

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**HODNOCENÍ TEPELNÉHO KOMFORTU A KVALITY
VZDUCHU V KANCELÁŘSKÉM PROSTORU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Matouš Juráň

Vedoucí práce :

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Matouš Jméno: Juráš Osobní číslo: 409636

Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Inteligentní budovy

Studijní obor: Inteligentní budovy

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Hodnocení tepelného komfortu a kvality vzduchu v kancelářském prostoru

Název diplomové práce anglicky: Evaluation of thermal comfort and indoor air quality in an office space

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je na základě simulačního modelu a reálného měření zpracovat hodnocení kvality vzduchu a tepelného komfortu konkrétního kancelářského prostoru.

1. Rešerše se zaměřením na způsoby hodnocení tepelného komfortu a kvality vzduchu .

- požadavky
- způsoby vyhodnocení.

2. Zpracování simulace a měření v konkrétním kancelářském prostoru:

- simulační model v SW Designbuilder,
- měření a dotazníkový průzkum v konkrétní kancelářské budově
- vyhodnocení naměřených a simulačních dat
- zpracování závěrů, doporučení.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky

ČSN EN ISO 7730 Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody Jokl, M. - Zdravé obytné a pracovní prostředí

Jméno vedoucího diplomové práce: Miroslav Urban

Datum zadání diplomové práce: 26. 2. 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 20. 5. 2018


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

26.2.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení o použití dat pro studijní účely

Jméno žadatele:

Bc. Matouš Juráš

Instituce:

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 – Dejvice

Účel:

Použití podkladů stavební části objektu C pro energetické výpočty vnitřního prostředí budovy v rámci diplomové práce studenta.

Použití dat spotřeby energií v budově, pro energetické výpočty vnitřního prostředí budovy v rámci diplomové práce studenta.

Použití naměřených dat tepelného komfortu a kvality vnitřního vzduchu spolu s dotazníkovým průzkumem v jedné z kanceláří společnosti 2N TELEKOMUNIKACE a.s. v objektu C, pro energetické výpočty vnitřního prostředí budovy v rámci diplomové práce studenta.

Zodpovědný konzultant:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D., fakulta stavební ČVUT, katedra technických zařízení budov

Specifikace dat:

Projektová dokumentace objektu C. Data spotřeby elektrické energie a plynu v objektu C. Naměřená data teploty vnitřního vzduchu, koncentrace CO₂ a relativní vlhkosti v jedné z kanceláří objektu C. Data získaná dotazníkovým průzkumem v jedné z kanceláří objektu C.

Prohlášení o použití dat:

„Data uvedená ve specifikaci požadovaných dat budou použita pouze ke zpracování studentské práce uvedené v účelu použití dat, nebudou použita ke komerčním ani jiným účelům a nebudou poskytnuta třetí osobě.“

Zodpovědný konzultant:

.....
Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Zástupci společnosti:

.....
Ing. Kateřina Šimonková
(Park Atrium s.r.o.)

.....
Student:

.....
Bc. Matouš Juráš

.....
Ing. Oldřich Stejskal
(2N TELEKOMUNIKACE a.s.)

V Praze dne 18. 5. 2018

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 20. 5. 2018

.....
Bc. Matouš Juráň

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi byli svými radami nápomocni při vypracování této diplomové práce. Zejména chci poděkovat vedoucímu práce Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za ochotu, vstřícné jednání a cenné rady při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Park Atrium, která mi poskytla projektovou dokumentaci k administrativní budově C v Modřanech, společnosti 2N TELEKOMUNIKACE a.s. za umožnění měření vnitřního prostředí v jejich kanceláři a všem zaměstnancům za vyplnění dotazníků, především paní Janě Dolákové za ochotu a vstřícnost při organizaci měření. Nakonec bych rád poděkoval společnosti EnergySim s.r.o. za poskytnutí licencovaného softwaru pro výpočet vnitřního prostředí budov a také za zapůjčení měřících přístrojů.

Obsah

Anotace.....	8
Klíčová slova.....	8
Annotation