotéz:

Hypotéza 1: Změna stavebních konstrukcí, technických a provozních parametrů velkoprostorových budov povede k optimalizaci vnitřních podmínek stávajících provozů.

Pro ověření této hypotézy budou analyzovány a vzájemně porovnány různě situované a variantně řešené velkoprostorové objekty. V rámci řešení budou analyzovány konstrukční prvky stavby a vzduchotechnické zařízení s respektováním hygienických požadavků pro daný interiér.

Hypotéza 2: Uplatněním vhodných stavebních konstrukcí lze upravit vliv venkovního prostředí na vnitřní podmínky v objektu, zlepšit parametry tepelné pohody prostředí a ušetřit energii.

Pro ověření této hypotézy bude provedena analýza závislosti mezi stavební konstrukcí a optimalizací vnitřních podmínek s minimalizací spotřeby energie. Souvislosti s hygienickými předpisy pro pracovníky a s technologickým režimem provozu budovy budou ověřeny v praxi.

Hypotéza 3: Snížení tepelných zisků z venkovního prostředí pomocí zastínění stromy, žaluziemi v kombinaci s větráním a zlepšením tepelné izolace střechy přispěje k dosažení tepelné pohody ve velkých budovách.

Pro ověření této hypotézy bude provedena analýza účinnosti zastínění několika druhů stromů a žaluzií ke snížení slunečního záření, které má dopad přímo na stěny a prosklená okna velkých budov. Dále bude vypočítána tepelná bilance střechy a ověření možnosti lepšího řešení tepelné izolace velkoprostorových budov.

V rámci řešení disertační práce bude výzkumná činnost zaměřena na několik typů velkoprostorových budov. První oblast výzkumu je plánována v halách využívaných

v zemědělství na farmách živočišné výroby. Druhou skupinu tvoří haly typické pro průmyslové, dílenské a servisní činnosti. Další výzkum zahrnuje ostatní velkoprostorové objekty, jako jsou např. velké výukové prostory, tělovýchovná zařízení apod. K dosažení hlavního cíle je potřeba prozkoumat řadu následujících dílčích cílů.

3.1 První cíl

Základem v tomto prvním cíli bylo proměřit a vyhodnotit současné i zkoumané situace stavebních konstrukcí, technických a provozních parametrů k hledání optimálního prostředí výkrmu kuřat nebo na zajištění tepelné pohody a přijatelné kvality vnitřního ovzduší v obytných budovách. Řešení toho cíle bylo rozděleno do dvou dílčích cílů, které jsou popsány níže.

3.1.1 První dílčí cíl prvního cíle

Prvním dílčím cílem práce bylo provést měření a vyhodnocení vnitřních prostředí v několika sportovních halách pro výcvik a soutěže studentů. V rámci tohoto dílčího cíle jsou měřeny a vyhodnocovány hlavní parametry vnitřních a vnějších vlastností klimatu. Rovněž byla měřena a analyzována stavba společně s technologickými zařízeními, která mohou ovlivnit mikroklimatické podmínky uvnitř budovy. Během sportovních aktivit v místnostech lidé dýchají velmi intenzivně a množství jejich tepelného záření je větší než při běžných činnostech. Výsledky praktických měření ukazují na důležitost systému HVAC (z anglického Heating, ventilation and air conditioning – Topení, větrání a klimatizace) pro zajištění tepelné pohody a přijatelné kvality vnitřního ovzduší v obytné budově v průběhu sportovních aktivit.

3.1.2 Druhý dílčí cíl prvního cíle

Další částí tohoto prvního cíle bylo proměřit a vyhodnotit současné i zkoumané situace stavebních konstrukcí, technických a provozních parametrů k hledání optimálního prostředí výkrmu kuřat.

Základem v tomto dílčím cíli je numerická analýza větrání haly pro výkrm brojlerů v létě. Rychlost průtoku vzduchu ve větraném prostoru bude řešena pomocí matematické simulace. Pro výzkum průtoku vzduchu, předpovědi očekávané rychlosti a teploty vzduchu bude použit

software CFD (dynamika počítačové tekutiny) Fluent. Budou sledovány také účinky změny geometrie prostoru a vnější teploty, koncentrace oxidů uhlíku, čpavku a prachu v hale. Zkoumané výsledky programu Fluentu týkajících se teplot a geometrie pro umístění ventilačních systémů budou porovnány, účinky a výsledky v klimatických podmínkách budou vyhodnoceny.

3.2 Druhý cíl

Druhým cílem disertační práce byla analýza závislosti mezi optimalizací vnitřních podmínek a minimalizací spotřeby energie. Pro obsáhlost druhého cíle došlo k rozdělení do dvou dílčích cílů, které jsou popsány níže.

3.2.1 První dílčí cíl druhého cíle

Smyslem prvního dílčího cíle je provést měření, výpočetní metody pro analýzu a vyhodnocení klimatických podmínek a využití přírodního osvětlení ve dvou velkých jednoduchých budovách v létě, které by mohly být použity pro výpočet spotřeby energie pro chlazení a snížení vnitřní teploty způsobenou slunečním zářením. Cílem metody výpočtu je analýza vnitřních podmínek ve velkých jednoduchých budovách pro pracovníky během několika letních dnů.

3.2.2 Druhý dílčí cíl druhého cíle

Úkolem technického řešení v tomto dílčím cíli bylo popsání principů a metod výpočtů tepelné bilance v zimě, které mohou být užitečné pro hodnocení a zlepšení přenosu tepla v budovách. V rámci řešení práce budou použity vzorce pro výpočet požadované kapacity vytápění ve dvou dílnách pro udržení standardní vnitřní teploty (od 16 °C do 20 °C) pro praxi studentů během zimních dnů s vnější teplotou kolem -12 °C. Vzorce výpočtu tepelné bilance budou sestaveny z teorií energetické bilance a skutečné výstavby budovy. Rozdíl mezi dílnami ukazuje vliv struktury dílny na tepelnou bilanci.

3.3 Třetí cíl

Třetím řešeným problémem v rámci této práce je snížení tepelného záření pomocí žaluzií, zastínění stromy okolo budov a tepelné izolace střechy.

3.3.1 První dílčí cíl třetího cíle

V první fázi třetího cíle je prezentace výsledků měření ve čtyřech velkých kancelářských místnostech s různými druhy žaluzií. Následně je vyhodnocen vliv vnitřních a venkovních žaluzií na vnitřní mikroklimatické podmínky ve velkých kancelářích v horkých letních dnech s vysokým slunečním zářením.

3.3.2 Druhý dílčí cíl třetího cíle

V další fázi třetího cíle je prezentace naměřených výsledků slunečního záření, kulové teploty (teplota změřena černým kulovým teploměrem), povrchové teploty, teploty vzduchu ve stínu stromů běžných v dané obytné oblasti. Naměřené výsledky jsou porovnány se stejnými měřeními nezastíněných budov. Na základě získaných výsledků lze vyhodnotit přínos stínu stromů ke snížení povrchové teploty stěn budov, které jsou postaveny vedle stromů.

3.3.3 Třetí dílčí cíl třetího cíle

Poslední fází třetího cíle je teoretický rozbor typických klimatických podmínek ve Vietnamu a stavební konstrukce u typické velkoprostorové budovy. Výpočet tepelné bilance střechy dílny ukáže velký význam vhodné střešní konstrukce pro zlepšení tepelné pohody a úspor energie na chlazení vzduchu v dílně během letního období ve Vietnamu.

4 Materiál a metody řešení

Z výše stanovených cílů práce se odvíjí jednotlivé postupy a materiály k jejich uskutečnění. Získané hodnoty měření a výpočtem byly v rámci možností zpracovány za pomoci příslušných statistických metod. Tato kapitola je členěna podle jednotlivého výzkumu práce.

4.1 Mikroklimatické podmínky ve sportovních halách

Měření prostoru bylo provedeno v budovách a místnostech katedry tělesné výchovy České zemědělské univerzity v Praze. Všechny pokoje byly umístěny ve dvou budovách, z nichž tři byly ve stejné budově (dvě tělocvičny GA, GB a jedno fitness centrum GC). První tělocvična GA má tyto rozměry: podlahová plocha cca 525 m², objem 4 200 m³ a používá se hlavně pro různé míčové hry. Druhá tělocvična GB má tyto rozměry: podlahová plocha cca 204 m², objem 1 632 m³ a používá se hlavně pro sportovní akci, podlahové cvičení, aerobik, stolní tenis atd. Třetí tělocvična GC má tyto rozměry: podlahová plocha cca 98 m², objem 258 m³ a používá se jako fitness centrum. Poslední budova je bazénový areál SP (bazén má délku 25 m), který má tyto rozměry: podlahová plocha cca 628 m², objem 4 084 m³.

Měření teploty vzduchu, vlhkosti a koncentrace CO₂ se provádělo poprvé v letním období, když byly všechny tělocvičny prázdné, bez studentů, bez větrání. Měření v bazénu bylo za přítomnosti 16 plavajících studentů s aktivací větrání. V hale s bazénem byl vzduch dodán 18 vrchními příváděcími vyústkami a odsáván 12 stěnovými odváděcími vyústkami. Další stejné měření ale v zimním období, které bylo prováděno v tělocvičně v průběhu sportovních aktivit studentů se standardním větráním. V místnostech bylo následující množství osob: GA 20 studentů hrálo fotbal, GB 27 studentů mělo aerobní cvičení, GC 18 studentů cvičilo v posilovně, SP 20 studentů plavalo.

Teplota a vlhkost okolního vzduchu v prostorách budov byla měřena krátkodobě snímačem FHA 84 646-21 včetně snímače teploty NTC typ N s provozním rozsahem od -30 do +100 °C s přesností ±0,1 °C a vlhkosti vzduchu pomocí kapacitního čidla s provozním rozsahem od 5 do 98 % s přesností ±2 %. Koncentrace CO₂ byla dále měřena snímačem FY A600 s provozním rozsahem 0 – 0,5 % a přesností ±0,01 %.

Všechny tyto údaje byly naměřeny v GA, GB, GC a SP na instalované meteorologické stanici a uloženy v intervalech 10 sekund na měřicí přístroj ALMEMO 2590-9,

ALMEMO 2690-8 a ALMEMO 5990-2 v časovém úseku 15 minut v každé místnosti. V každé místnosti byla data měřena ve třech místech v pětiminutových intervalech. Tři měřicí místa v místnosti byla rovnoměrně rozložena. Měření bylo provedeno v rovině o výšce 1,1 m. První měření bylo provedeno v červenci a druhé měření bylo provedeno v prosinci ve stejném roce a stejným způsobem.

4.2 Letní větrání v hale pro výkrm brojlerů v CFD modelování

Výzkumná práce byla provedena u haly pro výkrm brojlerů. Hala měla vnitřní rozměry: délka 100 m, šířka 11,5 m, výška 2,7 m. V hale bylo 23 000 kuřat ve 26. dne výkrmu, kdy kuřata měla průměrnou hmotnost přibližně 1,5 kg.



Obrázek 4.1: Hala pro výkrm brojlerů.

Větrání budovy je příčné, s podtlakem vytvářeným axiálními ventilátory v boční stěně ve vývodech s celkovým maximálním průtokem vzduchu $230\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Zpracování údajů

- Výpočet potřebného průtoku vzduchu:

Dávky ventilačního vzduchu pro 1 zvíře:

$$m_{vmax} = b \cdot m_z^d \cdot 10^{-3} \quad (4.1)$$

kde:

m_z - hmotnost jednoho zvířete [$\text{kg}\cdot\text{ks}^{-1}$],

b, d - konstanty stanovené pro jednotlivé druhy zvířat z tabulky.

$$M_{vmax} = Z \cdot m_{vmax} \quad (4.2)$$

kde:

M_{vmax} - celkový průtok vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],

Z - množství zvířat [ks].

$$V_a = \frac{M_{vmax}}{\rho} \quad (4.3)$$

kde:

V_a - objemový průtok vzduchu [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$],

ρ - hustota vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

- Výpočet potřebného průtoku vzduchu pro existující stav: 26. den výkrmu

$$m_z = 1,5\text{ kg}\cdot\text{ks}^{-1}$$

$$m_{vmax} = b \cdot m_z^d \cdot 10^{-3} = 1,8 \cdot 1,5^{0,72} \cdot 10^{-3} = 0,002\,41\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ks}^{-1}$$

$$M_{vmax} = Z \cdot m_{vmax} = 23\,000 \cdot 0,002\,41 = 55,44\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$V_a = 44,78\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1} = 172\,040\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$$

- Výpočet potřebného průtoku vzduchu pro největší kuřata: 35. den výkrmu

$$m_z = 2,1\text{ kg}\cdot\text{ks}^{-1}$$

$$m_v = 1,8 \cdot 2,061^{0,72} \cdot 10^{-3} = 0,003\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ks}^{-1}$$

$$M_{vmax} = Z \cdot m_{vmax} = 23\,000 \cdot 0,003 = 69\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$$

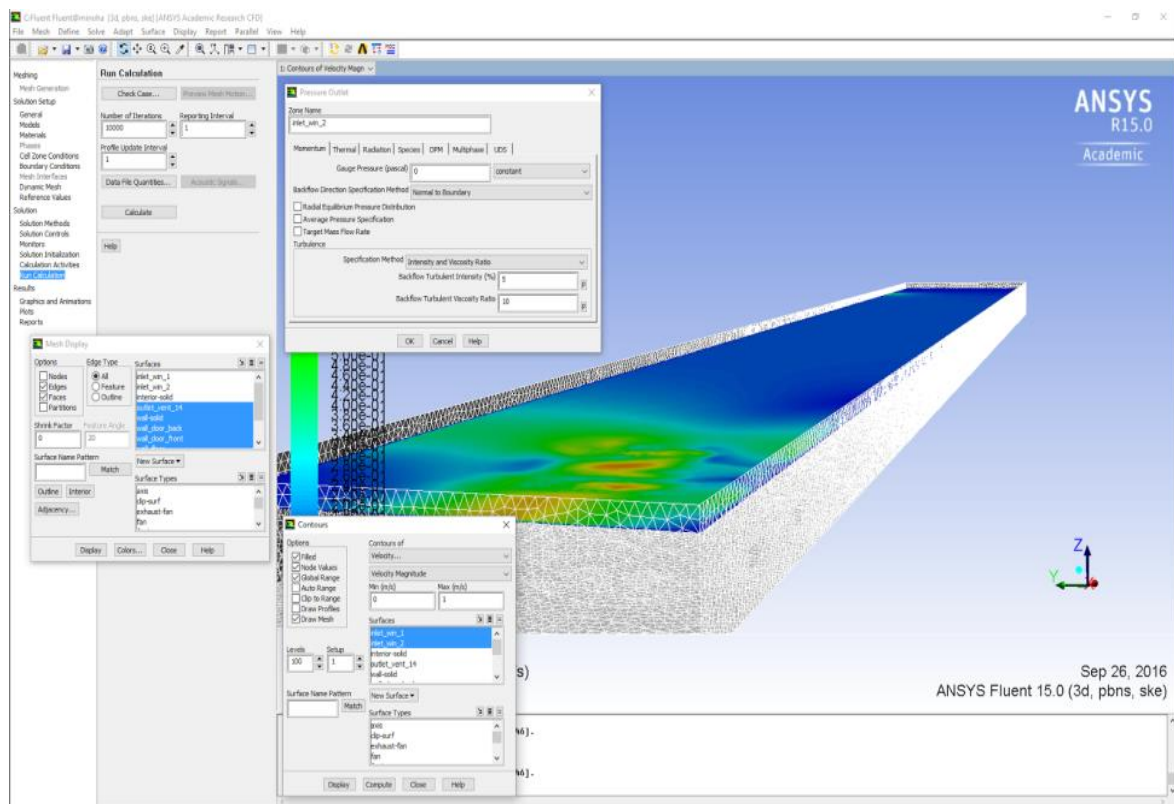
$$V_a = \frac{M_{vmax}}{\rho} = \frac{69}{1,16} = 59,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 214 \text{ 140 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Kapacita velkého ventilátoru je 0,75 kW nebo 24 929 m³·h⁻¹ a malého ventilátoru je 0,33 kW nebo 7 024 m³·h⁻¹. Podle toho by se mohlo zvolit množství požadovaných ventilátorů.

Tabulka 4.1: Množství požadovaných ventilátorů podle výsledků výpočtu.

Stav zvířat	Objemový průtok vzduchu [m ³ ·h ⁻¹]	Množství požadovaných velkých ventilátorů [ks]	Množství požadovaných malých ventilátorů [ks]
26. den výkrmu m _z = 1,5 kg·ks ⁻¹	172 040	5	2
35. den výkrmu m _z = 2,1 kg·ks ⁻¹	214 140	7	6
Počet současných ventilátorů v hale	230 000	7	8

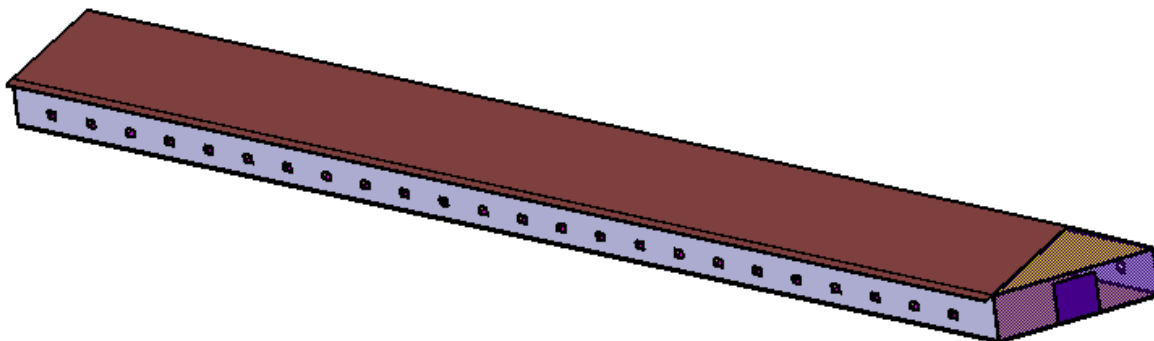
Simulace letního období při větrání příčném se současným stavem přírodních otvorů a odváděcích ventilátorů a při navrhovaném podélném větrání v programu CFD



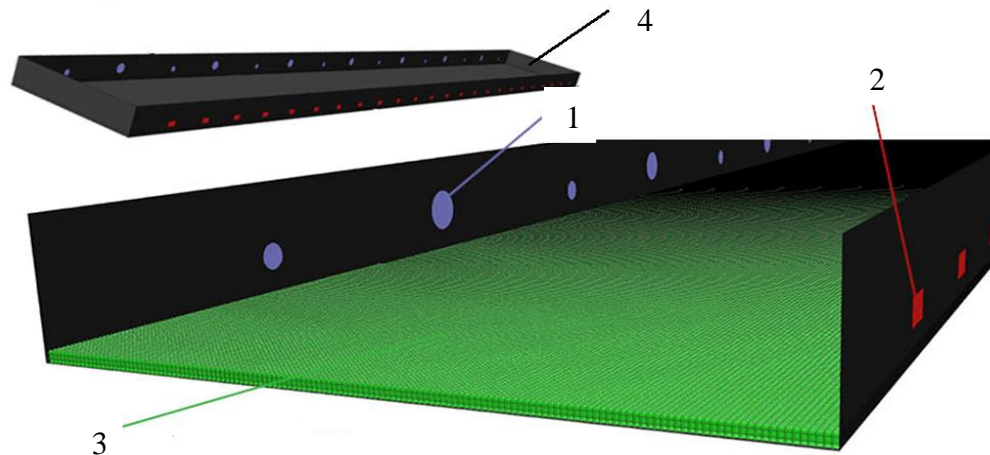
Obrázek 4.3: Rozhraní Fluentu.

Software Fluent CFD se používá jako univerzální nástroj pro numerickou analýzu toku tekutin a tepelné analýzy. Byl také sledován vliv geometrického tvaru a rychlosti pole na tepelné pole. Efektivní distribuce čerstvého vzduchu uvnitř budovy a odpovídající umístění přívodů a výstupních výfuků přispívají k účinnosti ventilačních prvků. Tepelná analýza byla řešena také extrémními teplotními podmínkami uvnitř interiéru během částečného a úplného selhání ventilačního systému a vede k vyhodnocení vlivu a důsledků vnitřních mikroklimatických podmínek.

Numerické simulace toku (CFD – Computer Fluid Dynamics) se úspěšně používají pro řešení technických problémů v různých průmyslových odvětvích po mnoho let. Klimatizaci a větrání je nepochybně široká škála aplikací relevantních pro vyšetřování pomocí CFD. Důvodem použití číselné analýzy je ve většině případů řízena potřeba detailního pochopení tvaru průtoku ve větraném prostoru a často s možností simulace podmínek, které jsou prakticky nedosažitelné a nepřijatelné z provozních důvodů, s výjimkou mimořádných situací. Tato práce je dalším krokem při analýze použitelnosti Fluentu pro takové problémy.



Obrázek 4.4: 3D modelování experimentální haly.



Obrázek 4.5: Výpočetní síť a okrajové podmínky zóny

1 – odsávací ventilátor; 2 – okno; 3 – objem řezu; 4 – výpočetní zóna.

Obrázek 4.4 je skutečný tvar haly, který byl tvořen grafickým programem CATIA se strukturou a velikostí odpovídající této skutečnosti. Vzhledem k tomu, že strop haly má plochý tvar, může být prostor haly považován za krychli. Vstupní data pro program Fluent musí být zhotovena z povrchového a uzavřeného prostoru, proto byl vnitřní prostor rozdělen podle odpovídající polohy oken a ventilátorů. Kromě grafických dat byly do programu definovány další data, např. vnější teplota, vlhkost vzduchu, tepelná vodivost stěny, výroba tepla kuřat (může být považována za exotermní podlahu).

Následně, pomocí grafického softwaru, struktura sálu přepracována změnou způsobu větrání ze svislé do vodorovné roviny. Poloha otvoru odsávacího ventilátoru se změnila na konec haly a výdechový otvor bude umístěn naproti. Se stejnou provozní kapacitou ventilátorového systému je možné porovnat výstupní data z simulačního programu Fluent, např. rychlost proudění vzduchu, teplota, koncentrace CO_2 , koncentrace amoniaku v hale.

Fluent software byl použit jako výpočetní nástroj pro získání numerického řešení profilů průtoku, teploty a koncentrace odpovídajících měření. Byly připraveny dvě sady okrajových podmínek, které ilustrují rozdíl mezi příčným a podélným větráním, zejména s ohledem na maximální hodnoty rychlostí, teplot a koncentrací znečišťujících látek.

Obrázek 4.5 znázorňuje zjednodušený tvar výpočetní domény. Je vidět, že jde o čistý geometrický blok s obdélníkovými okny na pravé straně a kruhovými ventilátory na opačné levé straně. Nejdůležitějším zjednodušením ve vztahu k aktuálnímu stavu je použití 0,2 m vysokého objemu řezů, což je zóna, kde se zvířata pohybují a produkují teplo a znečišťující

látky. Hlavním důvodem použití tohoto pomocného objemu je možnost zahrnout zdroje tepla a hmotnosti do objemu v hodnotě na kubický metr. Metoda použití objemu řezu je blíže k realitě než metoda použití povrchového řezu. Objem řezu se používá k simulaci jako zdroj tepla z podlahy představujícího množství tepelného toku produkovaného zvířaty.

Vstupní údaje pro CFD:

- konstrukční údaje,
- venkovní teplota: $t = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$,
- koncentrace CO_2 : $0,04 \text{ } \% = 400 \text{ ppm}$,
- produkce CO_2 v podlaze: $0,065 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$,
- produkce tepla kuřat: $Q_c = 74,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,



Obrázek 4.6: Termogramy povrchové plochy v hale.

- součinitel prostupu tepla složenou stěnou a stropem:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_1^n \frac{S_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} = 0,773 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} \quad (4.4)$$

kde:

k - představuje koeficient (součinitel) prostupu tepla složenou stěnou [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

α_i - koeficient (součinitel) prostupu tepla interního prostředí [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

α_e - koeficient (součinitel) prostupu tepla externího prostředí [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

S_j - tloušťka stěny [m],

λ_j - tepelná vodivost materiálu stěny [$\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$].

4.3 Analýza vnitřní teploty v dílnách v letním období

Experimenty měření vnitřní teploty byly provedeny v rovině o výšce 1,1 m ve dvou velkých dílnách s podlahovou plochou 260 m^2 a výškou 6,5 m během několika horkých letních dnů. Vnitřní podmínky byly silně ovlivněny slunečním zářením, protože budovy mají velká stěnová a střešní okna. První budova (WS1) má 54 m^2 nástěnných oken a 81 m^2 střešních oken, druhá budova (WS2) má pouze 34 m^2 nástěnných oken a $28,5 \text{ m}^2$ střešních oken.

Teplota vzduchu a relativní vlhkost byly měřeny zařízením ZTH65 mimo a uvnitř budov s registrací v intervalech 15 minut během čtyř dnů (dlouhodobé měření). Parametry ZTH65 jsou: teplotní provozní rozsah -30 až $+70 \text{ }^\circ\text{C}$ s přesností $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a provozní rozsah relativní vlhkosti $5 - 95 \%$ s přesností $\pm 2,5 \%$.

Během dlouhého měření v obou dílnách nebyla použita přirozená ventilace a nucená ventilace; dílny neměly klimatizaci, a proto vnitřní teploty ve dvou dílnách byly vždy vyšší než venkovní teplota.

Výpočet požadovaného chladicího výkonu se používá tepelnou bilancí podle následující obecné rovnice:

$$Q_s + Q_w - Q_c = Q_a \quad (4.5)$$

kde:

Q_s - celkové teplo získané slunečním zářením [W],

Q_c - celková ztráta tepla konvekcí [W],

Q_w - celkové získané teplo stěnami [W],

Q_a - spotřeba energie klimatizací [W].

Potřebný přívod přiváděného vzduchu se počítá podle obecné rovnice:

$$Q_s + Q_w - Q_c = Q_v \quad (4.6)$$

$$V_{air} = \frac{Q_v}{\rho \cdot C \cdot (t_i - t_e)} \cdot 3600 \quad (4.7)$$

kde:

Q_v - ztráta energie s větráním [W],

V_{air} - potřebný průtok přiváděného vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$],

ρ - hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$],

C - specifická tepelná kapacita vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

t_i - vnitřní teplota [$^{\circ}C$],

t_e - teplota přivodního vzduchu [$^{\circ}C$].

Rovnice (4.5), (4.6) a (4.7) byly postaveny v programu Mathcad a pak byly vloženy měřené údaje stavby a údaje v meteorologické stanici do rovnic. Získané výsledky jsou v následujících grafech.

Světlo ve dvou dílnách je vyhodnocené pomocí faktoru denního osvětlení. Rozdílná průsvitnost ploch budov vedla k rozdílným faktorům denního osvětlení, které byly měřeny luxmetrem TECPEL 536. Faktorem denního osvětlení je vizuální a světelný stav v interiéru. Faktor denního osvětlení vykazuje kvantitativní kritérium světelného stavu prostředí. Denní světlo lze vypočítat podle rovnice (4.8).

$$e = \frac{E_m}{E_H} \cdot 100 \quad (4.8)$$

kde:

e - faktor denního osvětlení [%],

E_m - osvětlenost dané roviny v interiéru [lx],

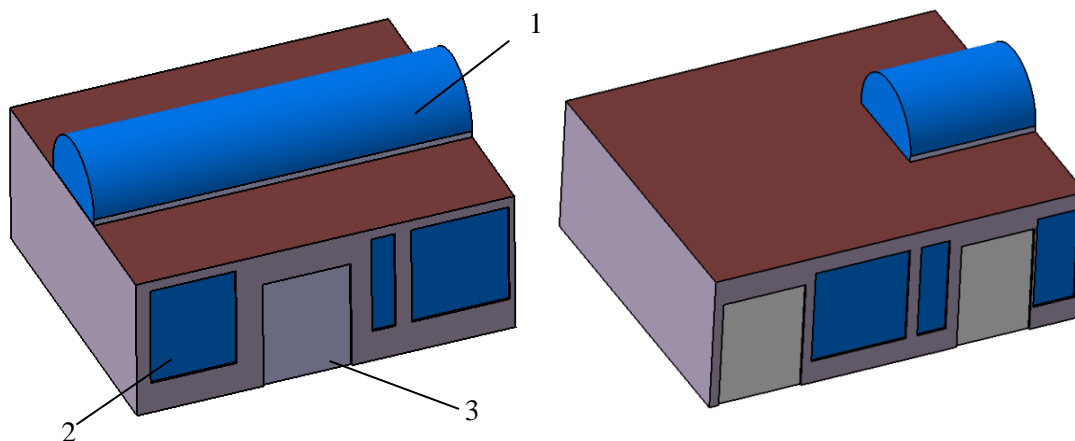
E_H - současná osvětlenost nezastíněné vodorovné roviny [lx].

Získané výsledky teploty, relativní vlhkosti vzduchu a měření denního osvětlení byly zpracovány softwarem Excel a ověřeny statistickým softwarem Statistica 12 (*ANOVA a TUKEY HSD Test*), aby bylo zjištěno, zda jsou rozdíly mezi výsledky v obou dílnách významné. Různá písmena horního písmene (a , b) se ve sloupcích tabulek výrazně od sebe liší (*ANOVA, Tukey HSD Test, $P \leq 0,05$*), např. pokud ve sloupcích (dílňa WS1 a WS2) existují stejná písmena horní hranice, znamená to, že rozdíly mezi hodnotami v dílnách nejsou statisticky významné na úrovni významnosti $0,05$.

4.4 Tepelné bilance v dílnách v zimním období

Výzkumná práce a měření byly provedeny ve dvou dílnách WS1 a WS2 v kapitole 4.3. Stavební konstrukce ve dvou dílnách se trochu liší ohledně oblasti stěnového okna a střešního okna. Údaje o stavbách byly měřeny, některé údaje byly již obsaženy v projektových dokumentech.

Dvě dílny ve výzkumu jsou umístěny vedle sebe a vedle dalších dílen. Každá dílna má tři vnitřní stěny a pouze jednu venkovní fasádu, která zahrnuje stěnová okna a garážová vrata. Modelové objekty jsou typické průmyslové jednopodlažní haly se střešním oknem ze světlých propustných plastových krytů, které zlepšují světlo uvnitř haly. Zjednodušené obecné modely obou dílen jsou uvedeny na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: 3D modelování experimentálních dílen: 1 – střešní okno; 2 – nástěnné okno; 3 – garážová vrata.

Nosnou konstrukcí je železobetonový skelet s vyzdívaným obvodovým pláštěm ze škvárobetonových tvárnic. Stropy jsou železobetonové. Podlaha na terénu je betonová bez tepelné izolace. Okna v objektu jsou plastová VEKA Softline AD s tepelně izolačním dvojsklem. Světlíky jsou z dutinového polykarbonátu. Garážová sekční vrata jsou s PUR výplní. Střešní plášť halové části objektu byl dodatečně zateplen pěnovým polystyrénem tl. 100 mm. Zároveň byla zateplena jižní fasáda haly, a to tepelnou izolací z EPS tl. 100 mm.

Obrázek 4.7 ukazuje, že střešní okno ve WS1 je větší než střešní okno ve WS2. Tento rozdíl má v létě velký vliv z důvodu radiačního nárazu a zvyšuje vnitřní teplotu hal. Ale v zimě, během slunečných dnů, radiace by mohla pomoci snížit energii tepelného systému dílny. Tepelný zisk ze slunečního záření se vypočítá podle rovnice (4.9).

$$Q_r = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{o\ dif}] \cdot s \quad (4.9)$$

kde:

S_{os} - osluněná plocha střechy [m^2],

I_o - celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [$W \cdot m^{-2}$],

$I_{o\ dif}$ - intenzita sluneční radiace difuzní, procházející jednoduchým zasklením [$W \cdot m^{-2}$],

S_o - plocha střechy [m^2],

c_o - korekční činitel,

s - stínící součinitel.

V zimě, kdy se venkovní teplota snižuje, energie pro udržení vnitřní teploty v doporučené hodnotě závisí na konstrukci budovy (materiál, architekt atd.). Hlavní stavební materiály obou dílen a součinitele prostupu tepla materiálů jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Charakteristika energeticky relevantních dat výzkumné výstavby

Konstrukce pláště budovy	Symboly ploch budovy [m^2]	Plocha [m^2]		Činitel teplotní redukce	Součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
		WS1	WS2		
Venkovní stěna	S1	42,1	38,8	1,00	0,15
Vnitřní stěna	S2	302,3	298,8	1,00	0,23
Střecha	S3	169,8	242,1	1,00	0,27
Střešní okno	S4	80,6	28,5	1,00	2,50
Okna jižní fasády	S5	54,1	34,3	1,00	1,50
Podlaha	S6	260,2	269,8	0,07	4,00
Garážová vrata	S7	18,2	36,4	1,00	1,70

Venkovní stěna má garážová vrata a stěnová okna, která jsou znázorněna na obrázku 4.7. Vnější stěna je fasáda dílny. Ostatní tři stěny se nazývají vnitřní stěny, které jsou mezi prostory s různými teplotami.

Vybraná vnitřní teplota byla v doporučené hodnotě ($20\text{ }^\circ\text{C}$) a venkovní teplota v zimě byla $-12\text{ }^\circ\text{C}$. Výpočet byl proveden s tím, že vedlejší místnosti nebyly vytápěny a tyto místnosti měly stejnou teplotu jako venkovní ($-12\text{ }^\circ\text{C}$). Při výpočtu prostupu celkového tepla stěnami byl použit níže uvedený vzorec (4.10) a součinitel prostupu tepla v tabulce 4.2.

$$Q_T = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad (4.10)$$

kde:

Q_T - přenos tepla [W],

k - součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

S - stěnová plocha bez oken [m^2],

t_i - vnitřní teplota [$^{\circ}C$],

t_e - venkovní teplota [$^{\circ}C$].

Rovnice (4.9), (4.10) byly vloženy do programu Mathcad a poté byly vkládány údaje o slunečním záření z meteorologické stanice a data konstrukce do rovnic. Pro výpočet prostupu tepla byla také použita kalkulačka, která je dostupná na stránce (online-příručka dostupná z internetu). Výsledky jsou v tabulce 5.3.

Použitím vzorců (4.9), (4.10) a koeficientu prostupu tepla materiálu v tabulce 4.2, je možné popsat souhrn tepelných ztrát a tepelných zisků vztahem k obecným plochám těchto budov.

$$Q_T = 6,3 \cdot S_1 + 75,5 \cdot S_2 + 45,9 \cdot S_3 + 202,5 \cdot S_4 + 81 \cdot S_5 + 72,8 \cdot S_6 + 30,6 \cdot S_7 \quad (4.11)$$

$$Q_r = 101,9 \cdot S_4 + 47,8 \cdot S_5 \quad (4.12)$$

kde:

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ - plochy budovy v tabulce 4.2 [m^2].

V případě projektování nebo změn oblastí výstavby těchto dílen nebo obdobných hal je možné využít vztahy (4.11) a (4.12) pro zjištění přenosu tepla. V případě potřeby změny velikosti plochy dílny nebo změny stavebního materiálu by se mohlo rychle vypočítat požadovanou kapacitu vytápění a vzájemně porovnat získané výsledky k hledání nejlepšího způsobu na ušetření energie pro vytápěcí systém.

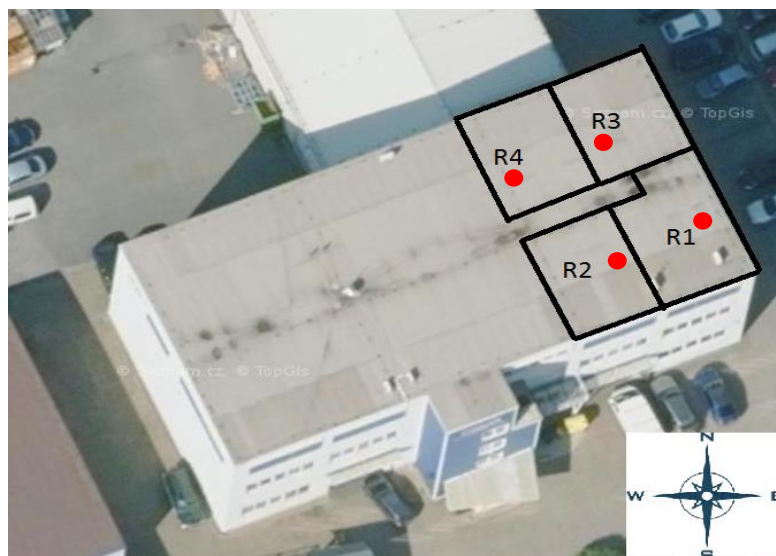
4.5 Analýza vlivu žaluzií a slunečního záření na mikroklima v kancelářských prostorách v letních dnech

Pro tento výzkum byla vybrána budova, která má velká okna vybavená vnitřními a vnějšími žaluziemi s cílem zjištění vlivu žaluzií na snížení tepelné zátěže v létě. Pro měření byly vybrány čtyři velké místnosti ve vrchním patře budovy (viz obrázek 4.8). Okna nebyla zastíněna stromy nebo jinými konstrukcemi. V každém pokoji pracovalo šest pracovníků

s osobními počítači. Všechny kanceláře nebyly vybaveny klimatizací. Všechna měření byla od 25. června do 4. července 2018, během horkých letních dnů. Obecné informace konstrukce čtyř místností jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3: Hlavní konstrukční parametry čtyř měřených místností

Místnost	Podlahová plocha [m ²]	Zasklená plocha [m ²]	Typ žaluzie
R1	59,5	19,1	Externí
R2	43,3	6,8	Externí
R3	58,8	18,9	Interní
R4	54,2	7,1	Interní



Obrázek 4.8: Orientace relativní polohy budovy a čtyř místností (R1, R2, R3, R4), kde N je sever; S je jih; W je západ; E je východ. Červené kružnice jsou měřící místa (0,75 m nad podlahou).

Dvě stěny místnosti R1 a místnosti R3 byly většinou vybaveny zasklenými okny. Místnosti R2 a místnosti R4 byly vybaveny zasklenými okny pouze u jedné stěny. Výšky čtyř místností byly stejné (2,8 m), nicméně vnitřní prostory byly odlišné. Místnosti R1 a R2 byly vybaveny hliníkovými žaluziemi, které byly instalovány horizontálně externě. Místnosti R3 a R4 byly vybaveny vertikálními textilními žaluziemi, které byly instalovány uvnitř. Na každé straně budovy byly dvě měřené místnosti: první místnost se zastíněnými okny a druhá

s nezastíněnými, se stejnou intenzitou vnějšího slunečního svitu na stejné straně budovy. Z měřených výsledků byl posouzen vliv žaluzií na vnitřní podmínky.

První měření (dlouhodobé měření) bylo prováděno nepřetržitě v pracovních dnech (od pondělí do pátku, v pracovní době od 7:00 do 17:00 hod.). Vnitřní podmínky byly ovlivněny otevřením oken a regulací žaluzií pracovníky uvnitř kanceláří. Výsledky měření umožňují vyhodnotit vliv žaluzií v reálném pracovním provozu kanceláří.

Druhé měření (krátkodobé měření) bylo provedeno o víkendu (od 8:00 do 17:00 hod.), když v pokoji nebyl žádný pracovník a bez větrání (zavřená okna). Vliv žaluzií na vnitřní podmínky se ověří také pomocí krátkodobého měření. Informace o podmínkách měření ve čtyřech místnostech jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4: Podmínky měření při dlouhodobém a krátkodobém měření

Dlouhodobé měření				
Místnost	Přístroj	Doba	Typy žaluzií	Použití žaluzií
R1, R2	Comet System ZTH65	nepřetržitě pondělí do pátku	Externí	Individuální lidmi
R3, R4	Comet System ZTH65	nepřetržitě pondělí do pátku	Interní	Individuální lidmi
Krátkodobé měření				
R1	Almemo 2690	Sobota	Externí	Otevřeno
R2	Almemo 2590	Sobota	Externí	Zavřeno
R3	Almemo 2690	Neděle	Interní	Otevřeno
R4	Almemo 2590	Neděle	Interní	Zavřeno

V pracovních dnech, pracovníci používali žaluzií a přirozené větrání. Teploty vzduchu a relativní vlhkost byly měřeny přístroji Comet System ZTH65 uvnitř kanceláří s registrací v intervalech 15 minut během jednoho týdne (dlouhodobé měření).

V sobotu, kulové teploty byly nepřetržitě měřeny R1 a R2; R3 a R4 byly měřeny v neděli přístroji která zahrnuje kombinovaný účinek záření. Kulová teplota vzduchu byla naměřena pomocí kulového teploměru FPA 805 GTS (operační rozsah od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a průměrem 0,15 m). Teplota okolního vzduchu měřena senzorem FHA 646-21 včetně teplotního čidla NTC typu N (pracovní rozsah -30 až $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, přesnost $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) a vlhkost vzduchu měřena kapacitním senzorem s provozním rozsahem 5 až 98 %,

přesnost ± 2 %. Všechny tyto údaje byly uloženy v intervalech jedné minuty na měřicí přístroj ALMEMO 2590 a ALMEMO 2690 během přibližně devíti hodin (krátkodobé měření).

Vliv kombinací teploty vzduchu a relativní vlhkosti je zahrnut v THI (Vladut, 2011; Sleger a Neuberger, 2006). Podle (Zejdova a spol, 2014) je THI určena rovnicí (4.13). Výpočet BGHI je založen na výsledcích krátkodobých měření s použitím kulové teploty namísto teploty vzduchu podle rovnice (4.14).

$$THI = 0.8 \cdot t_i + \frac{(t_i - 14.4) \cdot RH_i}{100} + 46,4 \quad (4.13)$$

kde:

THI - index teploty a vlhkosti [-],

t_i - vnitřní teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$],

RH_i - vnitřní relativní vlhkost vzduchu [%].

$$BGHI = 0.8 \cdot t_g + \frac{(t_i - 14.4) \cdot RH_i}{100} + 46,4 \quad (4.14)$$

kde:

$BGHI$ - index kulové teploty a vlhkosti [-],

t_g - kulová teplota [$^{\circ}\text{C}$].

Pro vyhodnocení THI se obvykle používají následující mezní hodnoty. Pokud $THI \leq 65$ znamená, že je komfortní stav; pokud je THI od 66 do 79, je stav k upozornění, při dlouhodobé expozici se projevuje únava; a pokud $THI \geq 80$ znamená nepohodlí, je-li $THI \geq 84$ je nebezpečný, je tepelný stres vysoce pravděpodobný, pokud aktivita pokračuje. BGHI je široce používaným indexem pro popis tepelného stresu a je také klíčovým ukazatelem environmentálních podmínek stresu, protože zahrnuje nejen teplotu vzduchu, ale také vliv záření měřeného kulovým teploměrem.

Světlo ve čtyřech místnostech bylo vyhodnocené pomocí faktoru denního osvětlení. Rozdílná průsvitnost ploch budov vedla k rozdílným faktorům denního osvětlení, které byly měřeny luxmetrem TECPEL 536. Denní světlo lze vypočítat podle rovnice (4.8).

Celková propustnost sluneční energie s ochranou před slunečním zářením se vypočítá podle rovnice (4.15):

$$g_{total} = F_c \cdot g \quad (4.15)$$

kde:

g_{total} - celková propustnost sluneční energie s ochranou před slunečním zářením [-],

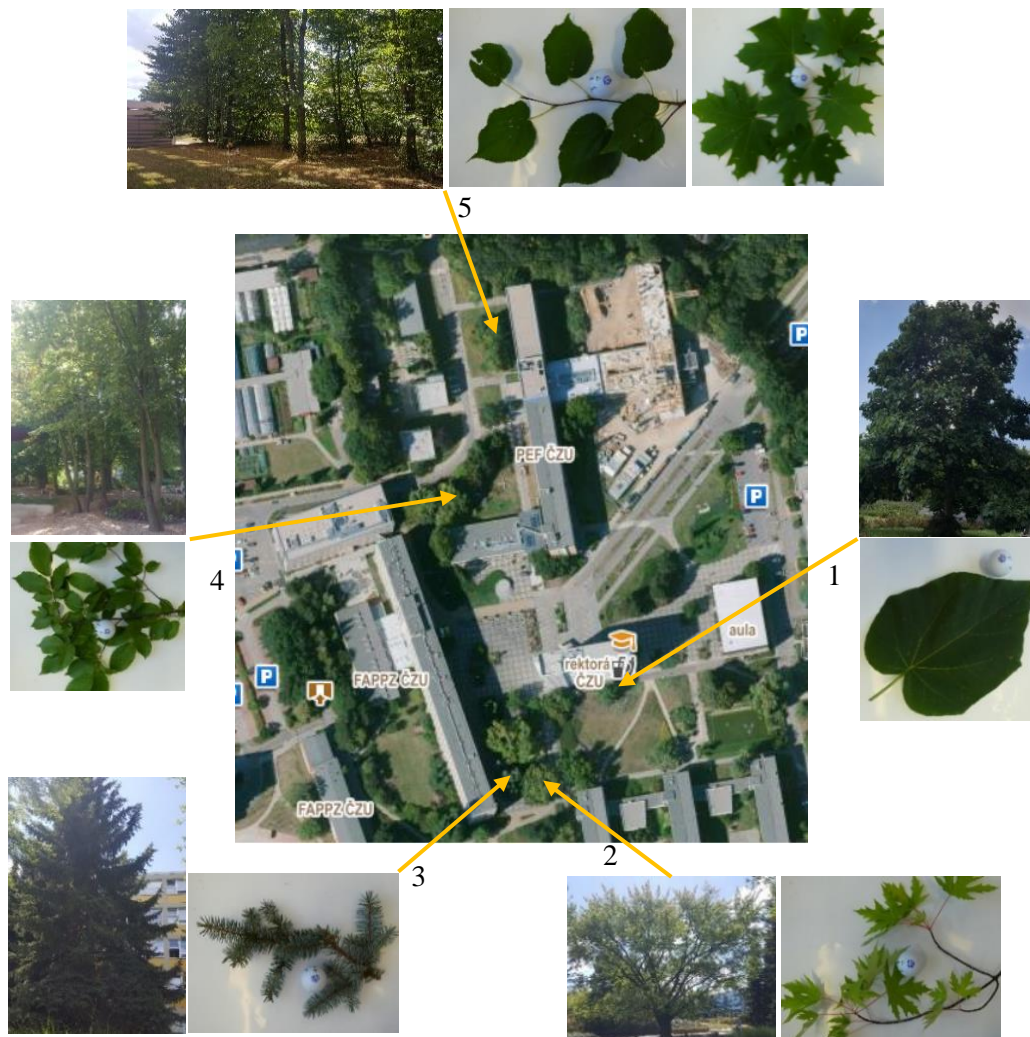
F_c - redukční faktor (podle DIN 4108). Hodnota tohoto koeficientu je mezi 0 a 1 (hodnota je 1, není-li ochrana před slunečním zářením) [-],

g - faktor přenosu slunečního záření okna, který určuje výrobce okna [-].

Získané výsledky teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a měření denního osvětlení byly zpracovány softwarem Excel a ověřeny statistickým softwarem Statistica 12 (*ANOVA a TUKEY HSD Test*), aby bylo zjištěno, zda rozdíly mezi výsledky jsou významné. Různá písmena horního písmene (*a, b, c*) se ve sloupcích tabulek výrazně od sebe liší (*ANOVA, Tukey HSD Test, $P \leq 0,05$*), např. pokud ve sloupcích (místnost R1, R2, R3 a R4) existují stejná písmena horní hranice, znamená to, že rozdíly mezi hodnotami v dílnách nejsou statisticky významné na úrovni významnosti *0,05*.

4.6 Zastínění stromy ke snížení slunečního zahřívání budov

K dosažení třetího cíle z hlediska snížení slunečního zahřívání budov, výzkumná práce byla provedena v areálu České zemědělské Univerzity (ČZU) která je umístění na severu Prahy, v České republice. Praha ($50^{\circ}05$ N, $14^{\circ}25$ E, nadmořská výška 286 m) má mírné klima. Během letního období, které je od června do srpna, je obvykle teplé. Podle meteorologické stanice, teplota vzduchu v průběhu měření byla $29,6 \pm 0,5$ °C.



Obrázek 4.9: Druhy stromů s tvarem listů a jejich umístění v areálu ČZU: 1 – *Pavlovnie plstnatá*; 2 – *Javor stříbrný*; 3 – *Smrk pichlavý*; 4 – *Habr obecný*; 5 – *Javor mléc a lípa velkolistá*.

Teplota ve stínu a ve slunečním světle byla měřena pomocí kulového teploměru FPA 805 GTS (s pracovním rozsahem od -50 do $+200$ °C, přesností $\pm 0,1$ °C a průměrem 0,15 m) spolu s teplotou okolí vzduch měřený senzorem FHA 646-21 včetně teplotního čidla NTC typu N s provozním rozsahem -30 až $+100$ °C s přesností $\pm 0,1$ °C. Dále byla měřena intenzita slunečního záření pomocí kolové sondy FLA 613 GS s rozsahem měření od 0 do cca $1\,200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, spektrální citlivost od 400 nm do 1100 nm a absolutní chyba $< 10\%$. Teplota vzduchu, kulová teplota a měření slunečního záření byly prováděny ve výšce 0,4 m odpoledne od 12:45 hod. do 15:00 hod., ve zcela jasném bezmračném čase

(25. července 2018). Měřicí zařízení bylo nastaveno pod každým stromem a stromovými shluky během přibližně 15 minut, kdy bylo slunečno. Všechny tyto údaje byly uloženy v intervalech jedné minuty na měřicím přístroji ALMEMO 2590 (ve stínu) a ALMEMO 2890 (na slunci). Současně byla prováděna měření teploty vzduchu a slunečního záření ve stínu a ve slunečním světle.

Tabulka 4.5: Popis základních charakteristik stromů

Druh stromů	Uspořádání	Šířka stromů [m]	Výška stromů [m]	Měřená doba [hod.]
<i>Pavlovnie plstnatá</i>	Individuální	9	13	0:45 – 1:00
<i>Javor stříbrný</i>	Individuální	18	15	1:05 – 1:20
<i>Smrk pichlavý</i>	Individuální	8	16	1:25 – 1:40
<i>Habr obecný</i>	Shluk	18 x 30	12	1:55 – 2:10
<i>Javor mléč a lípa velkolistá</i>	Shluk	22 x 45	14	2:35 – 2:50

Povrchové teploty na stěnách budovy a na pozemcích byly měřeny termografickou kamerou IR Flexcam Pro s pracovním rozsahem od -30 do $+350$ °C s přesností ± 2 °C. Okamžité hodnoty povrchových teplot (termogramů) byly uloženy v paměti přístroje a poté analyzovány v PC pomocí speciálního softwaru InfView Infrastructure FlexView 1.2.2 určeného pro tuto termografickou kameru.

Útlum slunečního záření byl závislý na vlastnostech stromů, jako je hustota větví a kryt listů. Procento zeslabení záření každého stromu nebo shluku stromů bylo získáno metodou Bueno-Bartholomei a Labaki (2003), kde měření slunečního záření ve stínu a ve slunečním světle bylo provedeno současně v souladu se vzorcí (4.16):

$$At = \frac{S_{sun} - S_{shade}}{S_{sun}} \cdot 100 \quad (4.16)$$

kde:

At - útlum slunečního záření [%],

S_{sun} - dopadající energie slunce [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$],

S_{shade} - dopadající energie ve stínu [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$].

Měření jednotlivých stromů byly prováděny v různých časových obdobích, teplota naměřená na slunci byla přijata jako parametr normalizace, takže efekt stínění každého

stromu mohl být kvantifikován. Metoda z Bueno-Bartholomei a Labaki (2003), relativní změna teploty vzduchu byla vypočtena pomocí vzorce (4.17):

$$RVt = \frac{t_{sun} - t_{shade}}{t_{sun}} \cdot 100 \quad (4.17)$$

kde:

RVt - relativní změny teploty vzduchu [%],

t_{sun} - teplota vzduchu na slunci [°C],

t_{shade} - teplota vzduchu ve stínu [°C].

Podobné výpočty byly provedeny pro teploty kulové. Pro každý druh stromu byl vypočítán průměr útlumu a teploty pro měřenou dobu s odpovídajícími standardními chybami. Relativní odchylky byly také snížení teploty, které byly vypočteny podle procentních hodnot.

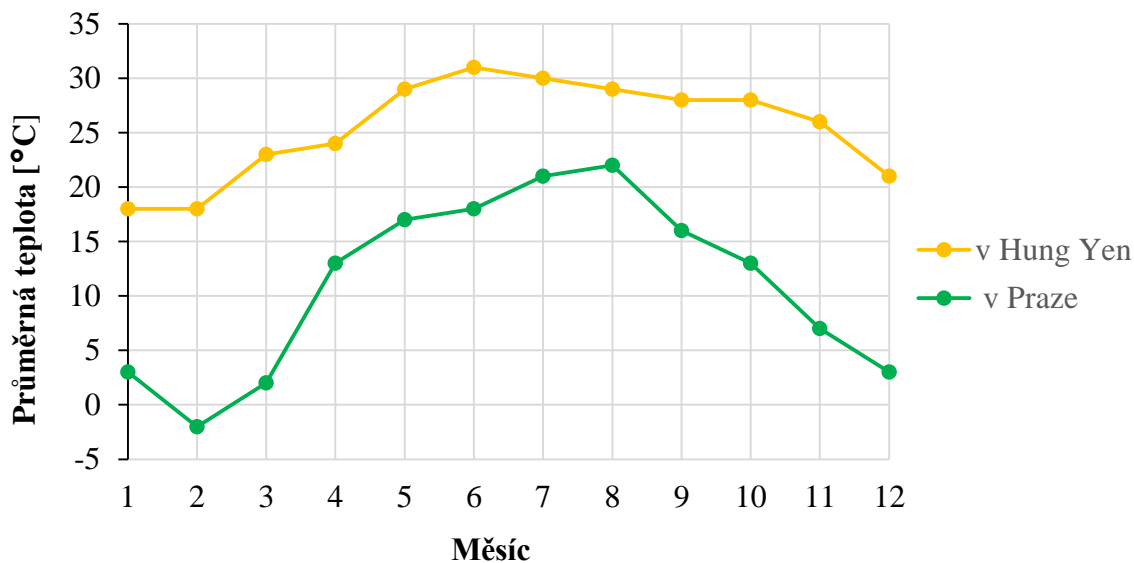
Získané výsledky teploty vzduchu, relativní vlhkosti, měření denního osvětlení byly zpracovány softwarem Excel a ověřeny statistickým softwarem Statistica 12 (*ANOVA a TUKEY HSD Test*), aby se zjistilo, zda jsou rozdíly významné. Různá písmena horního indexu (*a, b, c*) jsou ve sloupcích tabulek významně odlišná (*ANOVA; Tukey HSD test; $P \leq 0,05$*), např. je-li v řádcích stejný počet písmen (různé druhy stromů) sloupce, znamená to, že rozdíly mezi testovanými hodnotami různých stromů nejsou statisticky významné na úrovni významnosti *0,05*.

4.7 Analýza stavebního řešení a zastínění budov ve Vietnamu ke snížení silného slunečního záření

K dosažení dalšího cíle z hlediska chlazení velkoprostorových budov, tato výzkumná práce a měření byla provedena v areálu Hung Yen univerzity technologie a vzdělávání, která je umístěna blízko hlavního města Hanoj, na severu Vietnamu (20°51 N, 106°00 E, nadmořská výška 2,5 m). V regionu je horké vlhké klima.

Hung Yen má čtyři oddělené roční období s mírně chladnou zimou, ale nejnižší naměřená teplota byla pod 7 °C. Nejvyšší teplota může dosáhnout 40 °C. Vysoká průměrná teplota vzduchu a sluneční záření v průběhu roku ukazují, že poptávka chlazení by byla dominantní. Vítr v průběhu roku nabízí velký potenciál pro pasivní chlazení a zlepšení kvality vnitřního vzduchu. Ve Vietnamu je relativní vlhkost vzduchu vždy vysoká a dosahuje kolem 90 %

v noci. Denní amplitudy teplotních výkyvů jsou v letním období téměř 7 °C. Je to proto, že vysoká relativní vlhkost a zamračená obloha působí jako "deka", která zabraňuje ztrátám záření ze země a zabraňuje tomu, aby teplota vzduchu klesala mnohem více. Srovnání průměrné teploty vzduchu mezi Hung Yen a Prahou v roce 2018 je uvedeno na obrázku 4.10.



Obrázek 4.10: Srovnání průměrné teploty vzduchu v Hung Yen a v Praze v roce 2018.

Výzkumná práce a měření byly provedeny ve velké dílně s podlahovou plochou 990 m² a průměrná výška 5,5 m. Vnitřní podmínky nebyly silně ovlivněny slunečním zářením, protože stěnová okna byly zastíněny stromy, které jsou docela blízko budovy; střešní okna byly postaveny pod střechou (viz obrázek 4.14). Dílna má 78 m² nástěnných oken a 90 m² střešních oken. Dílna je umístěna v areálu univerzity. V dílně jsou strojní zařízení (frézky, soustruhy atd.) pro praxi studentů. Venkovní a vnitřní přehledy dílny jsou uvedeny na obrázcích 4.11, 4.12 a 4.13.



Obrázek 4.11: Orientace dílny.

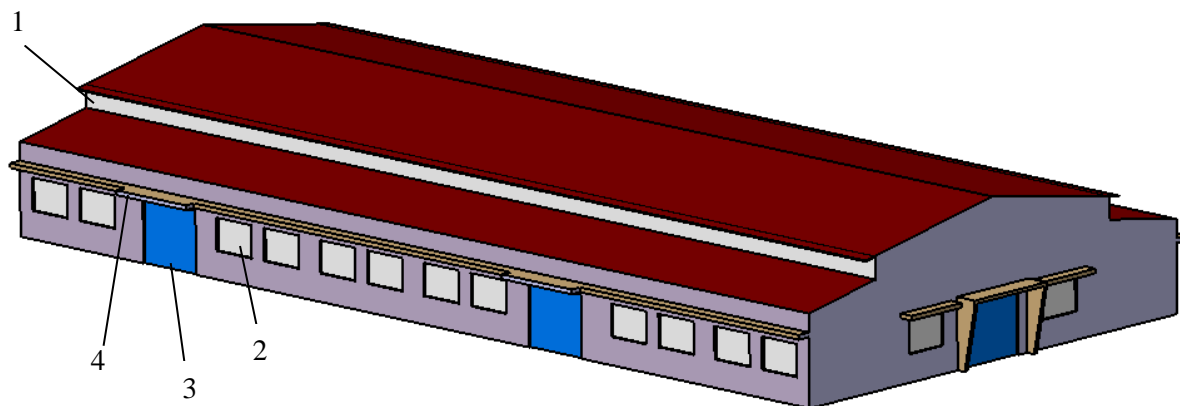


Obrázek 4.12: Venkovní zastínění stromy kolem dílny.



Obrázek 4.13: Střešní okna dílny.

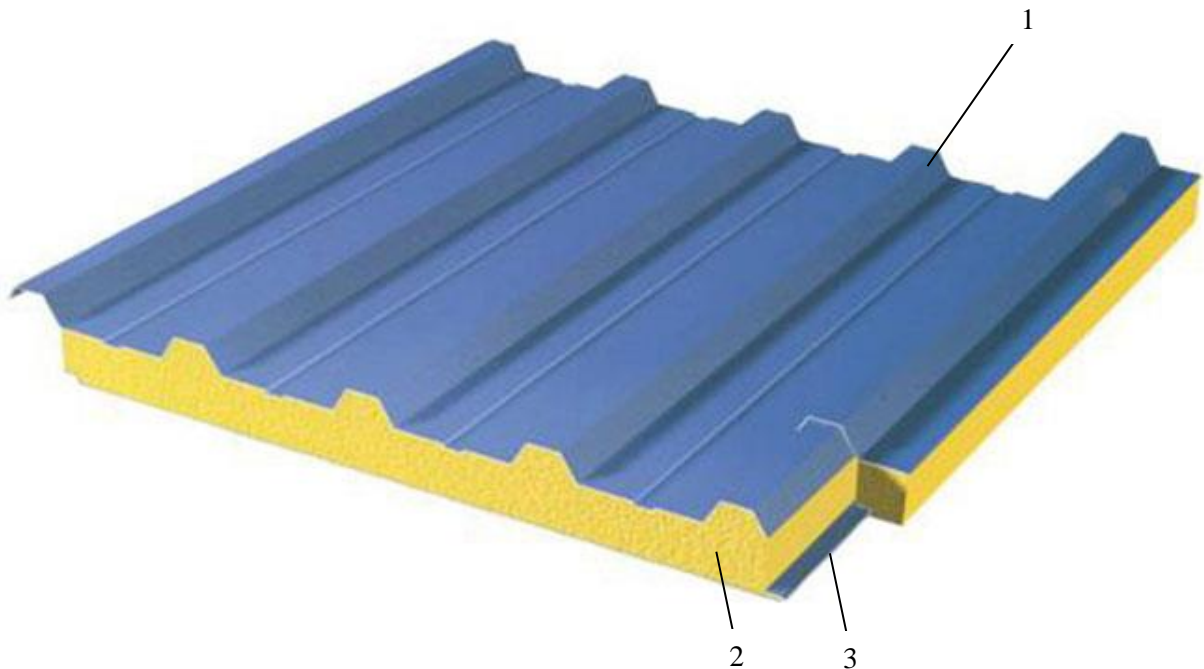
Dílna ve výzkumu je umístěna samostatně docela daleko od jiných budov. Dílna má čtyři venkovní stěny, které zahrnují stěnová okna a vstupní vrata. Modelový objekt je typický průmyslový jednopodlažní hala se střešním oknem ze světlých propustných plastových krytů, které zlepšují světlo uvnitř haly. Zjednodušený obecný model dílny je uveden na obrázku 4.14.



Obrázek 4.14: 3D modelování experimentální dílny: 1 – střešní okno; 2 – nástěnné okno;
3 – vstupní vrata; 4 – stínící prvek.

Nosnou konstrukcí je železný rám s vyzdívaným obvodovým pláštěm z cihlového materiálu. Střecha je z vlnitého plechu, pod níž je vrstva pěnového polystyrénu, který chrání před přehřátím slunečním zářením. Podlaha haly je betonová bez tepelné izolace. Nástěnná okna v objektu jsou bez tepelné izolace – jednovrstvé. Světlíky jsou z dutinového polykarbonátu. Vstupní sekční vrata jsou z železných plechů.

Střechy s pěnovými polystyrény jsou zkoumány a vyráběny na základě povětrnostních podmínek ve Vietnamu. Jsou považovány za nejvhodnější řešení pro všechny typy budov zejména u těch hal, které pomáhají významně snížit pocit tepla, nepohodlí a horkých letních dnů. Základní konstrukce střechy je uvedena na obrázku 4.15.



Obrázek 4.15: Základní konstrukce střechy s pěnovým polystyrénem EPS: 1 – vlnitý ocelový plech; 2 – pěnový polystyrén EPS; 3 – PVC folie.

Tento materiál je navíc velmi šetrný k životnímu prostředí, je schopný recyklace a nevyvolává skleníkový efekt. Zejména může zcela nahradit tradiční betonové bloky, což nám ušetří maximální stavební náklady.

Technické specifikace materiálu:

- Tloušťka vrstvy plechu: 0,6 mm.
- Vrchní plocha plechu je pozinkovaná: $244 - 305 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.
- Povrch je potažen polyesterovou vrstvou, jako je silikonový polyester, fluoridový polyesterový povlak pro zvýšení trvanlivosti, poskytuje antioxidační výhody, odolává

slunečním ultrafialovým paprskům, kyselinám, chemikáliím a drsným povětrnostním podmínkám.

- Hustota pěnového polystyrénu: $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s tloušťkou 75 mm.
- Součinitel prostupu tepla střechy $k = 0,013 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

V létě ve Vietnamu, denní venkovní teplota a sluneční záření zvyšuje extrémně. Energie pro udržení vnitřní teploty v doporučené hodnotě závisí na konstrukci budovy (materiál, architekt atd.) i na zastínění stromy. Hlavní stavební materiály dílny a součinitele prostupu tepla materiálů jsou uvedeny v tabulce 4.6.

Tabulka 4.6: Charakteristika energeticky relevantních dat výzkumné výstavby

Konstrukce pláště budovy	Plocha [m^2]	Činitel teplotní redukce [-] *	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] *
Obvodový plášť	476	1,00	0,70
Střecha	1 020	1,00	0,013
Nástěnná okna	78	1,00	0,78
Střešní okna	90	1,00	2,50
Podlaha	990	0,07	4,00
Vstupní vrata	48,5	1,00	58

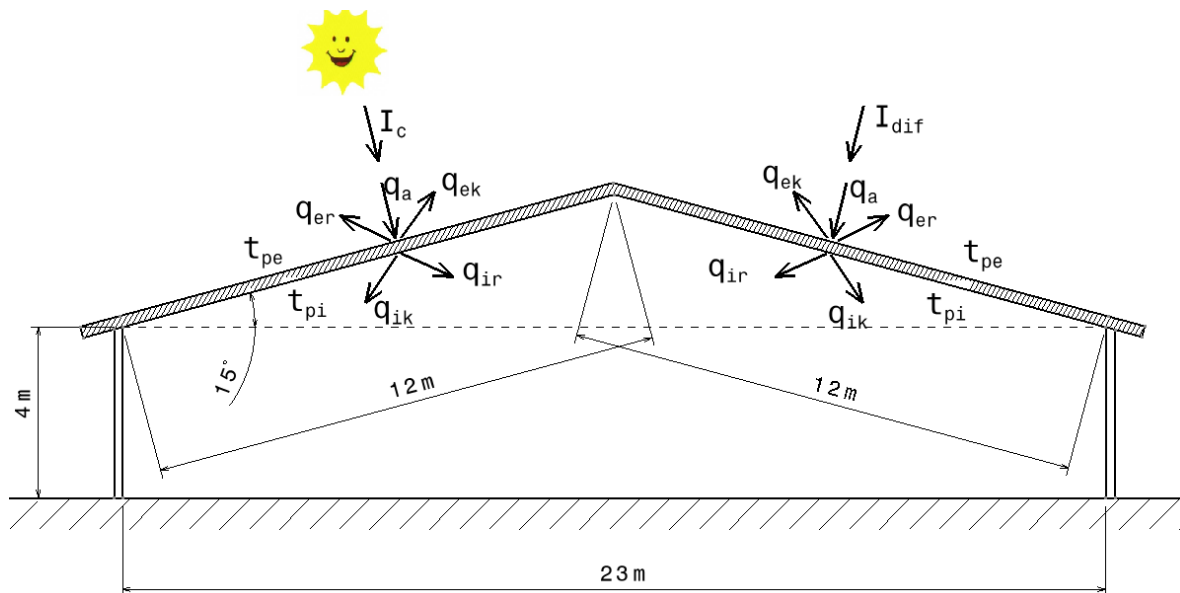
* Hodnoty jsou uvedeny dle vietnamské normy QCVN 09:2013/BXD.

Stavební konstrukční údaje jsou vstupní data k výpočtu tepelné bilance dílny. Sestavení vzorců bude řešeno v další fázi výzkumu se stejným způsobem u těch dvou dílen v kapitole 4.3 a 4.4.

Orientace a zastínění stromy kolem dílny snižuje sluneční záření, které dopadá na obvodový plášť dílny. Vnitřní teplota v dílně je silně ovlivněna hlavně slunečním zářením dopadajícím na střechu zejména v létě, když je současně vysoká venkovní teplota vzduchu. K zjištění vlivů slunečního záření na vnitřní teplotu, několik různých materiálů střechy s různou barvou bylo vybráno k výpočtu prostupu tepla střechou. Pro výpočet je použit matematický model *STRECHA* (Kic, P.) (dosud nepublikováno), zpracovaný pro výpočet tepelné bilance střechy. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 5.11.

Vstupní údaje pro výpočet jsou konstrukční údaje dílny (viz obrázek 4.16). Další vstupní údaje jsou data lokálního průměrného slunečního záření a venkovní teploty v létě, které jsou

dostupné od interaktivního nástroje (Photovoltaic geographical information system – dostupná z internetu).



Obrázek 4.16: Základní schéma prostupu tepla střechou dílny.

Vysvětlení symbolů ve schématu:

I_c - celkové sluneční záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

I_{dif} - difuzní sluneční záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_a - získané sluneční záření na ploše střechy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_{er} - venkovní přenos tepla radiací od střechy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_{ek} - venkovní přenos tepla konvekcí od střechy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_{ir} - vnitřní přenos tepla radiací od střechy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_{ik} - vnitřní přenos tepla konvekcí od střechy [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

t_{pe} - venkovní povrchová teplota střechy [$^{\circ}\text{C}$],

t_{pi} - vnitřní povrchová teplota střechy [$^{\circ}\text{C}$].

Z dosažených výsledků bude možné vybrat vhodnou variantu skladby a typu střechy z hlediska zlepšení vnitřních podmínek stávajícího stavu dílny a současně získané poznatky uplatnit u obdobných nových staveb s cílem snížení tepelných zisků sluneční radiací.

5 Výsledky a diskuse

Tato kapitola shrnuje postupně veškeré dosažené výsledky ve vytyčených cílech této práce. V rámci výsledků je uvedena také diskuze a vlastní návrhy řešení.

5.1 Větrání

5.1.1 Vliv HVAC systému na mikroklimatické parametry ve sportovních halách z hlediska větrání

Prachové znečištění ve sportovních halách bylo hodnoceno v jiné výzkumné práci (Kic, 2016). Tento výzkum ukázal vliv rozměrů místností a intenzivní ventilace na znečištění prachem, že intenzivní větrání má velmi velký vliv na čistotu vnitřního vzduchu a snížení znečištění ovzduší prachem, které může snížit celkovou koncentraci prachu a tím i koncentraci všech prachových částic. Intenzivní větrání je důležitější, pokud místnost má malé rozměry a vysoký počet sportovců. V následující výzkumné práci budou vyhodnoceny vlivy HVAC systému budov na mikroklima ve samých sportovních halách.

V tabulce 5.1 jsou výsledky měření mikroklimatických parametrů v hlavních sportovních halách (Cao, 2017). První měření bylo provedeno v letním období v prostorech bez aktivace HVAC; druhé měření bylo v zimním období při aktivaci HVAC. Poté byly získané výsledky porovnány s hodnotami doporučenými v příslušných normách.

Tabulka 5.1: Průměrné hodnoty a standardní odchylky teploty vzduchu t , relativní vlhkost RH a koncentrace CO_2 ve čtyřech místnostech a venkovní během krátkodobých měření.

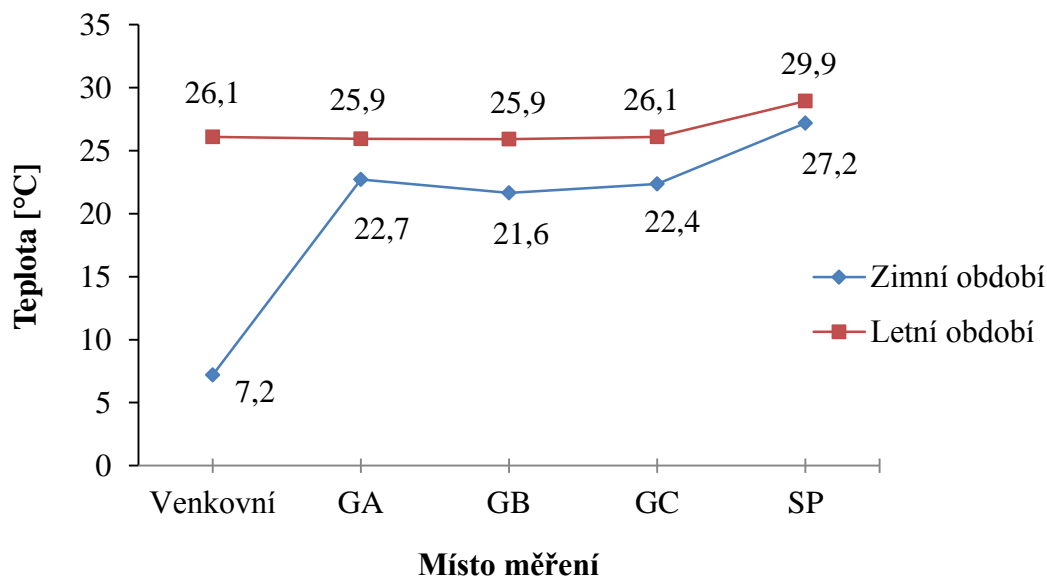
Místo měření	t [°C ± SD]	RH [% ± SD]	CO_2 [% ± SD]
Externí	26,1 ± 0,8	46,9 ± 4,4	0,040 ± 0,001
GA	25,9 ± 0,1	56,2 ± 0,3	0,056 ± 0,001
GB	25,9 ± 0,1	55,7 ± 0,4	0,052 ± 0,001
GC	26,1 ± 0,1	57,1 ± 0,6	0,065 ± 0,002
SP	28,9 ± 0,4	53,4 ± 3,0	0,051 ± 0,004

SD – Standardní odchylka.

Tabulka 5.1 jasně ukazuje, že teploty v místnostech GA, GB a GC byly téměř stejné, teplota v SP byla vyšší. Tento jev se stal, protože sluneční svit přímo dopadal na velký povrch skla na stěně SP, které se ohřívalo, a tím vnitřní teplota se také zvýšila. Dosažení zachování lepší tepelné pohody uvnitř SP lze použitím vnější rolety na povrchu skla.

Z hlediska koncentrace CO₂, měření bylo provedeno v následujícím stavu: v GA, GB nebyli sportovci; v GC bylo 8 osob, které cvičili, a všechny místnosti nebyly aktivovány ventilací. A proto koncentrace CO₂ v GC byla vyšší než v GA a GB. K udržení akceptované úrovně koncentrace CO₂ v místnostech byla nutná aktivace ventilačního systému, protože při sportovních aktivitách sportovci používají větší množství O₂ a vydechují větší množství CO₂ než obvykle. Například v SP bylo 16 studentů, když byla ventilace aktivována, množství emisí CO₂ výrazně klesalo ve srovnání s GC. V případě, že okna byla zavřena, ventilační činnost systému HVAC zlepšila příjem kyslíku a snížila oxid uhličitý v místnostech pro sportovce během fyzické aktivity.

V zimě, kdy byla venkovní teplota mezi 7 °C a 7,3 °C, měření bylo provedeno během normální funkce místností, se studenty a se standardním větráním a topením. Porovnání teplot ve všech pokojích je shrnuto na obrázku 5.1 (Cao, 2017).



Obrázek 5.1: Srovnání venkovní a vnitřní teploty vzduchu čtyř místností v létě i v zimě.

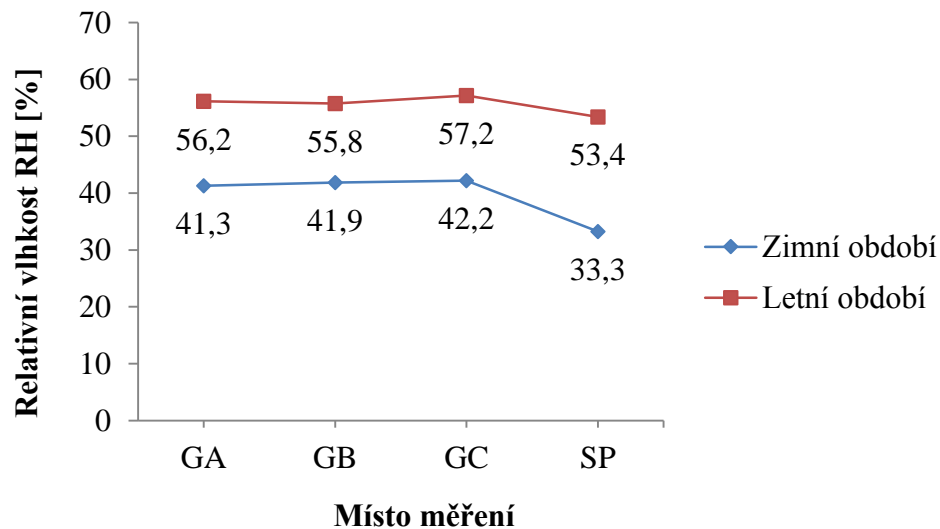
Podle obrázku 5.1, účinek topného systému byl velmi významný na zvýšení teploty v místnostech. Teplota ve všech pokojích (v rozmezí od 21,6 °C do 27,1 °C) se výrazně

zvýšila ve srovnání s venkovní teplotou. To znamená, že tento způsob udržoval tepelnou pohodu v místnostech pro studenty se sportovní činností.

Teplotní doporučení pro letní a zimní období se mohou lišit; doporučený typický letní rozsah je 23 °C až 25,5 °C, přičemž zimní teplota je od 20 °C do 23,5 °C (Burroughs a Hansen, 2011). To ukazuje, že získané výsledky teploty v GA, GB, GC v zimním období (21,6 – 22,7 °C) byly v rozsahu doporučených hodnot.

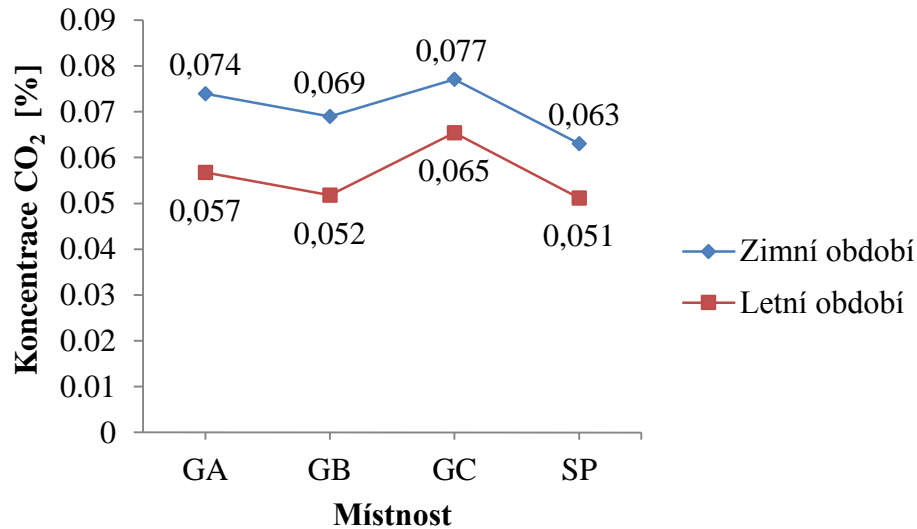
Pro SP, FINA (Mezinárodní řídicí orgán pro plavání, potápění, vodní pólo, synchronizované plavání a otevřené potápění s vodou) nastavil teplotu vody pro soutěžní plavání mezi 25 °C – 28 °C, pro synchronní plavání 27 °C. Pro komerční bazény, pro soutěžní bazény, by voda neměla být vyšší než 28 °C, u rekreačních bazénů doporučené maximum je 29 °C. Proto teplota v SP (kolem 28,9 °C) byla dobrá pro plavání studentů.

Když vzduch v místnostech byl vyhříván a větrán, vlhkost se snížila. Porovnání vlhkosti v létě a v zimě je na obrázku 5.2 (Cao, 2017).



Obrázek 5.2: Srovnání vnitřní relativní vlhkosti čtyř místností v létě i v zimě.

Výsledky měření koncentrace CO₂ v létě i v zimě byly také ukázány a porovnány na obrázku 5.3 (Cao, 2017).

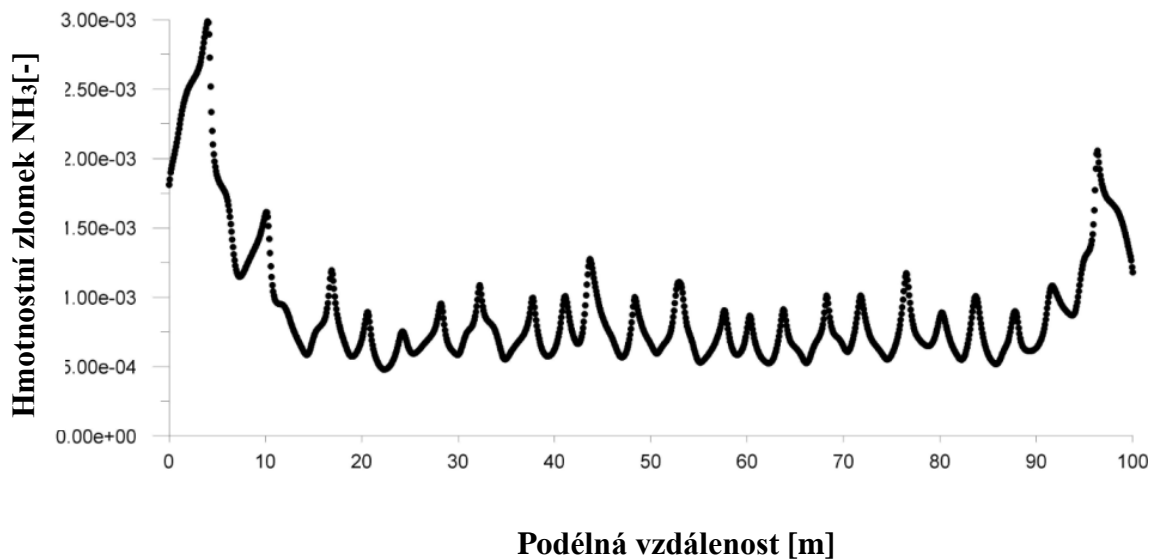


Obrázek 5.3: Srovnání koncentrace CO₂ čtyř místností v létě i v zimě.

Podle Americké společnosti pro vytápění, chlazení a klimatizaci (ASHRAE) je rozsah vlhkosti pro lidi mezi 30 a 60 % relativní vlhkosti a ideální je 45 až 55 % (John, 2012). Z výsledků měření, ventilační systémy byly ve všech místnostech aktivovány, nicméně, vnitřní koncentrace CO₂ byla stále vyšší než venkovní koncentrace a vyšší než koncentrace v případě prázdných místností. To ukazuje, že větrání ve všech pokojích nestačilo ke snížení koncentrace CO₂ na standardní úroveň (< 600 ppm). Proto v tomto případě s daným množstvím studentů, bylo nutné zvýšení intenzity ventilátorů, aby se udrželo dostatečné množství O₂ pro studenty a odvádění CO₂. I když výše uvedená úroveň je zcela normální, pokud jde o hodnocení vlivu CO₂ na zdravé dospělé osoby, může se občas vyskytnout maximální hladina. Obecně platí, že rychlost větrání by měla udržovat koncentrace oxidu uhličitého pod 1 000 ppm, aby se vytvořily podmínky pro vnitřní vzduch, které jsou pro většinu jednotlivců přijatelné. Proto výsledky měření koncentrace CO₂ se ukazují, že byla v přijatelné a komfortní úrovni pro studenty v dobrém zdravotním stavu.

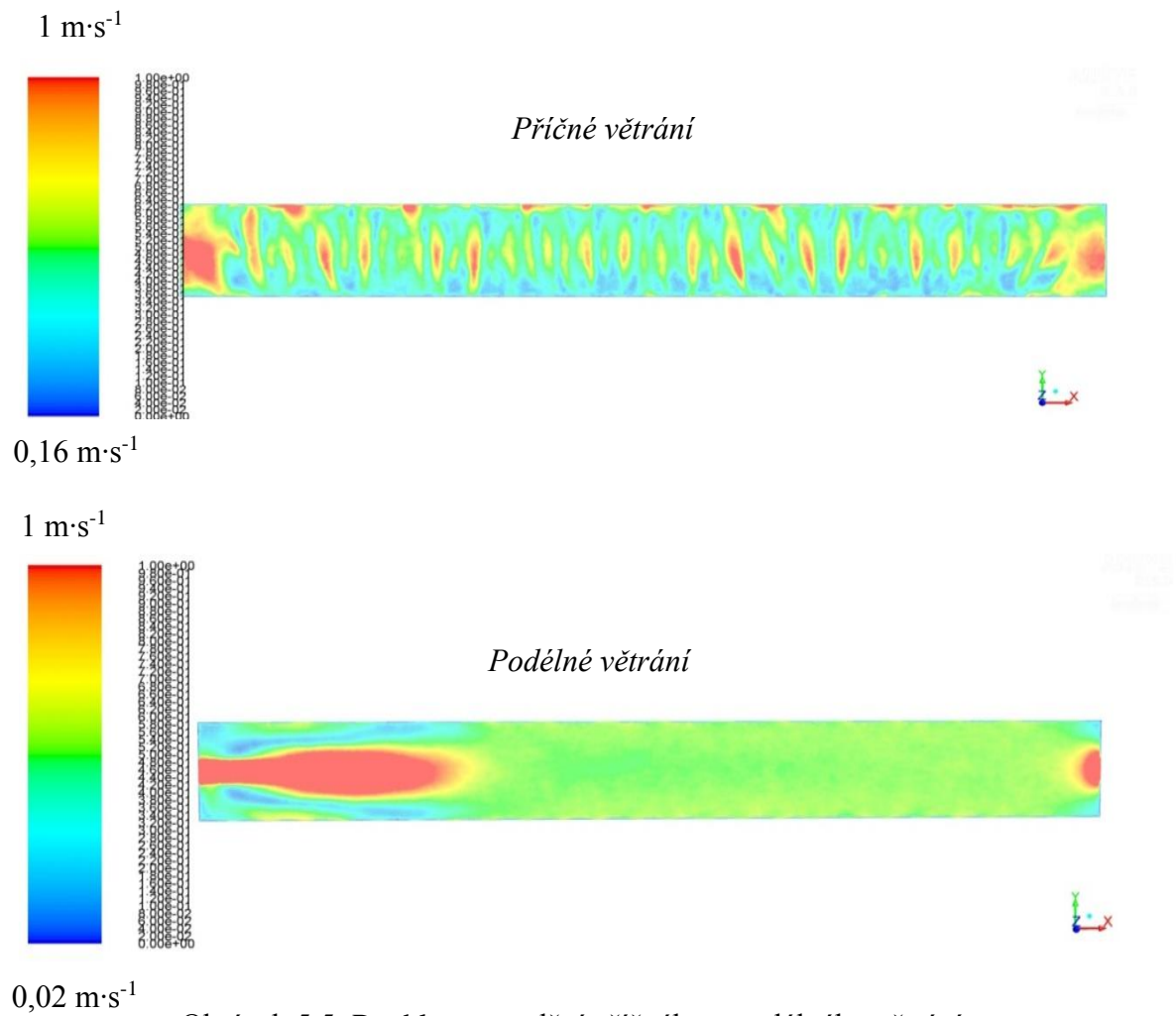
5.1.2 Letní větrání v ustájecím prostoru pro výkrm brojlerů v CFD modelování

Prezentované výsledky vycházejí přímo z naměřených hodnot a celkový průtok byl stejný pro obě základní konfigurace.

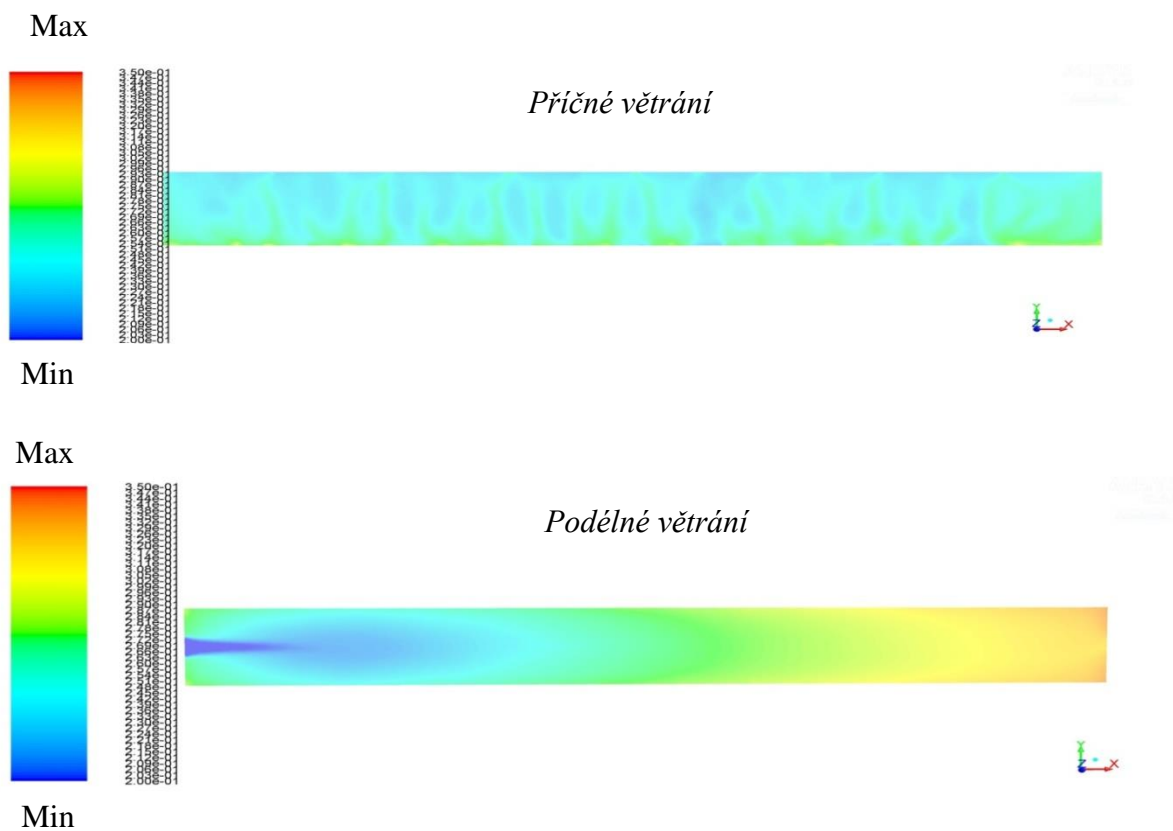


Obrázek 5.4: Hmotnostní zlomek NH₃ v případě příčného větrání.

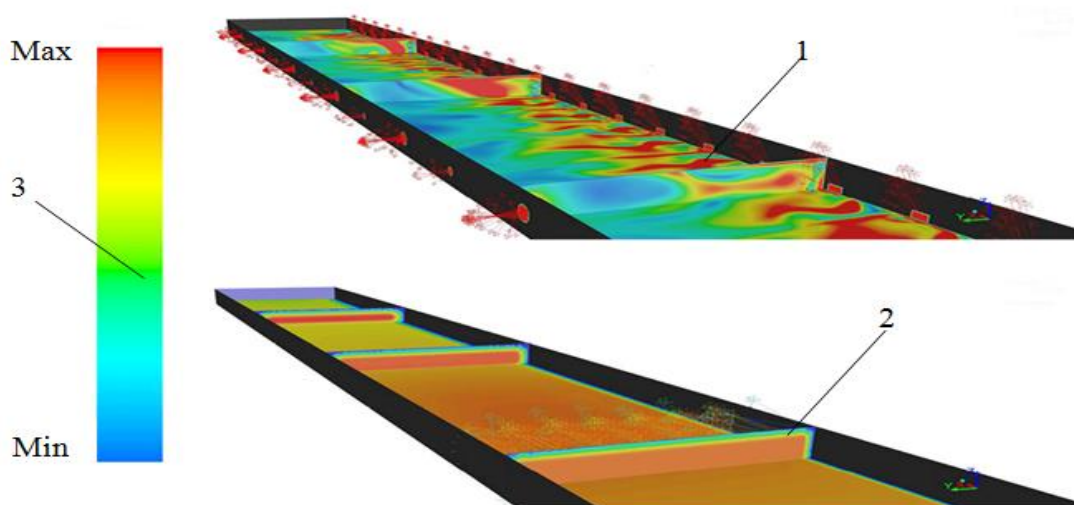
Hmotnostní koncentrace amoniaku byla dočasně úspěšně realizována pouze při příčném větrání, kterou lze vidět na obrázku 5.4. Výsledky srovnávání mezi příčným a podélným větráním zatím nejsou k dispozici. Na obrázku 5.5 a 5.6 porovnává rychlost proudění a koncentrace CO₂ podélného a příčného větrání (Cao, Zajicek a Kic, 2017). Celkový průtok byl stejný pro obě varianty proudění. Nicméně, u menšího průřezu v průběhu podélného větrání, rychlost proudění byla vyšší než u většího průřezu příčného větrání. Je zřejmé, že tok během příčného větrání je velmi kolísavý, přičemž tvary opakující se rychlosti odpovídají poloze oken a ventilátorů. Dá se říci, že tu znázorněný vzorek je jediný z mnoha možností získaných jako ustálené řešení.



Obrázek 5.5: Rychlost proudění příčného a podélného větrání.



Obrázek 5.6: Koncentrace CO₂ příčného a podélného větrání.



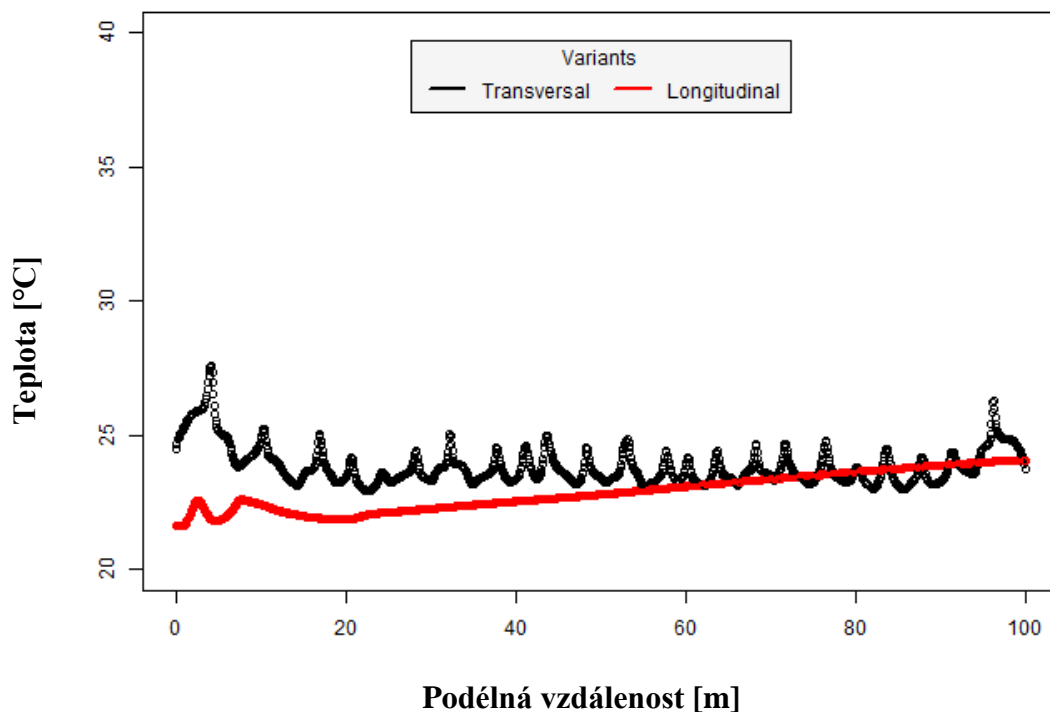
Obrázek 5.7: Srovnání průtokového diagramu pro příčné a podélné větrání:

- 1 – příčné větrání: min = 0 m·s⁻¹, max = 1,6 m·s⁻¹;
- 2 – podélné větrání: min = 2 m·s⁻¹, max = 2,7 m·s⁻¹;
- 3 – úroveň rychlosti.

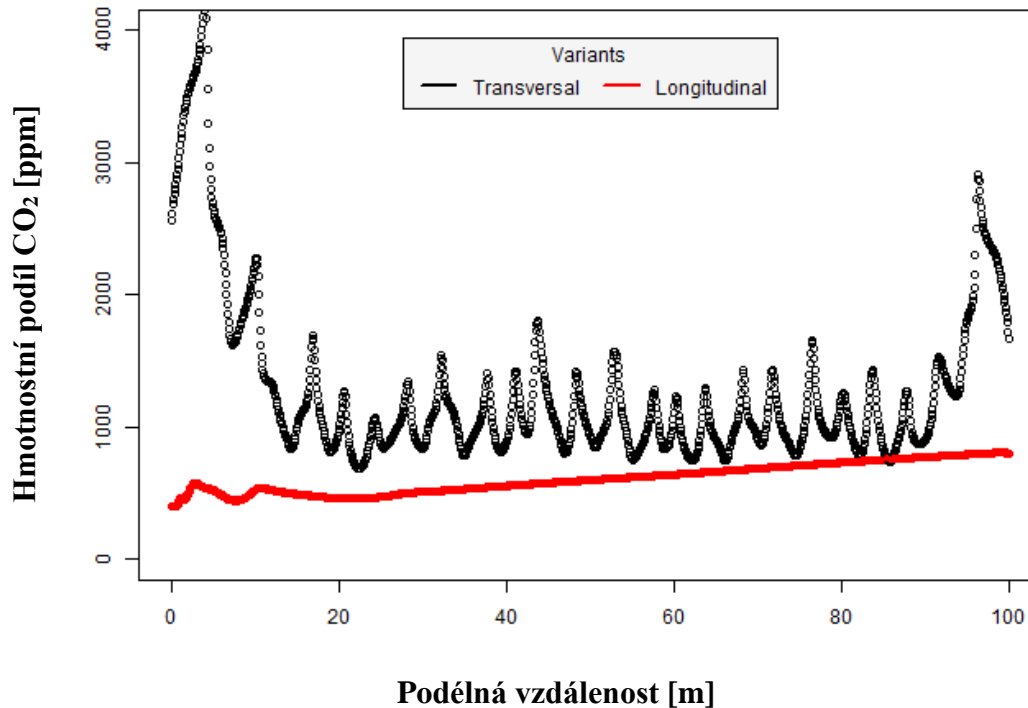
Přesnější zobrazení výsledků CFD lze provést vizualizací výsledků ve formě grafů (Cao, Zajicek a Kic, 2017). Obrázek 5.8 a 5.9 znázorňují porovnání příčného a podélného větrání ve stejném profilu, který je definován jako středová osa stojanu ve výšce 0,5 m nad podlahou. Je zřejmé, že v případě příčného větrání existuje existence špatně větraných oblastí v přední a koncové části haly, protože koncentrace znečišťujících látek rychle rostou. Podélné větrání dělá větrání rovnoměrnější, ale zvířata na konci sálu jsou vystavena trvale vyšší koncentraci znečišťujících látek ve srovnání s těmi, kteří žijí v přední části haly.

Problémy nastávají zejména na konci výkrmu. Kuřata mají velkou hmotnost; produkují velké množství znečišťujících látek (Kic a spol, 2012; Aarnink a spol, 2009). Obvykle se tento problém řeší intenzivním větráním (Šottník, 2007; Zajíček a Kic, 2013), ale má spíše negativní vliv i na technické vybavení (Kic a spol, 2007).

Kuřata vnímají teplotu v závislosti na vlhkosti okolního prostředí. Pokud je relativní vlhkost mimo ideální rozsah 60 až 70 %, je třeba upravit teplotu uvnitř haly. Pokud je například RH blízko 50 %, musí být teplota zvýšena na 33 °C první den (De Basilio a spol, 2002). Ve všech fázích růstu kuřete je nutné pozorování a zajištění, aby kuřata vnímala vhodnou teplotu (Said a spol, 2016).



Obrázek 5.8: Srovnání teploty příčného (černý graf) a podélného (červený graf) větrání.



Obrázek 5.9: Srovnání hmotnostního podílu CO₂ ve střední ose stojanu ve výšce 0,5 m nad podlahou příčného (černý graf) a podélného (červený graf) větrání.

Simulační výsledky ukazují, že v hale, rychlost proudění podélného větrání je větší než příčného větrání. Z toho důvodu, vnitřní teplota a koncentrace CO₂ varianty navrhovaného podélného větrání jsou nižší než současného příčného větrání.

5.1.3 Větrání a klimatizace v dílnách

Výsledky měření v dílnách ukazují a analyzují venkovní a vnitřní teplotu spolu s relativní vlhkostí vzduchu ve dvou dílnách v letním období, kdy byly prostory bez ventilace a klimatizace. Poté byly získané výsledky porovnány s hodnotami doporučenými v příslušných normách.

Výsledky dlouhodobého měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve dvou dílnách jsou uvedeny v tabulce 5.2. Průměrná vnější teplota byla $18,7 \pm 4,4$ °C, průměrná vnější relativní vlhkost byla během výzkumného období $53,4 \pm 16,6$ % (Cao a Kic, 2018).

Výsledky tohoto měření ukazují, že rozdíly mezi oběma dílnami z hlediska teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti jsou statisticky významné na úrovni významnosti 0,05 během výzkumného období.

Tabulka 5.2: Výsledky měření a statistické vyhodnocení vnitřní teploty t_i , vnitřní relativní vlhkosti RH_i v dílnách WS1, WS2. Různá písmena (*a*, *b*) v horním indexu jsou znakem výrazného rozdílu (*ANOVA*, *Tukey HSD Test*, $P \leq 0,05$) mezi podmínkami v dílnách

Parametry	Dílna	
	WS1	WS2
$t_i \pm SD$ [°C]	31,8 ± 2,8 ^a	25,6 ± 1,6 ^b
$RH_i \pm SD$ [%]	28,6 ± 3,5 ^a	36,5 ± 3,9 ^b

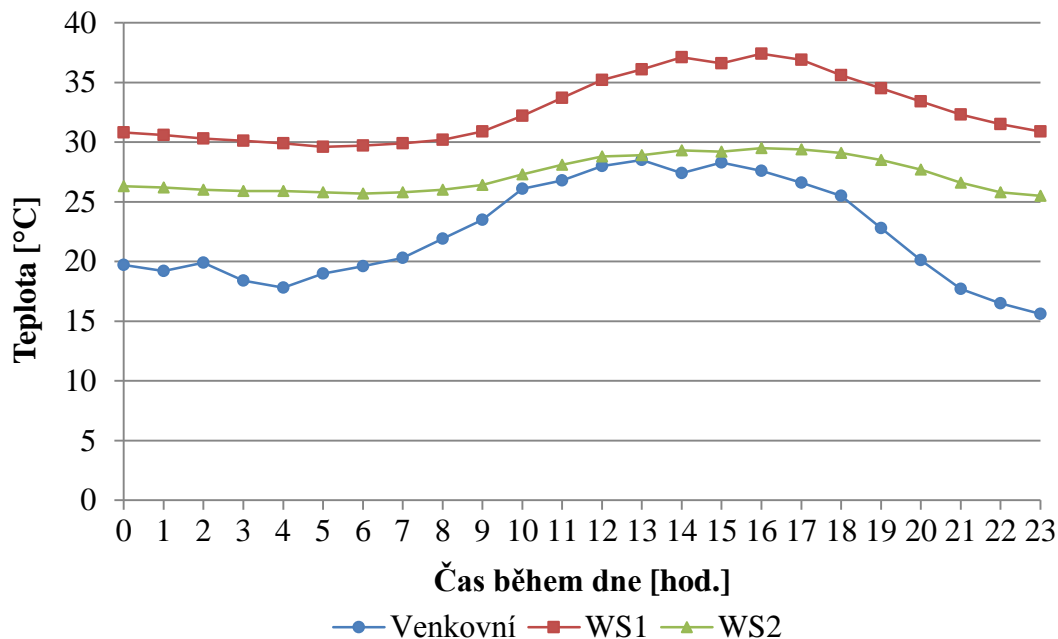
SD – Standardní odchylka

Teplota vzduchu v obou dílnách po celou dobu měření a teploty v obou dílnách byly vyšší než venkovní teploty (průměrná venkovní teplota byla 18,6 °C, ve WS2 byla 25,6 °C a ve WS1 byla 31,8 °C). Optimální teplota pro pracovníky v létě je 23 až 26 °C, což nebylo v tomto období dosaženo ani při vnější venkovní teplotě. Výsledky ukazují, že v létě, kdy dílna neměla ventilaci nebo chladicí výkon, pracovní místo ovlivňuje tepelný stres pracovníků ve WS1.

Z výsledků měření byla teplota vzduchu ve WS2 nižší než ve WS1. Snížení plochy střešních oken a zlepšení tvaru oken ve WS2 přispívá ke snížení dopadu slunečního záření na vnitřní tepelnou pohodu a snížení vnitřní teploty při nejvyšších vnějších teplotách, což by v konstrukci WS2 pomohlo snížit tepelný stres pracovníků.

Průměrné hodnoty a standardní odchylka ukazují, že relativní vlhkost ve WS1 a WS2 byla nižší a stabilnější než venku. Stejně jako u jiných budov vlhkost vzduchu nezpůsobuje velké problémy z hlediska mikroklimatického pohodlí. Doporučená maximální relativní vlhkost 70 % nebyla v obou dílnách překročena. To bylo dobré pro pracovníky a pro vybavení. Minimální doporučená vnitřní relativní vlhkost vzduchu je 30 %. Nízká relativní vlhkost 28,6 % v dílně WS1 byla pod doporučenou hodnotou. To odpovídá psychometrickým změnám vzduchu uvnitř dílny s velmi vysokou vnitřní teplotou.

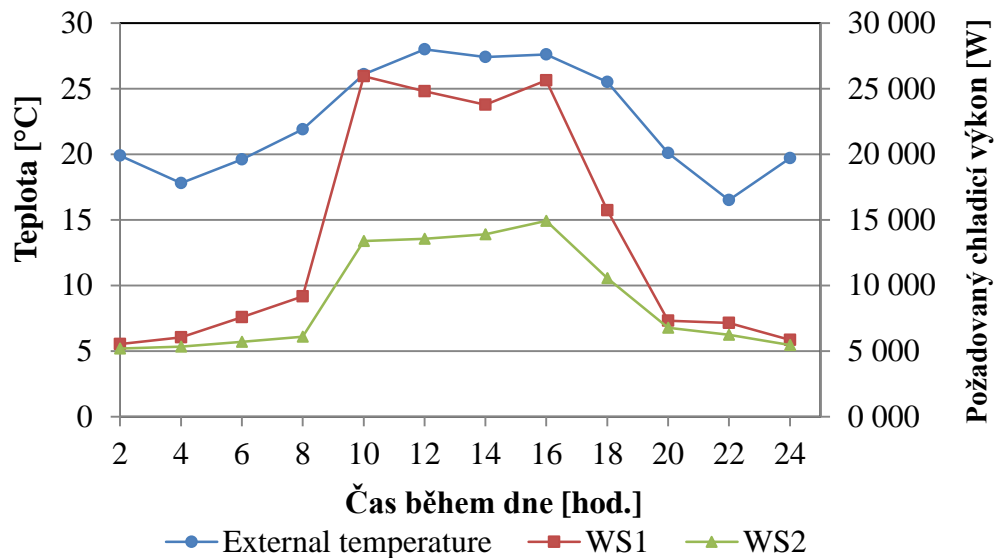
Pro další srovnání teploty, venkovní teplota a teplota v obou dílnách během 24 hodin denně jsou shrnuty na obrázku 5.10.



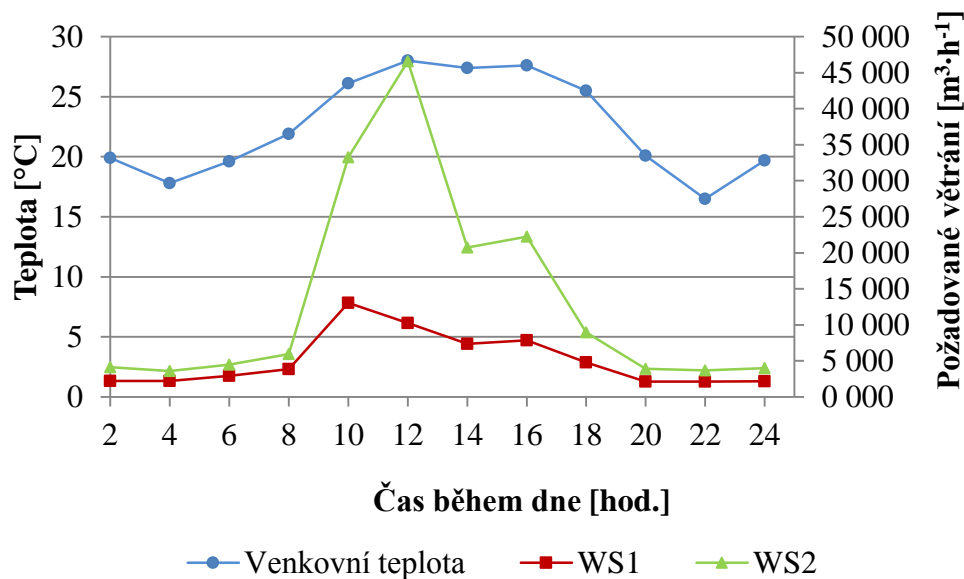
Obrázek 5.10: Venkovní teplota a teplota v obou dílnách během 24 hodin.

Nejvyšší teplota v obou dílnách byla od 14 hod. do 17 hod., což byla cca o 1 hodinu později než nejvyšší venkovní teplota. Teplota v noci (od 20 hod. do 6 hod.) byla nižší, protože sluneční záření nemělo vliv na dílny. Tyto dva jevy byly způsobeny hromaděním tepla ze stěn, podlahy a střechy budovy. Venkovní teplota se snížila, ale stavba této budovy uvolnila energii z denní teploty – proto byla vnitřní teplota vždy vyšší než venku.

V tomto případě můžeme použít klimatizační zařízení nebo nucenou ventilaci ke snížení vnitřní teploty na standardní hodnoty. Výpočtem energetické bilance můžeme vypočítat požadovaný chladicí výkon nebo požadovanou nucenou ventilaci ve dvou dílnách. Vypočítané výsledky jsou uvedeny na obrázku 5.11 a 5.12 (Cao a Kic, 2018).



Obrázek 5.11: Venkovní teplota a požadovaný chladicí výkon v obou dílnách během 24 hodin.



Obrázek 5.12: Venkovní teplota a požadované větrání v obou dílnách během 24 hodin.

Na obrázku 5.11 je znázorněn požadovaný chladicí výkon pro udržování vnitřní teploty 25 °C. V tomto případě, požadovaný chladicí výkon ve WS1 byl vyšší než ve WS2 přibližně o 11 kW při extrémní venkovní teplotě (od 12 hod. do 16 hod.). Od noci do rána se požadovaná chladicí síla postupně snižovala, a to téměř stejně v obou dílnách.

Potřebné větrání bylo vypočítáno k zajištění vnitřní teploty stejné jako venkovní. Získané výsledky jsou uvedeny na obrázku 5.12. Při extrémní venkovní teplotě, požadované větrání ve WS2 bylo vyšší než ve WS1, důvod je vidět v rovnici (4.7). V tomto případě, venkovní teplota byla 28 °C a vnitřní teplota byla 28,8 °C, proto teplotní rozdíl byl jen cca 0,8 °C. Výsledky ukazují, že když teplota přívodního a odváděného vzduchu je podobná, byla potřeba použita intenzivní ventilace k poklesu vnitřní teploty. Proto nebylo použito nucené větrání, když teplota přívodního a odváděného vzduchu je podobná.

Porovnání plochy pokryté střešními okny, stěnovými okny a naměřené hodnoty osvětlení ve dvou dílnách a vypočtených denních světelných činitelů jsou uvedeny v tabulce 5.3 (Cao a Kic, 2018). Během měření osvětlení byla průměrná současná osvětlenost nezastíněné vodorovné roviny E_H přibližně 27 000 lx.

Průměrné hodnoty a standardní odchylka jasně vykazaly, že relativní vlhkost ve WS1 a WS2 byla nižší a stabilnější než venku. Vlhkost vzduchu nezpůsobuje velké problémy z hlediska mikroklimatické pohody. Doporučená maximální relativní vlhkost 70 % nebyla v obou dílnách překročena. Interní vlhkost ve dvou dílnách byly dobré pro pracovníky a pro zařízení.

Průměrný denní faktor $e = 9,2\%$ v dílně WS1 byl větší než $e = 5,9\%$ ve WS2. Rozdíl mezi faktory denního osvětlení byl statisticky vyhodnocen a překvapivě rozdíl není významný u úrovně významnosti 0,05. To lze vysvětlit velkými standardními odchylkami naměřených hodnot osvětlení.

Tabulka 5.3: Výsledky měření osvětlení a vypočítaného denního faktoru osvětlení e ve dvou dílnách WS1, WS2 v krátkém čase s plochou střešních a stěnových oken. Stejně písmeno (a) v horním indexu je znaménko, že mezi faktory denního osvětlení v dílnách neexistuje žádný významný rozdíl (ANOVA, Tukey HSD test, $P \leq 0,05$)

Dílna	Plocha střešních oken [m ²]	Plocha stěnových oken [m ²]	Průměrné naměřené světlo [lx ± SD]	Faktor denního osvětlení e [% ± SD]
WS1	81	54	2 491 ± 1 451	9,2 ± 5,4 ^a
WS2	28,5	34	1 590 ± 1 435	5,9 ± 5,3 ^a

SD – Standardní odchylka

Průměrné denní světlo v první dílně činil 9,2 % a ve druhé dílně 5,9 %. Podle vizuální aktivity třídy IV v obou dílnách požadoval faktor denního osvětlení 5 %. Plocha střešního

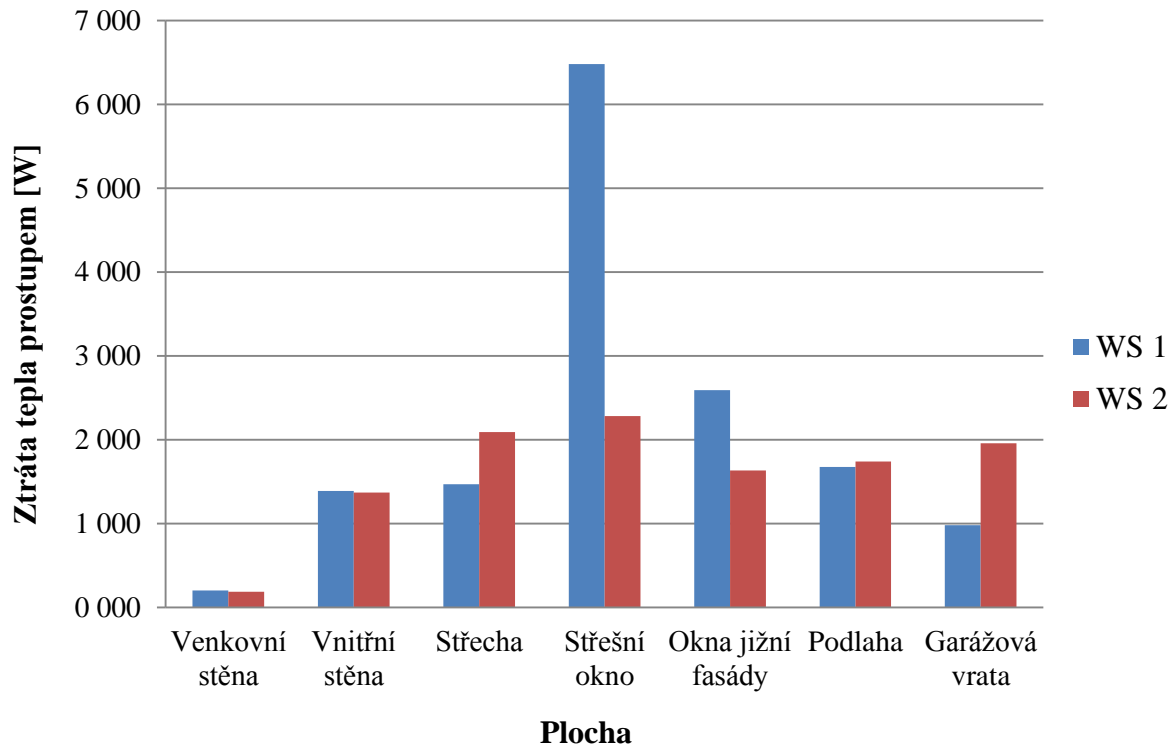
okna WS2 je menší než ve WS1, proto průměrná naměřená osvětlení ve WS2 byla nižší než ve WS1. Dá se říct, že pokud nedojde ke klimatizaci nebo větrání, v případě poklesu plochy střešního okna se teplota také snižuje, ale intenzita osvětlení je nižší, nicméně není významný.

5.2 Vytápění a klimatizace

5.2.1 Zlepšení tepelné bilance v dílnách v zimním období

V zimě proudí hlavně teplo do budovy sálavou energií, která je ze slunečního záření a vstupuje okny, aby zahřívala vnitřní prostory nebo ukládala energii v tepelné hmotě (přímé sluneční zisky). Únik tepla z budovy je způsoben dvěma hlavními důvody: únikem tepla netěsnostmi v plášti budovy na vnější prostor nebo do země; ztráta vnitřního tepla větráním (Benhammou a spol, 2017).

Podle českých norem (ČSN 06 0210), je-li vypočtená vnější teplota v zimě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, vypočtená teplota podlahy bez tepelné izolace je $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zejména podle českých norem (ČSN 730540-4) činí faktor snížení teploty podlahy pouze 0,07, což vede k výraznému poklesu prostupu tepla zevnitř na zem. Tepelně-technické výpočty byly provedeny pro všechny oblasti dvou dílčích pracovišť v programu Mathcad. Získané výsledky jsou na obrázku 5.13 (Cao a Kic, 2018).



Obrázek 5.13: Ztráta tepla prostupem u obou experimentálních dílen.

Sřešní okno z polykarbonátu bylo určeno především pro denní světlo, které má vysoký koeficient prostupu tepla. Tato střecha měla také velký povrch ve WS1; proto došlo k největší tepelné ztrátě prostupem (6 480 W). Ve WS2 bylo sřešní okno sníženo (cca 64,6 %), tepelná ztráta prostupem klesla (2 280 W). Přizemí bylo největší a má také nejvyšší koeficient prostupu tepla, ale faktor snížení teploty byl velmi nízký (0,07), proto tepelná ztráta na podlaze bez izolace nebyla vysoká (cca 1 700 W). Ztráta tepla byla nejnižší v oblasti venkovní stěny, která měla malou plochu a nejmenší koeficient prostupu tepla.

Výpočet byl použit, který je k dispozici na české stránce (online-příručka dostupná z internetu). Do tohoto vzorce byly vyplněny všechny informace z výzkumných konstrukcí. Získané výsledky z online výpočtu a z programu Mathcad jsou uvedeny v tabulce 5.4.

Tabulka 5.4: Celková tepelná ztráta prostupem v zimě

Dílna	Tepelná ztráta z Mathcadu [W]	Tepelná ztráta z on-line kalkulačky [W]	Průměrný tepelný zisk ze slunečního záření [W]	
			Střešní okno	Stěnové okno
WS1	14 790	13 556	8 257	1 306
WS2	11 260	11 872	2 905	812

V tomto výzkumu byl vypočítán prostup tepla v těchto dílnách bez nucené ventilace; všechna okna a dveře byly zavřené. Získané výsledky z obou metod výpočtu ukazují, že tepelná ztráta prostupem v WS2 byla nižší než u WS1 (cca 23,8 % v případě použití vzorců). Hlavním důvodem byl vliv střešního okna. Proto je nutná ve WS1 více energie pro vytápěcí systém. V některých případech je potřeba použita ventilace pro dílnu; zvýší se tepelná ztráta prostupem. Zařízení pro tepelnou instalaci v dvou dílnách bylo od značky ROBUR z České republiky. Každá dílna měla tři jednotky, které měli jmenovitý tepelný výkon 21 kW – to bylo dostatečné pro udržení vnitřní teploty v doporučené hodnotě.

Průměrný tepelný zisk byl vypočten ze slunečního záření v období od 8:00 do 16:00 hod. a tepelné záření bylo získáno hlavně ze střešního okna. Během slunečných dní v zimě mohlo sluneční záření přispět ke zvýšení tepelného pohodlí v budově, pokud nebyl vytápěcí systém aktivní. To znamená, že při využití této sluneční radiace se snižuje energie pro vytápěcí systém. V tomto případě byla tepelným ziskem ze slunečního záření spotřeba energie pro topná zařízení v WS1 5 497 W a v WS2 7 543 W. Proto bylo v tomto případě střešní okno užitečné.

5.2.2 Vliv žaluzií a slunečního záření

Další naměřené výsledky přinesly základní pohled hlavních parametrů mikroklima v kancelářských prostorách a porovnání získaných výsledků s hodnotami doporučenými v příslušných normách. Na základě výsledků měření, vliv žaluzií na hlavní mikroklima je vyhodnocen.

Výsledky dlouhodobého měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve čtyřech kancelářích jsou uvedeny v tabulce 5.5 (Cao a Kic, 2019).

Tabulka 5.5: Průměrné hodnoty se standardními odchylkami teploty vzduchu t , relativní vlhkosti RH a indexu teploty a vlhkosti THI ve čtyřech kancelářských místnostech a venku v meteorologické stanici během dlouhodobých měření. Různá písmena (a , b , c) v horním indexu jsou znakem vysokého významného rozdílu (ANOVA; Tukey HSD test; $P \leq 0,05$)

mezi podmínkami v místnostech

Místo měření	t [°C ± SD]	RH [% ± SD]	THI [-]
Externí	18,9 ± 3,3	69,6 ± 14,2	64,1 ± 4,3
R1	24,8 ± 1,1 ^a	45,5 ± 5,1 ^a	70,9 ± 1,2 ^a
R2	25,0 ± 0,9 ^{a, b}	45,2 ± 4,8 ^a	71,2 ± 1,0 ^{a, b}
R3	25,4 ± 1,1 ^c	44,2 ± 5,4 ^a	71,5 ± 1,2 ^b
R4	25,2 ± 1,0 ^{b, c}	44,3 ± 5,3 ^a	71,3 ± 1,0 ^b

SD – Standardní odchylka

Pracovní doba ve dnech je obvykle od 7 hod. do 17 hod., což je doba, kdy mikroklima bylo vyhodnoceno. V téhle době, byla maximální teplota vzduchu a minimální relativní vlhkost. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. pro práci s počítačem v kanceláři, doporučená teplota je od 20 °C do 27 °C a doporučená relativní vlhkost je od 30 % do 70 %. Vnitřní podmínky byly ovlivňovány aktivitou osob uvnitř (rozdílné postavení žaluzií, různá ventilace atd.), proto bylo srovnání a statistické vyhodnocení mikroklima společné pro všechny čtyři místnosti.

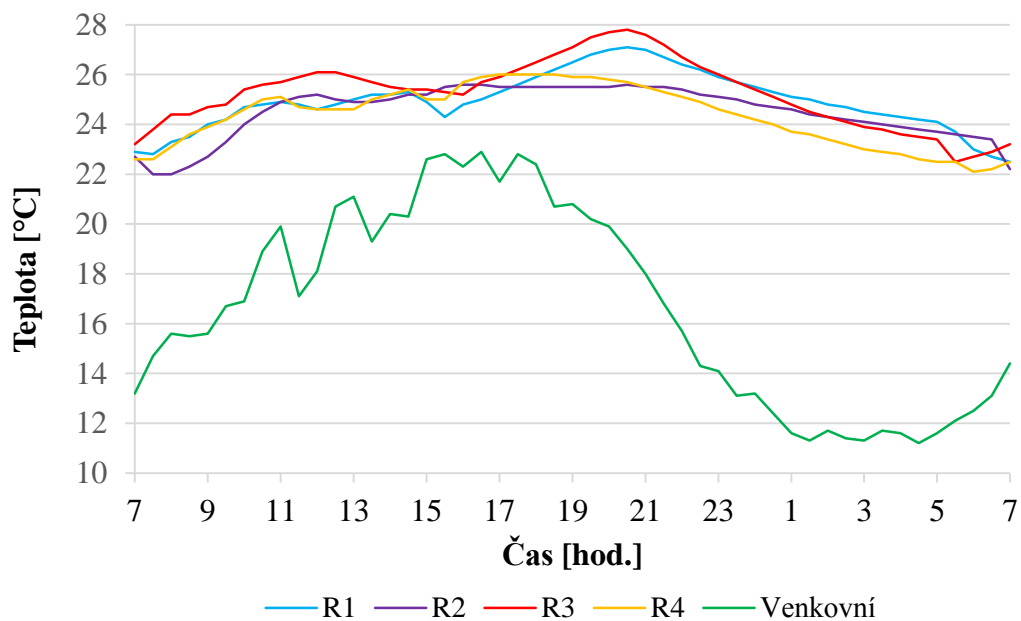
Nejlepší podmínky byly v místnosti R1, ale v místnostech R1 a R2 nebyly výrazně rozdílné teploty vzduchu s venkovními žaluziemi, které byly nižší než v místnostech s vnitřními žaluziemi R3 a R4. Rozdíl mezi teplotami v místnostech R3 a R4 nebyl významný. Mezi teplotami v místnostech R2 a R4 dokonce nebyl významný rozdíl. Lze to vysvětlit různou aktivitou lidí uvnitř.

Vnitřní relativní vlhkost vzduchu byla v doporučeném rozsahu, významně nižší než venkovní, protože vnitřní teplota byla vyšší. Mezi místnostmi nebyly významné rozdíly. Naměřené výsledky ukazují, že relativní vlhkost byla v rozmezí doporučených hodnot, nicméně teploty vzduchu byly někdy vyšší než doporučení (28,5 °C v místnosti R3; 28,3 °C v místnosti R4). To znamená, že tímto způsobem tepelná pohoda nebyla zachována v místnostech pro všechny pracovníky při jejich práci v kanceláři, bylo nutné použití intenzivní větrání nebo vybavení klimatizace ke snížení teploty vzduchu.

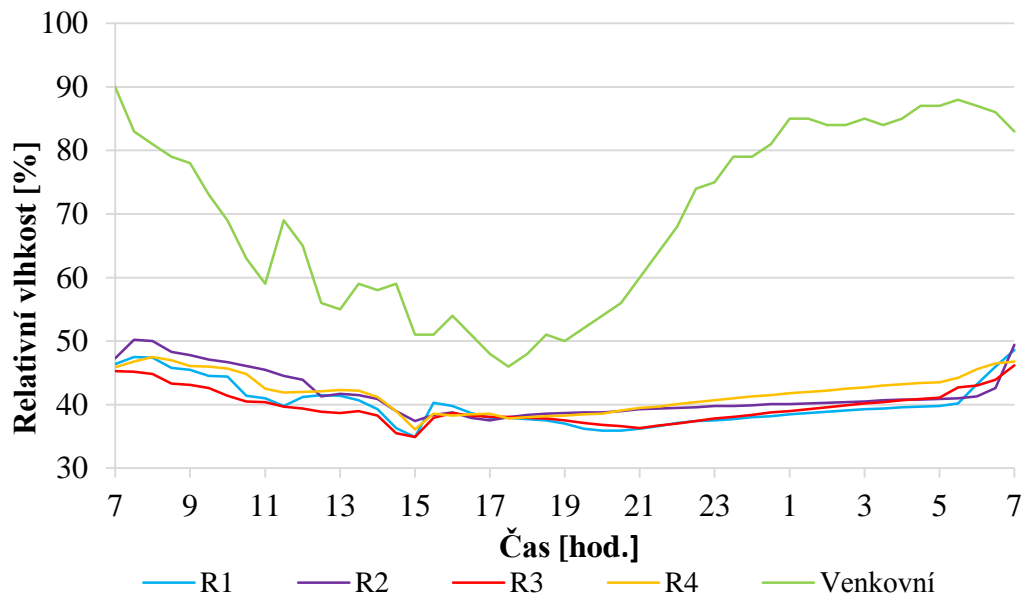
Ohledně vlivu použití žaluzií, maximální teplota vzduchu v místnosti R1 (27,0 °C) a R2 (26,6 °C) byla nižší než v místnosti R3 (28,5 °C) a R4 (28,3 °C). Teplota vzduchu v místnosti R1 a R2 nepřekročila maximální doporučenou teplotu (27 °C). Výsledky ukazují, že použití externích žaluzií bylo v této budově užitečné, což přispělo ke snížení teploty vzduchu.

Index teploty a vlhkosti THI je od 70,9 do 71,3. To znamená, že byl stav pohotovosti, dlouhodobá expozice se projevuje únavou. V místnostech byly lepší podmínky s externími žaluziemi (R1 a R2), rozdíl THI ve srovnání s místnostmi s vnitřními žaluziemi nebyl velký, nicméně mezi místnostmi R1 a ostatními byl významný.

Průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu pro reprezentaci ve čtyřech kancelářských místnostech a venku během 24 hodin (od pondělí ráno do úterý ráno) pracovního dne je na obrázcích 5.14 a 5.15 (Cao a Kic, 2019).



Obrázek 5.14: Průběh teploty vzduchu ve čtyřech místnostech a venku během 24 hodin pracovního dne.



Obrázek 5.15: Průběh relativní vlhkosti vzduchu ve čtyřech místnostech a venku během 24 hodin pracovního dne.

Průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti ve čtyřech místnostech během dne byl opakován každý den od pondělí do pátku. To ukazuje, že teplota v místnosti R3 byla téměř nejvyšší během dne, teplota v místnosti R2 byla nejnižší. Nicméně, rozdíl nebyl velký. To znamená, že venkovní žaluzie snižovala teplotu vzduchu více než při použití textilních svislých žaluzií. Kdy se používá přirozené větrání, nebyly příliš velké rozdíly a účinnost v průběhu pracovní doby.

Studie, například, Höppe (1993) a Melikov a spol (2013) ukazují, že rychlost proudění vzduchu ovlivňuje přenos konvektivního tepla a zlepšuje tak tepelný vjem, zejména při vysokých teplotách a vysoké vlhkosti v místnosti.

Nejvyšší teplota ve čtyřech místnostech byla v období od 19 hod. do 21 hod. Důvodem byla tepelná akumulace ve stěnách budovy během slunečního záření, protože tyto místnosti nebyly odvětrány kvůli uzavřeným oknům. Doporučená maximální relativní vlhkost vzduchu (70 %) ve všech místnostech nebyla překročena.

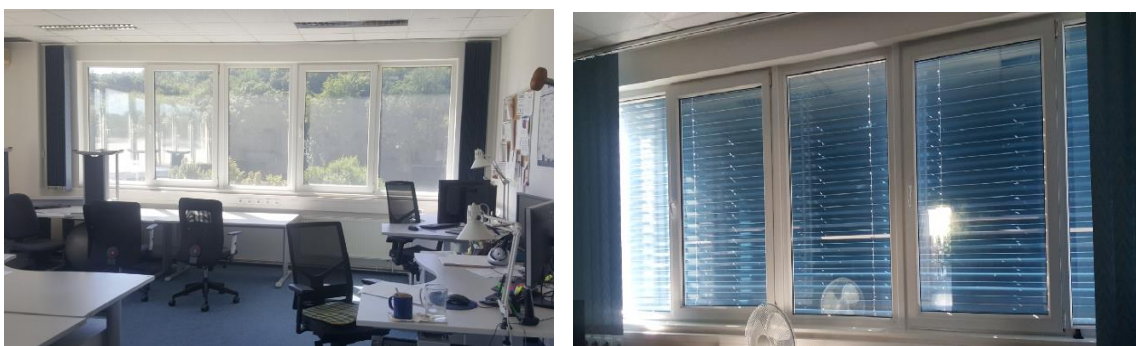
V krátkodobých měřeních, byla měřena teplota vzduchu a relativní vlhkost pro vyhodnocení vlivů záření, když byly místnosti prázdné, uzavřené a ventilace nebyla aktivní. Žaluzie místnosti R1 a R3 byly otevřeny pro příjem přirozeného osvětlení. Průměrné hodnoty a standardní odchylka teploty venkovního vzduchu, kulové teploty, teploty vnitřního

vzduchu, relativní vlhkosti, teplotně vlhkostního indexu a kulová teplota-vlhkost indexu průběhu krátkodobých měření jsou uvedeny v tabulce 5.6 (Cao a Kic, 2019). Statistiky se používají pro oddělené porovnání vnitřních podmínek místností vybavených stejným typem žaluzií (venkovní nebo vnitřní), které byly otevřeny v jedné místnosti a uzavřeny ve druhé místnosti.

Tabulka 5.6: Průměrné hodnoty a standardní odchylka kulové teploty t_g , teploty vzduchu t , relativní vlhkosti RH, indexu teploty a vlhkosti THI a indexu kulové teploty-vlhkost BGHI ve čtyřech kancelářských místnostech a venku v meteorologické stanici během krátkodobých měření v Sobotu a v neděli s odpovídajícími situacemi žaluzií. Různá písmena (*a*, *b*) v horním indexu jsou známkou vysokého významného rozdílu (ANOVA; Tukey HSD test; $P \leq 0,05$) mezi podmínkami v místnostech.

Místo měření	Použití žaluzií	t_g [°C ± SD]	t [°C ± SD]	RH [% ± SD]	THI [% ± SD]	BGHI [% ± SD]
Sobota	Externí	-	19,8 ± 1,6	43,1 ± 5,4	64,4 ± 1,8	-
R1	Otevřeno	28,5 ± 1,0 ^a	28,2 ± 0,6 ^a	35,4 ± 1,4 ^a	73,8 ± 0,7 ^a	74,1 ± 1,2 ^a
R2	Zavřeno	26,0 ± 0,4 ^b	25,8 ± 0,4 ^b	48,1 ± 1,2 ^b	72,5 ± 0,3 ^b	72,7 ± 0,4 ^b
Neděle	Externí	-	19,1 ± 1,6	40,9 ± 4,1	63,5 ± 1,7	-
R3	Otevřeno	27,4 ± 0,6 ^a	27,3 ± 0,6 ^a	35,5 ± 1,0 ^a	72,8 ± 0,6 ^a	72,9 ± 0,6 ^a
R4	Zavřeno	26,0 ± 0,7 ^b	25,8 ± 0,7 ^b	41,6 ± 1,0 ^b	71,7 ± 0,7 ^b	71,9 ± 0,7 ^a

SD – Standardní odchylka



Obrázek 5.16: Použití venkovní hliníkové žaluzie, když byla otevřena u místnosti R1 (na levé fotografii) a u místnosti R2 byla uzavřena (na pravé fotografii).



Obrázek 5.17: Použití vnitřní žaluzie, když byla otevřena u místnosti R3 (na levé fotografii) a u místnosti R4 byla uzavřena (na pravé fotografii).

Krátká měření ukázala jasnější vliv žaluzií. Z naměřených výsledků byl patrný negativní vliv záření, které ve všech místnostech zvýšilo kulovou teplotu. Když nebyly použity venkovní žaluzie, byla teplota vzduchu v místnosti vyšší (o 2,5 °C) ve srovnání s použitím žaluzií. Maximální teplota vzduchu navíc v tomto případě přesahovala maximální doporučenou teplotu (27 °C) a tento negativní efekt činí pro pracovníky v kanceláři nepříjemné teplo. Tyto výsledky se můžou využít k výpočtu výkonu nebo energie pro klimatizaci, aby udrželi lepší tepelnou pohodu uvnitř místnosti. Rozdíly mezi teplotou vzduchu, kulovou teplotou, relativní vlhkostí, THI a BGHI v místnostech s otevřenými a uzavřenými žaluziemi jsou ve všech případech statisticky významné (viz tabulka 5.6).

Vyšší teploty vzduchu působily k vyššímu indexu THI, který byl od 71,7 do 73,8, to znamená výstražný stav, prodloužená expozice nastala únava a tento účinek slunečního záření je ještě více patrný z indexu BGHI, který byl od 71,9 do 74,1.

Použití venkovních nebo vnitřních žaluzií přispívá ke snížení dopadu slunečního záření na vnitřní tepelný komfort a snižuje vnitřní teplotu. Nicméně se musí použít umělé osvětlení. Srovnání průměrné měřené intenzity osvětlení a faktorů denního osvětlení v kancelářských místnostech R1 a R3 je uvedeno v tabulce 5.7.

Tabulka 5.7: Výsledky měření osvětlení a vypočteného faktoru denního osvětlení e ve dvou kancelářských místnostech R1, R3 v krátké době s plochou zasklených oken. Stejně písmeno (a) v horním indexu je znamením, že mezi faktory denního osvětlení v místnostech není vysoký významný rozdíl (*ANOVA; Tukey HSD Test; $P \leq 0,05$*).

Místo měření	Plocha oken [m ²]	Průměrné měřené osvětlení [lx ± SD]	Faktor denního osvětlení e [% ± SD]
R1	19,1	3 188 ± 3 684	9,67 ± 11,16 ^a
R3	18,9	1 632 ± 1 590	4,53 ± 4,41 ^a

SD – Standardní odchylka

Průměrný faktor denního osvětlení $e = 9,67\%$ v místnosti R1 byl větší než $e = 4,53\%$ v R3. Rozdíl mezi faktory denního osvětlení byl hodnocen statisticky a překvapivě rozdíl nebyl signifikantní na hladině významnosti $0,05$. To lze vysvětlit velkými standardními odchylkami naměřených hodnot osvětlení. Podle třídy vizuální aktivity IV v obou kancelářských místnostech je minimální požadovaný faktor denního osvětlení $1,5\%$. Prostor R1 měl průměrný faktor denního osvětlení e větší, což bylo způsobeno orientací této místnosti (viz obrázek 4.8).

Podle rovnice (4.15) byly vypočítány solární energie okny do interiéru v době krátkého měření. Dále byly použity hodnoty globálního slunečního záření, redukčního faktoru F_c žaluzií a faktoru slunečního přenosu energie ($g = 0,65$). Všechny hodnoty a získané výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.8 (Cao a Kic, 2019).

Tabulka 5.8: Sluneční energie okny do interiéru čtyř místností v době krátkého měření

Místnost	Typ žaluzií	F_c [-]	g_{total} [-]	Globální radiace [W·m ⁻²]	Sluneční energie do interiéru [W]
R1	Bez žaluzií	1,0	0,65	280	3 476
R2	Venkovní hliníkové horizontální žaluzie	0,25	0,16	280	304
R3	Bez žaluzií	1,0	0,65	235	2 887
R4	Vnitřní textilní vertikální žaluzie	0,5	0,33	235	550

Průtok solární energie oknem do vnitřního prostoru byla velmi vysoká když okna nebyla zastíněna žaluziemi (v místnosti R1 a R3) ve srovnání s místností, která byla zastíněna žaluziemi (místnost R2 a R4). Tato sluneční energie zvyšovala teplotu vzduchu

v místnostech. Proto teplota v místnosti R1 a R3 byla vyšší než v místnosti R2 a R4. Použití venkovní hliníkové horizontální žaluzie je účinnější než vnitřní textilní vertikální. Z toho důvodu lze ještě jednou říci, že použití žaluzií pro prosklená okna pomáhá zlepšit vnitřní tepelnou pohodu vnitřního mikroklima.

5.2.3 Vliv zastínění stromy ke snížení slunečního zahřívání budov

Koruny stromů absorbují a odrážejí velké podíly slunečního i pozemního záření přijímaného budovou, která v létě může snížit rozdíl mezi vnitřními a vnějšími teplotami budov a přímo snížit spotřebu energie pro chlazení vnitřního prostoru (Laband a Sophocleus, 2009; Federer, 1976). Stromy ve stínu mohou také ovlivnit mikroklimaty budov prostřednictvím evapotranspirace a kontroly větru (Herrington, 1984; Akbari, 2002), avšak snížení slunečního záření je neúčinnějším způsobem, jak v létě sníží teplotu povrchu venkovních stěn (Shashua-Bar a Hofman, 2000).

Vlastní výsledky měření ukazují další vliv slunečního záření spolu s venkovní teplotou vzduchu v univerzitním kampusu během letního dne, kdy obloha byla zcela jasná. Získané výsledky ve stínu a na slunci pak byly vzájemně porovnány, aby bylo možné analyzovat vlivy korun stromů na prostor kolem nich.

Relativní variace teploty vzduchu, teploty kulové a útlumu slunečního záření ve stínu pěti druhů stromů a na slunci jsou uvedeny v tabulce 5.9 (Cao a Kic, 2019). Různá písmena (*a*, *b*, *c*) v horním indexu jsou znakem velkých významných rozdílů (*ANOVA*; *Tukey HSD test*; $P \leq 0,05$) mezi podmínkami ve stínu různých stromů.

Tabulka 5.9: Rozdíly mezi výsledky ve stínu a na slunci

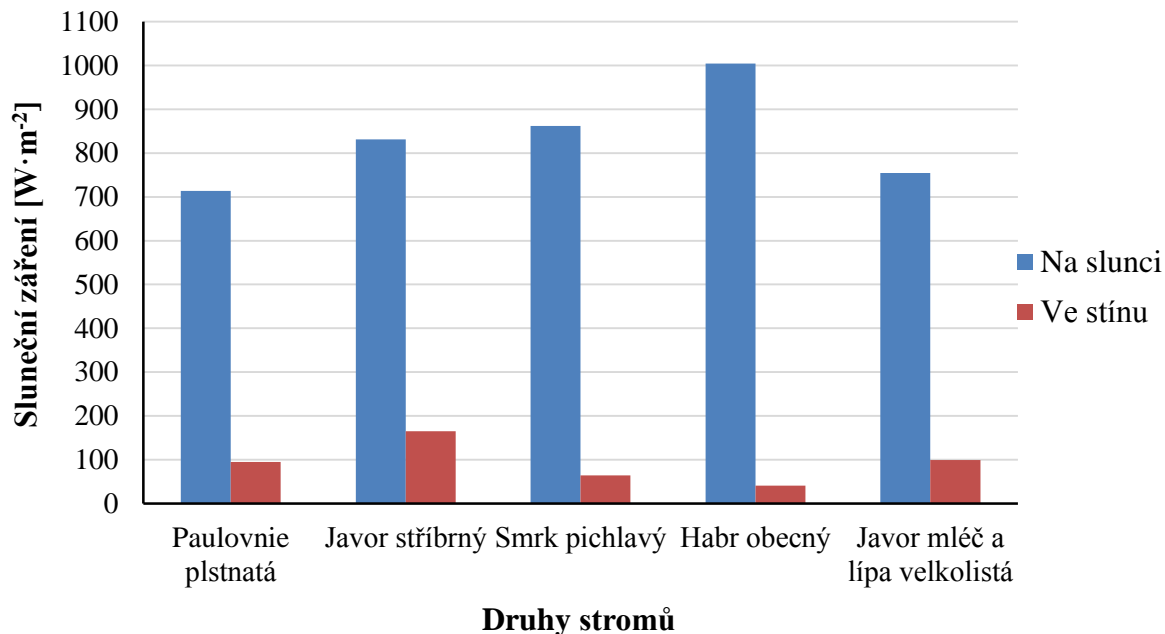
Druh stromů	Uspořádání	RV _t [% ± SD]	RV _{t_g} [% ± SD]	At [% ± SD]
<i>Pavlovnie plstnatá</i>	Individuální	15,2 ± 2,7 ^a	28,9 ± 2,7 ^a	80,7 ± 11,8 ^a
<i>Javor stříbrný</i>	Individuální	15,2 ± 1,1 ^a	26,9 ± 1,3 ^{a, b}	79,4 ± 4,5 ^a
<i>Smrk pichlavý</i>	Individuální	16,9 ± 1,1 ^{a, c}	31,5 ± 3,1 ^{a, c}	92,6 ± 0,7 ^b
<i>Habr obecný</i>	Shluk	13,7 ± 0,8 ^{a, d}	29,2 ± 1,4 ^a	94,4 ± 0,04 ^{b, c}
<i>Javor mléč a lípa velkolistá</i>	Shluk	20,8 ± 2,6 ^b	29,7 ± 7,0 ^a	86,7 ± 1,4 ^{a, b}

SD – Standardní odchylka

Průměrné snížení teploty vzduchu kvůli pokrytí korun bylo největší (20,8 % snížení) u shluku *Javor mléč a lípa velkolistá* (výrazně odlišné od všech ostatních stromů). Naopak u stromu *Habr obecný* bylo nejmenší snížení průměrné teploty (13,7 % snížení), nicméně statisticky nebyl významný rozdíl mezi tímto stromem a výsledky průměrného snížení teploty u *Pavlovnie plstnatá*, *Javor stříbrný* byly stejné (15,2 % snížení). Tyto výsledky ukazují, že shluk *Javor mléč a lípa velkolistá* a strom *Smrk pichlavý* (redukce 16,9 %) měly nejlepší chladicí účinek ke snížení teploty vzduchu kvůli jejich stínu.

Kulová teplota těchto druhů stromů byla také měřena a hodnocena metodou Bueno, Bartholomei a Labaki (2003). Průměrné snížení kulové teploty bylo větší než průměrné snížení teploty vzduchu ve stejných oblastech měření. Průměrné snížení kulové teploty kvůli pokrytí korun bylo největší (31,5 % snížení) u druhu *Smrk pichlavý*. Naopak u stromu *Javor stříbrný* bylo nejmenší průměrné snížení kulové teploty (snížení o 26,9 %). Rozdíl mezi účinky těchto dvou stromů na RVtg byl statisticky významný. Statistické vyhodnocení všech stromů spolu nevykazovalo statisticky významné rozdíly mezi RVtg. Tyto výsledky ukazují, že chladicí účinek ke snížení kulové teploty s jejich stíněním byl větší než chladicí účinek ke snížení teploty vzduchu, což lze vysvětlit dlouhodobě působícím stínem stromu *Smrk pichlavý*.

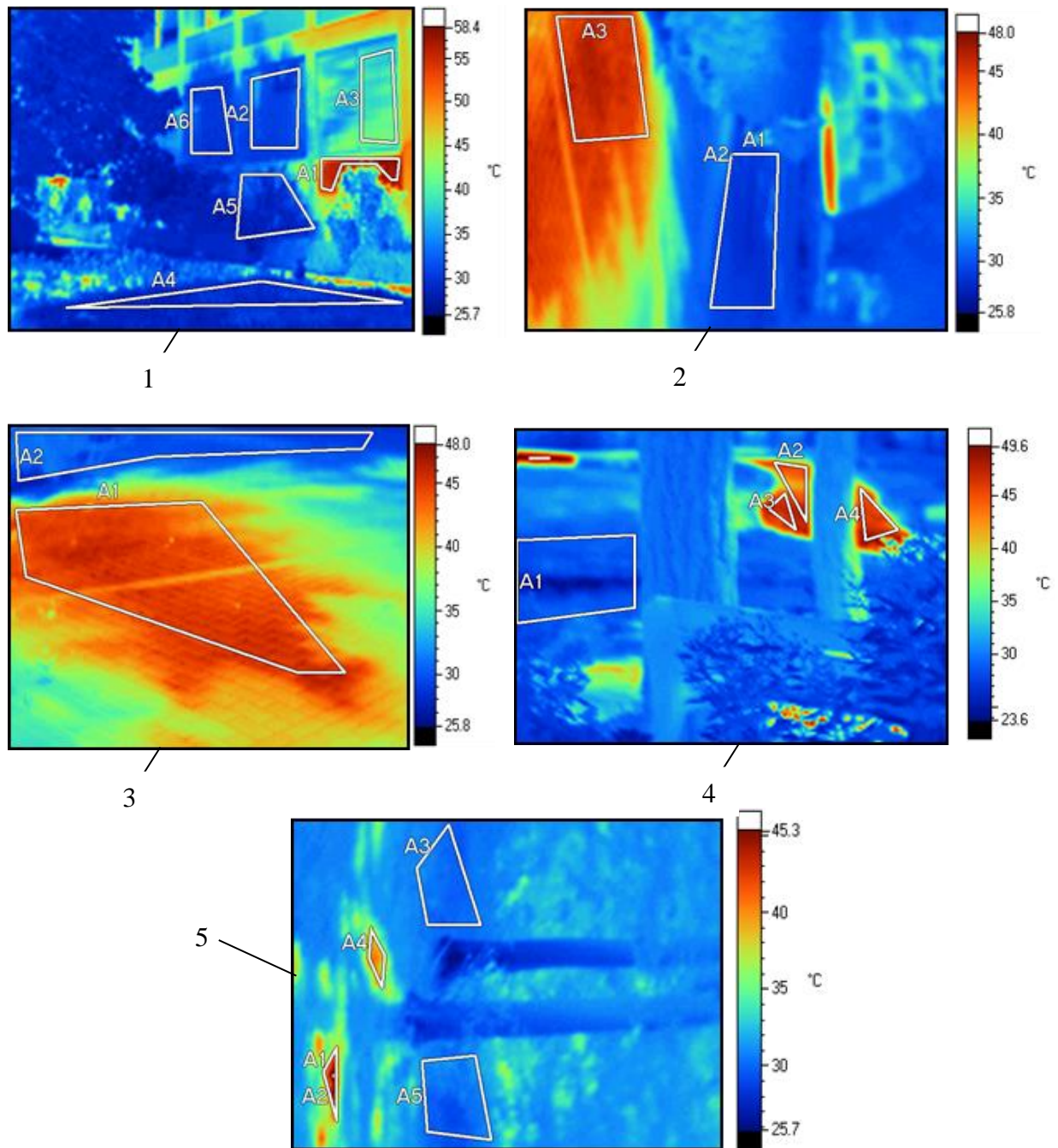
Na rozdíl od teplot vzduchu, kulové teploty se rychle zvyšovaly a snižovaly; rychleji dosáhly na vysoké teploty a vykazovaly vyšší úroveň variability než teploty vzduchu, pak se rychle snižovaly v odpovídajícím stínu. Kulové teploty na slunci se zvýšily na 44 až 55 °C, byly vyšší o 10 – 15 °C teplota vzduchu. Naproti tomu kulové teploty byly vyšší o 2,5 °C než teplota vzduch ve stínu. Tyto rozdíly byly zopakovány podobně ve všech měřených časových obdobích. Je vidět, že mezi kulovými teplotami a maximálními teplotami vzduchu v horkých dnech pod korunou byly mnohem nižší rozdíly. Hlavním důvodem bylo sluneční záření, které působilo na černý kulový teploměr. Tato skutečnost je důležitá z hlediska vlivu stínění částí budov chráněných před přímým slunečním zářením. Naměřené výsledky slunečního záření na stejné ploše jsou uvedeny na obrázku 5.18 (Cao a Kic, 2019).



Obrázek 5.18: Sluneční záření ve stínu pěti druhů stromů a na slunci.

Během měřených časových úseků bylo přímé sluneční záření na slunci od 700 do 1 000 W·m⁻². Sluneční záření pod stromy ve stinných oblastech bylo 50,5 – 164,9 W·m⁻². Z naměřených výsledků každého druhu je vidět zeslabení slunečního záření, které bylo nejmenší 79,4 % u stromu *Javor stříbrný* a největší bylo 94,4 % u stromu *Habr obecný*. Rozdíl mezi účinkem těchto dvou stromů na At byl statisticky významný. Statistické vyhodnocení všech stromů však neprokázalo statisticky významné rozdíly mezi At. Tyto zeslabení slunečního záření v dalších stínech stromů (*Pavlovnie plstnatá*, *Smrk pichlavý*, *Javor mléč a lípa velkolistá*) byly: 80,7 %, 92,6 % a 86,7 %.

Snížená propustnost slunečního záření ve stínech s vysokým podílem pokrytí stromů byla velmi vysoká. Toto stínění snižovalo sálavé teplo na povrchu stěn budovy. Přispívá tak ke snížení teploty vzduchu uvnitř budovy během léta na slunci. Výsledky z termografie byly použity k jasnějšímu zobrazení skutečných výsledků povrchové teploty v zemních a stavebních stěnách. Několik obrázků termografického přístroje je zobrazeno na obrázku 5.19 spolu s jejich hodnotami povrchové teploty a odpovídající plochy, které jsou uvedeny v tabulce 5.10 (Cao a Kic, 2019).



Obrázek 5.19: Snímky z termografie ve stínu a na slunci pěti druhů stromů: 1 – *Pavlovnie plstnatá*; 2 – *Javor stříbrný*; 3 – *Smrk pichlavý*; 4 – *Habr obecný*; 5 – *Javor mléč a lípa velkolistá*.

Tabulka 5.10: Povrchové teploty ve stínu a na slunci měřené termografií v každém druhu stromu

Druh stromu	Uspořádání	Plocha na slunci		Plocha ve stínu	
		Průměrná hodnota [°C ± SD]	Plocha ve snímcích	Průměrná hodnota [°C ± SD]	Plocha ve snímcích
<i>Pavlovnie plstnatá</i>	Externí žaluzie	39,7 ± 1,3	A3	30,9 ± 0,8	A6
<i>Javor stříbrný</i>	Beton	45,2 ± 0,7	A3	29,2 ± 0,5	A1
<i>Smrk pichlavý</i>	Beton	44,3 ± 0,9	A1	30,3 ± 0,6	A2
<i>Habr obecný</i>	Makadam	45,9 ± 1,1	A4	28,1 ± 1,2	A1
<i>Javor mléč a lípa velkolistá</i>	Tráva	42,1 ± 1,9	A2	30,4 ± 0,3	A3

SD – Standardní odchylka

Z termografických snímků a naměřených povrchových teplot je vidět, že povrch makadamu byl nejžhavější (45,9 °C). Naopak ve stínu byla teplota makadamu nejnižší (28,1 °C). To také znamená, že vliv snížení slunečního záření ve stínu pod stromem *Habr obecný* byl největší (snížení o 17,8 °C). Útlum slunečního záření ve stínu pod stromem *Habr obecný* v tabulce 5.8 je také největší (snížení o 94,4 %). To lze vysvětlit zvláštními vlastnostmi této skupiny: tyto velké stromy byly vzájemně provázané a maximální pokrytí díky jejich výšce a šířce bylo propleteno; mají plagiotropní kmeny; a malé listy. Lze říci, že shluk rodu *Habr obecný* měl největší procento pokrytí. To je velký přínos ze stínu stromů, aby se snížila povrchová teplota v budovách, které jsou postaveny vedle stromů. Obě betonové plochy byly teplejší než tráva na zemi na slunci a chladnější ve stínu. To znamená, že stínění snižuje povrchové teploty betonových povrchů více než teplota travní plochy.

Rozdíly mezi průměrnou povrchovou teplotou ve stínu a v nestíněné ploše byly vždy větší než rozdíly teploty vzduchu. Například průměrný povrchový rozdíl u stromu *Pavlovnie plstnatá* byl v betonové zemi kolem 16 °C, ale průměrný rozdíl teploty vzduchu byl kolem 4,5 °C. Tyto získané výsledky ukazují, že vliv zákrytu stromů na povrchové teploty byl větší než teplota vzduchu. Snížení teploty povrchu bylo největším přínosem mikroklimatické modifikace stromů v létě. Proto přispívá ke snížení teploty vzduchu uvnitř budovy během léta na slunci.

5.2.4 Zlepšení tepelné bilance v dílně v letním období ve Vietnamu

Během zahraniční stáže bylo prvním cílem práce provést teoretický rozbor typických klimatických podmínek ve Vietnamu a ukázat vliv stavební konstrukce u typické velkoprostorové budovy v těchto podmínkách. Dalším cílem byl výpočet tepelné bilance u střechy dílny, posouzení různých možností skladby střešní konstrukce a vyhledání nejlepší varianty. Tato problematika je velmi důležitá, vzhledem k tomu, že se jedná o region s horkým a současně velmi vlhkým klimatem. V této fázi práce byl aplikován matematický model k výpočtu tepelné bilance u střechy dílny. Získané výsledky umožňují vzájemně porovnat vlivy materiálu střechy, a tím zjistit význam vlastností střešní konstrukce pro zlepšení tepelné pohody a ušetření energie na chlazení vzduchu v dílně během letního období ve Vietnamu.

Po praktické stránce jsou důležité stromy okolo dílny především ke snížení slunečního záření obvodového pláště budovy. Tato skutečnost byla prokázána již u provedeného měření, jak ukazují výsledky v kapitole 5.2.3. Největším problémem je vysoké sluneční záření během léta a velká plocha střechy z ocelového vlnitého plechu, který je na vnějším povrchu červený. Vypočtené výsledky tepelné bilance u různých typů střech jsou shrnuty v tabulce 5.11.

Tabulka 5.11: Vypočtené výsledky tepelné bilance pro čtyři typy materiálu střechy

Průměrné celkové sluneční záření (v červenci) $I_c = 628 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$; průměrná venkovní teplota $t_e = 31,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (dostupné od interaktivního nástroje)							
Střecha	t_{pe} [$^\circ\text{C}$]	q_{ek} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	q_{er} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	t_{pi} [$^\circ\text{C}$]	q_{ik} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	q_{ir} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	q_a [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
Červený ocelový plech	56,1	151	107	56,1	77	41	376
Bílý ocelový plech	44,9	68	21	44,9	21	34	144
Červený ocelový plech s polystyrenem EPS	62,1	202	138	39,2	19	17	376
Bílý ocelový plech s polystyrenem EPS	48,8	96	29	36,3	10	9	144
Průměrné difuzní sluneční záření (v červenci) $I_c = 318 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$; průměrná venkovní teplota $t_e = 31,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (dostupné od interaktivního nástroje)							
Červený ocelový plech	45,8	73	58	45,8	38	23	192
Bílý ocelový plech	39,5	33	12	39,5	16	12	73
Červený ocelový plech s polystyrenem EPS	49	98	73	36,9	10	11	192
Bílý ocelový plech s polystyrenem EPS	41,5	47	15	34,7	5	6	73

Z výsledků jednoznačně vyplývá významný vliv barvy a materiálu střechy na tepelnou bilanci. Když materiál střechy je stejný, červená barva ukazuje vyšší získanou tepelnou energii zářením než bílá barva u střechy ($376 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ u červené střechy a $144 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ u bílé střechy od celkového slunečního záření; $192 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ u červené střechy a $73 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ u bílé střechy od difuzního slunečního záření). Červená střecha je tudíž zahřívána více, a proto tepelná energie, která vstupuje do haly, je vyšší u červené střechy. Z toho důvodu vnitřní povrchové teploty u červené střechy jsou vyšší než bílá střecha. Vypočtené výsledky vnitřních povrchových teplot t_{pi} to taky ukazují, např. $56,1 \text{ }^\circ\text{C}$ u červené střechy a $44,9 \text{ }^\circ\text{C}$ u bílé střechy od celkového slunečního záření; $45,8 \text{ }^\circ\text{C}$ u červené střechy a $39,5 \text{ }^\circ\text{C}$ u bílé střechy od difuzního slunečního záření.

Z hlediska materiálu střechy, polystyren EPS dokazuje velkou tepelnou izolační schopnost. V rámci srovnání ve výzkumu, kombinace polystyrenu EPS s bílou barvou prokazuje významnou tepelnou izolaci střechy. Povrchová vnitřní teplota u střechy z bílého ocelového plechu s polystyrenem EPS je nižší než ze samostatného červeného ocelového

plechu (o 19,8 °C od působení celkového slunečního záření; o 11,1 °C od působení difuzního slunečního záření). To znamená, že v tomto případě střecha z bílého ocelového plechu s polystyrenem EPS je nejlepší varianta ke snížení získaného slunečního záření a poté snížení vnitřní teploty. Proto tato střecha zlepšuje tepelnou pohodu a přispívá k úšetření energie chladičského systému v dílně během letního období ve Vietnamu.

6 Závěr

Očekávaným přínosem těchto experimentů bylo především dosažení takových výsledků, které povedou k návrhu a optimalizaci jednotlivé technologie ve zkoumaných oblastech. Průběžné výsledky experimentů již byly publikovány ve vědeckém časopise a na vědeckých konferencích.

V následujících kapitolách jsou detailně shrnuty veškeré závěry a přínosy vytyčených pilířů této práce, které byly předmětem vlastního zkoumání. Poslední podkapitola je uzavřena komplexním shrnutím s návrhy pro možnost dalších navazujících výzkumů.

6.1 První cíl

Výsledky ukázaly nejprve účinnost topného systému HVAC ke snížení teploty ve všech sportovních halách během léta. V zimním období, teplota ve všech sportovních halách (v rozmezí od 21,6 °C do 27,1 °C) se výrazně zvýšila ve srovnání s venkovní teplotou (7,2 °C) pomocí účinnosti topného systému HVAC. Teploty byly v rozsahu doporučených hodnot. Nicméně, v létě i v zimním období, CO₂ koncentrace ve sportovních halách během tělesné činnosti byla stále vyšší než venkovní koncentrace a vyšší než koncentrace v případě prázdných místností. Větrání ve všech halách nestačilo ke snížení koncentrace CO₂ na standardní úroveň (< 600 ppm). Proto v tomto případě s daným množstvím studentů, bylo nutné zvýšení intenzity ventilátorů, aby se udrželo dostatečné množství O₂ pro studenty a zvýšila intenzita odvádění CO₂.

Výsledky měření a výzkumů, které by se zkoumaly u haly pro výkrm brojlerů v létě, ukazují, že je možné vypočítat potřebný průtok vzduchu pro kuřata v několika věkových a hmotnostních kategoriích a zkontrolovat vhodné ventilátory pro efektivní ventilaci. Stávající příčné větrání a navrhované podélné větrání byly simulovány v programu Fluent. Ze simulačních výsledků, je vidět, že navrhované podélné větrání zajišťuje rovnoměrnější teplotu a koncentraci CO₂ a efektivnější konvektivní chlazení během letního větrání, ale na konci haly je koncentrace znečišťujících látek vždy vyšší než v přední části haly.

Výsledky měření toho prvního výzkumu by měly ověřit **první hypotézu**. Systém HVAC snižoval teplotu během léta a pak výrazně zvyšoval teplotu v zimním období ve všech sportovních halách. Proto teploty byly v rozsahu doporučených hodnot. Nicméně, větrání

nestačilo ke snížení koncentrace CO₂ na standardní úroveň (< 600 ppm). To znamená, že zvýšení intenzity větrání povede k optimalizaci vnitřních podmínek stávajících provozů. Důležité je kontrolovat a regulovat funkci větracího a klimatizačního zařízení nejen podle teploty vzduchu, ale i podle dalších parametrů vnitřního prostředí, zejména koncentrace CO₂. V některých objektech může být důležitá i kontrola vnitřní relativní vlhkosti vzduchu.

U velkoprostorové haly pro výkrm brojlerů, navrhovaná změna konstrukce haly z příčného větrání na podélné větrání vedla ke zvýšení proudění vzduchu v letním období, ale současně způsobila zvýšení koncentrace znečišťujících látek v zadní části haly. Z výzkumu vyplývá přínos z hlediska aplikace simulačního výpočtového programu k porovnání variant řešení včetně ventilačních defektů a poruch. Z tohoto hlediska může být využití CFD programů velmi užitečné pro zlepšení kvality regulace větrání. **První hypotéza tak byla potvrzena.**

6.2 Druhý cíl

Vzhledem k tomu, že je vysoká spotřeba energie pro větrání a chlazení ke snížení vnitřní teploty způsobenou slunečním zářením, byla provedena různá měření v dílnách, která měla za úkol zjistit spotřebu energie pomocí výpočetní metody při různých stavebních konstrukcích velkoprostorových hal.

Nejprve byla provedena měření pro analýzu a vyhodnocení klimatických podmínek a využití přírodního osvětlení ve dvou velkých jednoduchých budovách v létě. Z výsledků měření ve výzkumu, budova WS1 má větší střešní a stěnové okno, které absorbují sluneční záření a zvyšují teplo uvnitř budovy. V budově WS1, když vnitřní vzduch nebyl chlazen nebo větrán, vnitřní teplota (průměrně 31,7 °C) překročila doporučenou teplotu (mezi 23 °C až 26 °C). Tím dochází k tepelnému namáhání pracovníků uvnitř dílny. Vypočtená spotřeba energie pro chlazení vzduchu pro snížení vnitřní teploty na 25 °C činí 25,6 kW v první budově, chladičí výkon pro druhou budovu činí 14,9 kW. Konstrukční vlastnosti dílny WS2 umožňují šetřit energii pro klimatizaci nebo větrání, ale také zvyšují potřebnou energii pro osvětlení.

Pro splnění dalších částí druhého cíle, u samých budov, bylo popsání principu a metody výpočtu tepelné bilance v zimě, které mohou být užitečné pro hodnocení a zlepšení přenosu tepla v budovách. V zimě, plocha střešních oken je hlavním faktorem ovlivňujícím přenos

tepla ve WS1. Tepelná ztráta střešním oknem zabere zhruba 43,8 % z celkové tepelné ztráty. Když plocha střešních oken je menší o 64,6 %, tepelné ztráty se snižují o 23,8 %. Znamená to, že během zatažených dnů v zimě využívá WS1 více energie na vytápění než WS2. Plocha střešních oken je užitečná v případě osvětlení přímým slunečním světlem. Ve dnech se slunečním zářením spotřeba energie pro topná zařízení se snižuje na 8 993 W ve WS1 a na 3 717 W ve WS2. V tomto případě WS2 využívá vyšší spotřebu energie pro vytápění než WS1 (o 32,2 %).

Z výsledků měření a vypočtené metody v druhém cíli, **hypotéza 2 byla potvrzena**. Plocha střešních oken je velmi významným faktorem ovlivňujícím tepelné ztráty a zisky místnosti nebo celé budovy. Čím je menší střešní nebo stěnové okno, tím jsou nižší tepelné zisky uvnitř budovy, a tím i menší spotřeba energie pro chlazení vzduchu ke snížení vnitřní teploty během letního období. V zimním období, okna významně zvyšují tepelné ztráty, proto je vyšší spotřeba energie na vytápění. Získané zkušenosti a některé výpočtové vztahy pro tepelné bilance využití v tomto výzkumu by mohly být příkladem a podkladem pro konstruktéry budov a mohly by vést k úsporám investičních nákladů, snížení spotřeby energie při respektování nutnosti udržení vnitřní tepelné pohody pro pracovní výkony.

6.3 Třetí cíl

Další výzkum a měření, který zkoumal vlivy žaluzií ke snížení tepelného záření. Ze získaných výsledků měření ve čtyřech velkých kancelářských místnostech v různých situacích použití žaluzií, během pracovních dnů je vidět, že relativní vlhkost byla ve všech měřených místnostech v rozmezí doporučených hodnot. Když byl index THI použit k vyhodnocení vlivu kombinací teploty a relativní vlhkosti, vnitřní klimatické podmínky ve čtyřech místnostech nebyly v komfortním stavu, při dlouhodobém pobytu může dojít k únavě. Snížení vnitřní teploty vzduchu bylo nutné.

Venkovní hliníkové žaluzie udržovaly tepelnou pohodu v místnostech (R1 a R2) pro kancelářské pracovníky během jejich práce v létě. Vnitřní žaluzie z tkaniny neudržovaly tepelnou pohodu, klimatizace byla nutná pro snížení teploty vzduchu.

Ohledně vlivu žaluzií v průběhu pracovní doby, výhoda mezi použitými venkovních žaluzií a vnitřních žaluzií ke snížení teploty vzduchu je malá. Bez větrání a bez použití venkovních žaluzií byla teplota vzduchu ve srovnání s použitím žaluzií vyšší (cca 2,5 °C)

v místnosti. Získané výsledky měření v místnostech mohou být užitečné pro výpočet výkonu pro klimatizaci pro udržení lepší tepelné pohody uvnitř místnosti.

Dalším dílčím závěrem tohoto cíle bylo dokázání důležitého vlivu umístění a orientace budovy. Tím ovlivňovali záření a světlo ze slunečního osvětlení, a proto ovlivňovali vnitřní mikroklimatické podmínky. Žaluzie mohou pomoci mírně snížit teplotu vnitřního vzduchu a snížit spotřebu energie pro chlazení, ale bylo zde také sníženo přirozené denní světlo, proto bylo nutné použití umělého osvětlení.

Poslední částí toho cíle bylo měření a pak byl vyhodnocen vliv zeleně ve venkovních prostorech ke snížení teploty vzduchu a teploty povrchů, přispívá ke zlepšení lokálních teplotních podmínek vlivem jejich stínění. Stínění stromů ukázalo schopnost pokrýt jako důležitý parametr při snížení slunečního záření na fasádách budov, zlepšit vnitřní tepelnou pohodu a šetřit energii vynaloženou na chlazení.

U dalšího dílčího cíle, z výsledků, vyplývá, že shluk stromů *Javor mlč* a *lípa velkolistá* měly nejlepší chladicí účinek ke snížení teploty vzduchu s jejich stíněním (20,8 % snížení). Účinnost na snížení teploty kulové s jejich stíněním byl větší než chladicí účinnost ke snížení teploty vzduchu (31,5 % snížení u druhu *Smrk pichlavý*). Důvodem byl vliv slunečního záření přes korunu stromu. Velikost a tvar koruny stromu může zlepšit tepelnou pohodu snížením teploty vzduchu v mikroklima, stejně jako velikost a tvar listů, kmen a propustnost koruny stromu. Ze získaných hodnot jasně vyplývá útlum slunečního záření kvůli stínu stromů. U stromu *Habr obecný* bylo největší snížení (94,4 %). Proto byl také největší vliv snížení slunečního záření ve stínu stromu *Habr obecný*, který snížil povrchovou teplotu o 17,8 °C, což bylo maximální snížení povrchové teploty ve srovnání s ostatními. Dalším výsledkem z tohoto cíle byl přínos stínění. Snížení teploty povrchu bylo větší než snížení teploty vzduchu. Byla velká výhoda stínu stromů ke snížení povrchové teploty v budovách, které byly postaveny vedle stromů. Proto přispívá ke snížení teploty vzduchu uvnitř budovy během letní sezóny, na slunci.

Přínosem z tohoto cíle výzkumu jsou výsledky částečně získané v zahraniční stáži ve Vietnamu. Vypočtené získané výsledky z matematického modelu ukazují významný vliv barvy a materiálu střechy na tepelnou bilanci. Střecha z bílého ocelového plechu s polystyrenem EPS dokazuje největší tepelnou izolační schopnost vůči ostatním variantám.

Díky tomu, z navrhovaných střeš dílny, tato navrhovaná střeš je lepší než skutečná střeš dílny a nejlepší varianta z hlediska snížení získaného slunečního záření.

Pro ověření **hypotézy 3**, výzkum a měření se zkoumáním vlivu žaluzií ke snížení tepelných zisků prosklených ploch, byl zkoumán efektivní rozdíl mezi použitím venkovních a vnitřních žaluzií u velkoprostorových místností. Z výsledků vyplývají hlavní následující nové poznatky. Oba typy žaluzií přispívají ke snížení venkovních tepelných zisků sluneční radiací okny, ale vnitřní žaluzie mají menší efekt proti slunečnímu záření, a proto vnitřní teplota byla vyšší než v místnosti s použitím venkovních žaluzií. Nicméně když se používá v prostoru přirozené větrání, vnitřní teplotní rozdíl není velký.

Problematika stínění stromy a působení pro zlepšení lokálních mikroklimatických podmínek je v odborné a vědecké literatuře poměrně dost řešena. Nicméně výsledků výzkumů a měření, které by se zkoumaly vliv zastínění budov korunou stromů s cílem snížení slunečního záření na ploše budov, je poskrovnu. Jak je vidět ze získaných výsledků, snížení teploty povrchu bylo větší než snížení teploty vzduchu ve stínu. Proto je důležité, aby stín stromů dopadal přímo na povrch budovy, a tím vedl ke snížení její povrchové teploty. To vede ke snížení tepelných zisků v budovách, které byly postaveny vedle stromů, a přispívá ke snížení teploty vzduchu uvnitř budovy během letní sezóny. Tyto poznatky přispívají k ověření **hypotézy 3**.

Výsledky z posledního dílčího cíle potvrzují schopnost snížení tepelných zisků z venkovního prostředí s použitím vhodného materiálu střešy, která byla uvedena v **hypotéze 3**.

Všechny výsledky dílčích cílů toho třetího cíle prokázaly, že zastínění budovy stromy, oken žaluziemi v kombinaci s větráním a kvalitní tepelná izolace střešy mají velkou schopnost ke snížení tepelných zisků z venkovního prostředí, a tím přispívají k dosažení tepelné pohody ve velkých budovách. **Tyto poznatky potvrzují hypotézu 3.**

6.4 Shrnutí a možnosti dalšího výzkumu

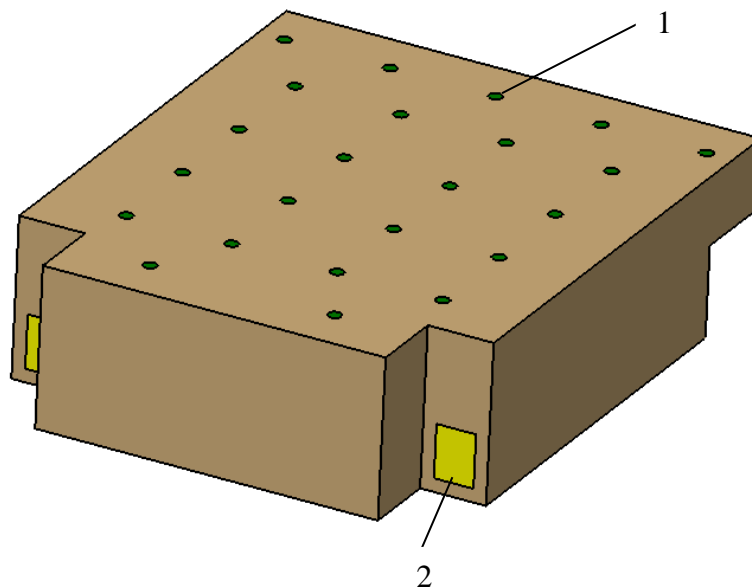
Dle vlastního názoru disertanta byla v rámci vytyčených cílů tohoto projektu získána řada nových poznatků a formulovány klíčové parametry především v oblasti navrhování větrání a klimatizace, dále v oblasti snížení energie pro vytápění a snížení sluneční radiace s využitím prvků pasivní klimatizace, což vede ke snížení potřeby strojního chlazení.

V oblasti návrhů větrání a distribuce vzduchu ve větraných prostorech nové simulační a výpočtové metody jsou užitečné k testování nebo zkoušení řešení různých variant návrhů větracích systémů a provozního využití větrání. V oblasti vytápění, výpočtové metody vedou ke zlepšení tepelné pohody a k optimalizaci spotřeby energie.

V oblasti klimatizace, snížení slunečního záření působícího na budovy vede ke snížení potřeby chlazení budov. Vhodné využití principů pasivní klimatizace, pochopení účinku vnějších žaluzií nebo stínu stromů a vhodně řešené střechy může být užitečné pro účely zlepšení vnitřních podmínek v létě a může přispět k praktické a nákladově efektivní strategii pro snížení celkové energetické spotřeby. Všechny nové poznatky jsou k dispozici nejen k určenému cíli v této práci, ale i k jakémukoli účelu projektování s využitím větrání, vytápění a klimatizace ve velkoprostorových budovách.

Možností dalšího výzkumu v oblasti navrhování větrání je dle názoru disertanta hned několik. Vzhledem k tomu, že práce kladla důraz pouze na jednu navrhovanou variantu řešení větrání, bylo by možné navázat a pokračovat s aplikací simulačního programu Fluent na další zkoušení a hledání optimální varianty větrání. Také by mohla být v navazujícím výzkumu důkladně prozkoumána koncentrace emisí NH_3 v halách pro výkrm kuřat mezi různými variantami větrání k optimalizaci vnitřních podmínek.

Pro navazující výzkum by bylo možné prověřit z hlediska větrání, vytápění a klimatizaci v dalším obytném prostoru (např. univerzitní aula). Důležitou roli přitom bude mít vhodná distribuce vzduchu v prostoru a odpovídající regulace. Prvním krokem výzkumu byl modelování původního stavu auly před rekonstrukcí s odpovídajícími příváděcími a odváděcími otvory. Obsazení auly osobami bylo 500 osob. Objem auly byl $2\,600\text{ m}^3$, půdorysná plocha byla 400 m^2 , vnitřní délka (celková včetně podia i balkonu) byla 20 m. Aula měla 23 vrchních příváděcích vyústek a 2 stěnové odváděcí vyústky (viz obrázek 6.1).

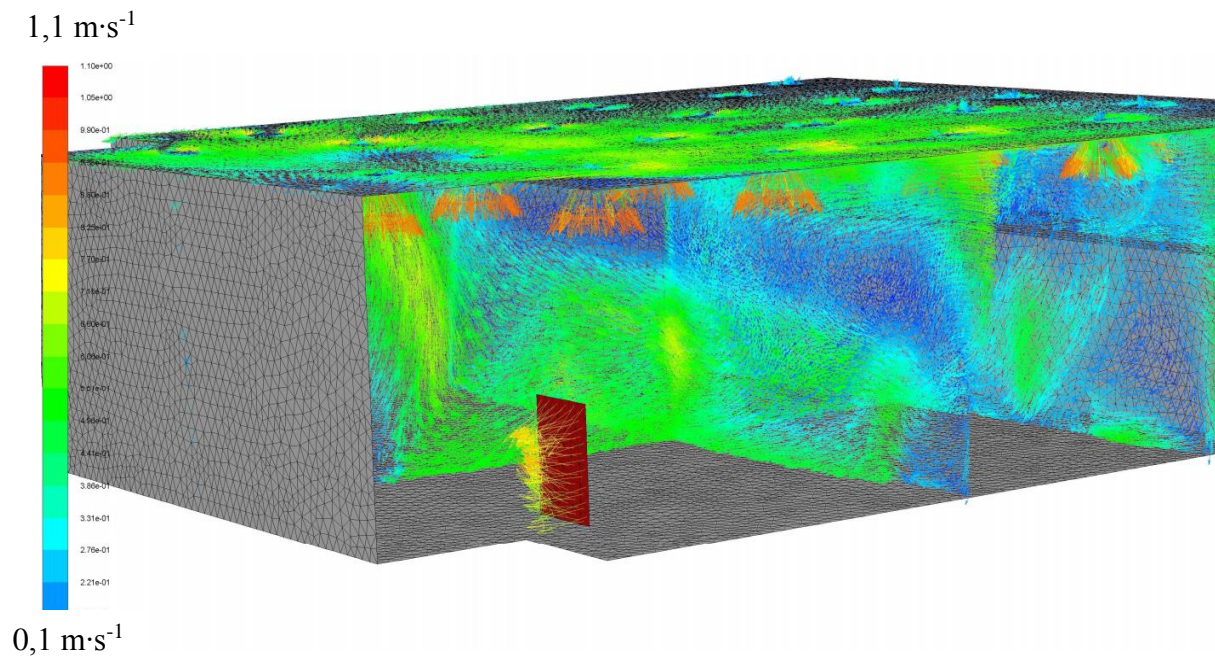


Obrázek 6.1: Model původního vnitřního prostoru auly

1 – vrchní přívaděcí vyústky; 2 – stěnové odváděcí vyústky.

Model je vstupní podklad pro simulační program Fluent, který byl také použit ve výzkumu v kapitole 4.2. Obdobným způsobem výpočtu, pro stejný průtok vzduchu přiváděného a odváděného ($27\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$), byly získány průběhy proudů vzduchu a rychlostí (obrázek 6.2). Další výsledky a závěry pro tuto práci nejsou zatím k dispozici, ale cílem pokračujícího výzkumu v této oblasti bude ukázat význam správné polohy a tvaru přívodních a odváděcích vyústek na distribuci vzduchu. Důležité bude ověřit kromě teploty a vlhkosti vzduchu i čistotu prostředí z hlediska koncentrace oxidu uhličitého.

Z druhého cíle, plocha střešního okna prokázala značné problémy a nedostatky z hlediska tepelných zisků v létě a tepelných ztrát v zimě, na druhé straně okna přinášejí své výhody pro zlepšení intenzity denního osvětlení a snížení energetické spotřeby na umělé osvětlení v dílnách zvláště během zimního období. Proto lze doporučit, aby byl proveden další navazující výzkum. Jedná se o především prozkoumání navržené plochy střešního okna z hlediska optimalizace energetické spotřeby na vytápění, umělé světlo a snížení sluneční radiace v letním období.



Obrázek 6.2: Výsledky výpočtu v programu Fluent. Průběhy a rychlosti proudů vzduchu ve vnitřním prostoru auly.

7 Seznam literatury

7.1 Monografie, odborné publikace, sborníky, výzkumné práce, skripta.

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, vol. 116, pp.119-126.

Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California [online]. [cit. 05. 02. 2019]. Dostupné z: <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-58285/>.

Allard, F., Ghiaus, C., Mansouri, Y. (2003). Natural Ventilation Strategies. *NAS EnerBuild RTD. proceedings Workshop*, pp. 46-64, ISBN 8023907425.

Arnink, A.J.A., Van Harn, J., Winkel, A., De Buissonje, F.E., Van Hattum, T.G., Ogink, N.W.M. (2009). Spraying rapeseed oil reduces dust in poultry houses. *Proceedings of International conference "Precision Livestock Farming 2009", 4th European Conference on Precision Livestock Farming*, ECPLF, Elsevier, Wageningen, pp. 73-79.

ASHRAE Applications Handbook (SI) (1999). 52.1-52.9.

Bahadori, M.N. (1986). Natural air-conditioning system. *Solar Energy* 3, pp. 283-356. Plenum Press, New York.

Banhidi, V.A. (1976). Budapest: Muszaki konyvkiado.

Bateman, H. (2006). *Dictionary of Agriculture*. A a C Black Publishers Ltd, London. ISBN: 978-7136-7770-2.

Benhammou, M., Draoui, B., Hamouda, M. (2014). Improvement of the summer cooling induced by an earth-to-air heat exchanger integrated in a residential building under hot and arid climate. *Applied Energy*, vol. 208, pp. 428-445.

Bill, Z. (1980). *Konstrukce pozemních staveb – Halové stavby*. Praha: ČVUT.

- Bourdeau, M., Guo, X., Nefzaoui, E. (2018). Buildings energy consumption generation gap: A post-occupancy assessment in a case study of three higher education buildings. *Energy and Buildings*, vol. 159, pp. 600-611.
- Bueno-Bartholomei, C.L., Labaki, L.C. (2003). How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? *Paper presented at the fifth international conference on Urban Climate*, Lodz, Poland.
- Burroughs, H.E., Hansen, S. (2011). *Managing Indoor Air Quality*. Fairmont Press. 149-151.
- Cao, V.D. (2017). Microclimate conditions in the sport facilities. *19th International Conference of Young Scientists 2017*, Praha, ISBN 978-80-213-2771-9, pp. 37-41.
- Cao, V.D., Zajicek, M., Kic, P. (2017). Summer ventilation of poultry house for chicken fattening in CFD modelling. *16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Latvia, vol. 16, pp. 461-466.
- Cao, V.D., Kic, P. (2018). Analysis of indoor temperature in the workshop building during the summer: A pilot study. *Agronomy Research* 16, 4, pp. 1614-1621.
- Cao, V.D., Kic, P. (2018). Improvement of winter heat balance of workshops. *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Latvia, vol. 17, pp. 1740-1745.
- Cao, V.D., Kic, P. (2019). An analysis of influences of blinds and solar radiation on microclimate in office rooms during summer days: a pilot study. *Agronomy Research* 17, Special issue 1, pp. 945-956.
- Cao, V.D., Kic, P. (2019). Effect of shading with trees to improve local temperature conditions. *18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Latvia, vol. 18, pp. 1423-1429.
- Cihelka, J. (1961). *Sálavé vytápění*, 2. vyd. Praha: SVTL, 367 str.
- De Basilio, V., Requena, F., Leon, A., Velazco, Z., Picard, M. (2002). Does early thermal conditioning sometimes fail to improve the resistance of broilers to heat stress? *Animal Research*, vol. 51, Issue 5, pp. 407-420.

- Drkal, F. (2006). *Distribuce vzduchu, vzduchotechnické sítě, ventilátory*. Poklady ke kurzu CŽV. Praha: FS ČVUT v Praze.
- Drkal, F., Zmrhal, V. (2013). *Větrání*. 1. vydání. Praha: ČVUT, ISBN 978-80-01-05181-8. 157 str.
- European Commission (2000). *The Welfare of Chickens Kept for Meat Production (Broilers). Report of the Scientific committee on Animal Health and Animal Welfare*. Dostupné z: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scah/out39_en.pdf.
- European Commission (Last update: 08. 08. 2017). Photovoltaic geographical information system [online]. [cit. 30. 04. 2019].
Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html.
- Evropský parlament. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (přepřacování) [online]. [cit. 10. 05. 2019]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/smernice-evropskeho-parlamentu-a-rady-2010-31-eu-o-energeticke-narocnosti-budov-prepracovani>.
- Federer, C.A. (1976). Trees modify the urban microclimate. *Journal of Arboriculture*, vol. 2, pp. 121-127.
- Figueiredo, A., Vicente, R., Lapa, J., Cardoso, C., Rodrigues, F., Kämpf, J. (2017). Indoor thermal comfort assessment using different constructive solutions incorporating PCM. *Applied Energy*, vol. 208, pp. 1208-1221.
- Fleury, B. (1980). Ventilative cooling: State of the art. *Proceeding of Workshop on Passive Cooling*. Italy, 02. – 04. April, pp. 123-133.
- Gabanyi, P. (1983). *Planung von Fussbodenheizung*. Dusseldorf: Krammer Verlag.
- Gebauer, G., Horká, H., Rubinová, O. (2005). *Vzduchotechnika*, Brno: ERA.
- Ghahramani, A., Jazizadeh, F., Becerik-Gerber, B. (2014). A knowledge based approach for selecting energy-aware and comfort-driven HVAC temperature set points. *Energy and Buildings*, 85, 536-548.

- Henriksen, S., Bilde, T., Riber, A.B. (2016). Effects of post-hatch brooding temperature on broiler behavior, welfare, and growth. *Poultry Science*, vol. 95, Issue 10, pp. 2235-2243.
- Herrington, L.P. (1984). Climatic variables. In: McPherson EG, editor. Energy conserving site design. Washington, D.C.: American Society of Landscape Architects; 1984. pp. 59-77.
- Hirš, J., Gebauer, G. (2006). *Vzduchotechnika v příkladech*. 1. vydání. Brno, Akademické nakladatelství CERM. s.r.o., 230 str. ISBN 80-7204-486-9.
- Hirš, J., Gebauer, G., Rubinová O. (2005). TZB – Vzduchotechnika, modul BT02-08, Klimatizace. Brno.
- Höppe, P.R. (1993). *Indoor climate*. *Experientia* 49, pp. 775-779.
- John, D.A. (2012). Designing air-distribution systems to maximize comfort. *ASHRAE Journal* 54 (9), pp. 20-26.
- Jokl, M. (1984). *Optimalizace fyzikálních podmínek pro práci člověka*. Praha: Práce.
- Junga, P. (2014). *Prezentace: Zemědělské stavby – Síť technické infrastruktury a technická zařízení budov*. Brno.
- Kamal, M. A. (2012). An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions. *Civil Engineering a Architecture*, vol. 55, no.1.
- Kic, P., Hubený, M., Ledvinka, Z., Tůmová, E., Campos, C.G., Martínez, C.T. (2007). Control of indoor environment in housing of laying hens. *Proceedings of International conference "Trends in Agricultural Engineering"*, CULS, Prague, pp. 212-214.
- Kic, P., Kalvoda, M., Zavadil, V. (2007). Energy savings by heat recovery in ventilation. *Proceedings of International conference "Trends in Agricultural Engineering"*, CULS, Prague, pp. 215-218.
- Kic, P., Růžek L., Ledvinka, Z., Zita, L. (2012). Gardiánová I. Pollution of indoor environment in poultry housing. *Proceedings of International conference 11th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Latvia University of Agriculture, Jelgava, pp. 480-483.

- Kic, P. (2016). Dust pollution in the sport facilities. *Agronomy Research* 14(1), pp. 75-81.
- Kosny, J., Fontanini, A.D., Shukla, N., Fallahi, A., Watt, A., Trifu, R., Ganapathysubramanian, B. (2018). Thermal performance analysis of residential attics containing high performance aerogel-based radiant barriers. *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 1036-1048.
- Kotrbatý, M. (1988). *Výpočet vytápění a větrání velkých průmyslových hal bezpotrubím rozvodem vzduchu*. Praha: ČSVTS.
- Kotrbatý, M. (2006). Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (I) [online]. [cit. 15. 05. 2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3000-vytapeni-prumyslovyh-a-velkoprostorovyh-objektu-i>.
- Kotrbatý, M. (2012). Zónové sálavé vytápění průmyslových hal [online]. [cit. 15. 05. 2018]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/zonove-salave-vytapeni-prumyslovyh-hal/>.
- Koudelková, D. (1999). *Analýza možností uplatnění elektrického velkoplošného vykurovania v stavebních objektoch*. Dizertačná práca. Bratislava: SvF STU.
- Kraft, G. (1980). *Niedertemperaturheizungen*. Berlin: VEB.
- Laband, D.N., Sophocleus, J.P. (2009). An experimental analysis of the impact of tree shade on electricity consumption. *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 35, pp. 197-202.
- La Gennusa, M., Nucara, A., Rizzo, G., Scaccianoce, G. (2005). The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation-a generalised algorithm. *Building and Environment* 40, pp. 367-375.
- Lain, M. (2009). Pasivní chlazení. [online]. [cit. 10. 04. 2019]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2009-01_s17.pdf.
- Levinson, R. (1997). Near-ground cooling efficacies of trees and high-albedo surfaces. Lawrence Berkeley National Laboratory, Report LBL-40334, Berkeley.
- Liu, W., Cheng, P., Wang, Z., Ma, W. (2013). Effect of rice peptides on the performance, health condition of broiler and ammonia concentration in henhouse. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, vol. 28, Issue 12, pp. 82-85.

Melikov, A.K., Skwarczynski, M.A., Kaczmarczyk, J., Zabecky, J. (2013). Use of personalized ventilation for improving health, comfort, and performance at high room temperature and humidity. *Indoor Air* 23, pp. 250-263.

Ministry of Construction of Vietnam, Vietnam Building Code 2009 - QCVN 02: 2009/BXD - Natural Physical and Climatic Data for Construction, Ministry of Construction of Vietnam, Hanoi, 2009.

Nazarian, N., Kleissl, J. (2015). CFD simulation of an idealized urban environment: Thermal effects of geometrical characteristics and surface materials. *Urban Climate*, vol. 12 (1), pp. 141-159.

Nguyen, A.T. (2011). Analysis of passive cooling and heating potential in Vietnam using graphical method and typical meteorological year weather file. *Proceedings CISBAT*, Lausanne, Switzerland.

Nový, R. a kolektiv (2000). *Technika prostředí*. Praha: ČVUT, ISBN 80-01-02108-4, 265 str.

Nový, R. a kolektiv (2006). *Technika prostředí*. 2. vydání. Praha: ČVUT, ISBN 80-010-3492-5, 267 str.

Petersen, S., Knudsen, M.D. (2017). Method for including the economic value of indoor climate as design criterion in optimisation of office building design. *Building and Environment* 122, pp. 15-22.

Petráš, D., Koudelková, D. (2001). *Teplovodné a elektrické podlahové vykurovanie*. Bratislava: Jaga.

Petráš, D. a kolektiv (2006). *Vytápění velkoprostorových a halových objektů*. 1. vydání. Bratislava: Jaga Group, s.r.o., ISBN 80-8076-040-3, 205 str.

Purswell, J.L., Dozier III, W.A., Olanrewaju, H.A., Davis, J.D., Xin, H., Gates, R.S. (2012). Effect of temperature-humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age. *Proceedings of International conference 9th International Livestock Environment Symposium*, Valencia, Spain, code 97164, pp. 41-49.

- Quinn, A., Tamerius, J.D., Perzanowski, M., Jacobson, J.S., Goldstein, I., Acosta, L.(2014). Predicting indoor heat exposure risk during extreme heat events. *Science of The Total Environment* 490, pp. 686-693.
- Randall, T. (2006). *Environmental Design* (3th ed.). New York: Taylor & Francis Inc. Robinson.
- Ražnjevič, K. (1964). *Tepelné tabulky a diagramy*. Bratislava: Alfa.
- Rubinová O., Rubina A. (2005). Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka [online]. [cit. 17. 03. 2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>.
- Rubinová, O. (2012). Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trvale udržitelné výstavby – větrání a klimatizace. Vydalo: Národní stavební centrum s.r.o., Brno.
- Said, J., Bod'o, S., Saady, T., Galik, R., Sardary, S., Abbas, K. (2016). Effect of broiler chickens loving conditions on results of fattening. *Agronomy Research*, vol. 14, Issue 1, pp. 228-235.
- Santamouris, M., Kolokotsa, D. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: the state of the art. *Energy and Building* 57, pp. 74-94.
- Santamouris, M., Asimakopoulos, D. (1996). *Passive Cooling of Buildings*. James a James Ltd.; London, U.K., 472 p.
- Sharma, L., Kishan Lal, K., Rakshit, D. (2017). Evaluation of impact of passive design measures with energy saving potential through estimation of shading control for visual comfort. *Journal of Building Physics*, vol. 42 (3), pp. 220-238.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street—an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, vol. 31, pp. 221-235.
- Sleger, V., Neuberger, P. (2006). Using meteorological data to determine the risk of heat stress. *Research in Agricultural Engineering*, vol. 52, (2), pp. 39-47

- Székyová, M., Feerstl, K., Nový, R. (2006). *Větrání a klimatizace*. 1. vydání. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o., ISBN 80-8076-037-3.
- Šottník, J. (2007). Principles and experience of heat stress reduction in buildings for housing of animals. *Proceedings of International conference "Trends in Agricultural Engineering"*, CULS, Prague, pp. 441-446.
- Tybl, J., Kic, P. (2016). Thermal properties and reduction of energy consumption of buildings. *Agronomy Research*, vol. 14, pp. 1222-1231.
- Vaverka, J., Chybík, J., Sedlák, R. (1992). *Energernické hodnocení budov a tepelná pohoda vnitřního prostředí*. Brno: VÚT.
- Vladut, A. (2011). Temperature – Humidity Index (THI) within the Oltenia plain between 2000 and 2009. *Forum geografix. Studi si cercetari de geografie si protectia mediukui*, vol. 10, (1), pp. 149-156.
- Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F., Endlicher, W. (2015). The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. *Building and Environment*, vol. 84, pp. 151-161.
- Xu, R., Mei, Z.M., Yu, T.F. (2014). Simulation study on ventilation & cooling for an indoor substation. *Applied Mechanics and Materials*, Dalian, China, pp. 1700-1707.
- Yeang, K. (2006). *Ecodesign-a manual for ecological design*. London: Wiley-Academy.
- Zajíček, M., Kic, P. (2013). Longitudinal ventilation of broiler house – simulation of variants. *Proceedings of International conference 12th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Latvia University of Agriculture, Jelgava, pp. 198-202.
- Zejdova P., Chladek, G., Falta, D. (2014). *Influence of stable environment on behaviour and milk production of dairy cows*. Mendel University, Brno, 26 str.

7.2 Příručka dostupná z internetu

Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210 [online]. [cit. 14. 02. 2018].

Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210>.

8 Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Přirozené větrání.	9
Obrázek 2.2: Nucené větrání.	10
Obrázek 2.3: Zónové sálavé vytápění průmyslového haly.	13
Obrázek 2.4: Schéma přenosu tepla.....	14
Obrázek 2.5: Základní konstrukce podlahové vytápění.....	15
Obrázek 2.6: Sálavé vytápění.	16
Obrázek 2.7: Světlý infračervený plynový zářič – Tmavý infračervený plynový zářič.	18
Obrázek 2.8: Elektrický konvektor a elektrické sálavé panely.....	20
Obrázek 2.9: Vytápění haly teplovzdušnými jednotkami.....	21
Obrázek 2.10: Vytápění zavěšenými sálavými panely s přívodem větracího vzduchu vířivými vyústkami ve střešním prostoru.	22
Obrázek 2.11: Základní schéma vzduchového systému.	26
Obrázek 2.12: Příklad ústředního vzduchového klimatizačního systému.	27
Obrázek 2.13: Příklad vzduchové klimatizace s energetickými zdroji.....	28
Obrázek 2.14: Příklady indukčních jednotek k instalaci pod strop	29
Obrázek 2.15: Příklad decentrální klimatizace s energetickými zdroji.	29
Obrázek 2.16: Schéma základních typů chladičových systémů.	33
Obrázek 2.17: Schéma délky stínu.	35
Obrázek 2.18: Mapa globálního horizontálního záření ve Vietnamu.	37
Obrázek 2.19: Mapa globálního horizontálního záření v České republice.....	38
Obrázek 4.1: Hala pro výkrm brojlerů	45
Obrázek 4.2: 2D pohledy haly.	46
Obrázek 4.3: Rozhraní Fluentu.	48
Obrázek 4.4: 3D modelování experimentální haly.	49
Obrázek 4.5: Výpočetní síť a okrajové podmínky zóny.....	50
Obrázek 4.6: Termogramy povrchové plochy v hale.	51
Obrázek 4.7: 3D modelování experimentálních dílen	54
Obrázek 4.8: Orientace relativní polohy budovy a čtyř místností (R1, R2, R3, R4).....	57
Obrázek 4.9: Druhy stromů s tvarem listů a jejich umístění v areálu ČZU.....	61

Obrázek 4.10: Srovnání průměrné teploty vzduchu v Hung Yen a v Praze v roce 2018.	64
Obrázek 4.11: Orientace dílny.	65
Obrázek 4.12: Venkovní zastínění stromy kolem dílny.	65
Obrázek 4.13: Střešní okna dílny.	66
Obrázek 4.14: 3D modelování experimentální dílny.	66
Obrázek 4.15: Základní konstrukce střechy s pěnovým polystyrénem EPS.	67
Obrázek 4.16: Základní schéma prostupu tepla střechou dílny.	69
Obrázek 5.1: Srovnání venkovní a vnitřní teploty vzduchu čtyř místností v létě i v zimě. ...	71
Obrázek 5.2: Srovnání vnitřní relativní vlhkosti čtyř místností v létě i v zimě.	72
Obrázek 5.3: Srovnání koncentrace CO ₂ čtyř místností v létě i v zimě.	73
Obrázek 5.4: Hmotnostní zlomek NH ₃ v případě příčného větrání.	74
Obrázek 5.5: Rychlost proudění příčného a podélného větrání.	75
Obrázek 5.6: Koncentrace CO ₂ příčného a podélného větrání.	76
Obrázek 5.7: Srovnání průtokového diagramu pro příčné a podélné větrání:	76
Obrázek 5.8: Srovnání teploty příčného (černý graf) a podélného (červený graf) větrání. ...	77
Obrázek 5.9: Srovnání hmotnostního podílu CO ₂	78
Obrázek 5.10: Venkovní teplota a teplota v obou dílnách během 24 hodin.	80
Obrázek 5.11: Venkovní teplota a požadovaný chladicí výkon v obou dílnách během 24 hodin.	81
Obrázek 5.12: Venkovní teplota a požadované větrání v obou dílnách během 24 hodin.	81
Obrázek 5.13: Ztráta tepla přenosem u obou experimentálních dílen.	84
Obrázek 5.14: Průběh teploty vzduchu ve čtyřech místnostech a venku během 24 hodin pracovního dne.	87
Obrázek 5.15: Průběh relativní vlhkosti vzduchu ve čtyřech místnostech a venku během 24 hodin pracovního dne.	88
Obrázek 5.16: Použití venkovní hliníkové žaluzie.	89
Obrázek 5.17: Použití vnitřní žaluzie.	90
Obrázek 5.18: Sluneční záření ve stínu a ve slunci pěti druhů stromů.	94
Obrázek 5.19: Snímky z termografie ve stínu a na slunci pěti druhů stromů.	95
Obrázek 6.1: Model původního vnitřního prostoru auly.	106

Obrázek 6.2: Výsledky výpočtu v programu Fluent. Průběhy a rychlosti proudů vzduchu ve vnitřním prostoru auly.....107

9 Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Platné předpisy stanovující limity pro jednotlivé faktory vnitřního prostředí...4	
Tabulka 2.2: Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje (M) vyjádřené v brutto hodnotách a ztráta tekutin za osmihodinovou směnu.....5	
Tabulka 2.3: Celoročně přípustné teploty na pracovišti podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb., v závislosti na náročnosti vykonávané činnosti6	
Tabulka 2.4: Účinky CO ₂ na lidský organismus.....8	
Tabulka 2.5: Klasifikace systémů podle jejich funkce25	
Tabulka 4.1: Množství požadovaných ventilátorů podle výsledků výpočtu.48	
Tabulka 4.2: Charakteristika energeticky relevantních dat výzkumné výstavby55	
Tabulka 4.3: Hlavní konstrukční parametry čtyř měřených místností.....57	
Tabulka 4.4: Podmínky měření při dlouhodobém a krátkodobém měření58	
Tabulka 4.5: Popis základních charakteristik stromů62	
Tabulka 4.6: Charakteristika energeticky relevantních dat výzkumné výstavby68	
Tabulka 5.1: Průměrné hodnoty a standardní odchylky teploty vzduchu t , relativní vlhkost RH a koncentrace CO ₂ ve čtyřech místnostech a venkovní během krátkodobých měření.....70	
Tabulka 5.2: Výsledky měření a statistické vyhodnocení vnitřní teploty t_i , vnitřní relativní vlhkosti RH _i v dílnách WS1, WS2.....79	
Tabulka 5.3: Výsledky měření osvětlení a vypočítaného denního faktoru osvětlení e ve dvou dílnách WS1, WS2 v krátkém čase s plochou střešních a stěnových oken82	
Tabulka 5.4: Celková tepelná ztráta prostupem v zimě.....85	
Tabulka 5.5: Průměrné hodnoty se standardními odchylkami teploty vzduchu t , relativní vlhkosti RH a indexu teploty a vlhkosti THI ve čtyřech kancelářských místnostech a venku v meteorologické stanici během dlouhodobých měření.86	
Tabulka 5.6: Průměrné hodnoty a standardní odchylka kulové teploty t_g , teploty vzduchu t , relativní vlhkosti RH, indexu teploty a vlhkosti THI a indexu kulové teploty- vlhkost BGHI ve čtyřech kancelářských místnostech a venku v	

meteorologické stanici během krátkodobých měření v Sobotu a v neděli s odpovídajícími situacemi žaluzií..	89
Tabulka 5.7: Výsledky měření osvětlení a vypočteného faktoru denního osvětlení e ve dvou kancelářských místnostech R1, R3 v krátké době s plochou zasklených oken..	91
Tabulka 5.8: Sluneční energie okny do interiéru čtyř místností v době krátkého měření	91
Tabulka 5.9: Rozdíly mezi výsledky ve stínu a na slunci.....	92
Tabulka 5.10: Povrchové teploty ve stínu a na slunci měřené termografií v každém druhu stromu.....	96
Tabulka 5.11: Vypočtené výsledky tepelné bilance pro čtyři typy materiálu střechy.....	98

PŘEHLED PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

Publikace ve vědeckém časopise:

1. Cao, V.D., Kic, P.: Analysis of indoor temperature in the workshop building during the summer: A pilot study. *Agronomy Research* 16, 4, 2018, 1614-1621.
2. Cao, V.D., Kic, P.: An analysis of influences of blinds and solar radiation on microclimate in office rooms during summer days: a pilot study. *Agronomy Research* 17, Special issue 1, 2019, 945-956.

Příspěvky ve sborníku:

1. Cao, V.D.: Microclimate conditions in the sport facilities. *19th International Conference of Young Scientists 2017*. Praha, 2017, s. 37-41. ISBN 978-80-213-2771-9.
2. Cao, V.D., Zajicek, M., Kic, P.: Summer ventilation of poultry house for chicken fattening in CFD modelling. *16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Volume 16, 2017, Jelgava, Latvia, 24 May 2017 through 26 May 2017, Pages 461-466.
3. Cao, V.D., Kic, P.: Improvement of winter heat balance of workshops. *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Volume 17, 2018, Jelgava, Latvia, 23 May 2018 through 25 May 2018, Pages 1740-1745.
4. Cao, V.D., Kic, P.: Effect of shading with trees to improve local temperature conditions. *18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Volume 18, 2019, Jelgava, Latvia, 22 May 2019 through 24 May 2019, Pages 1423-1429.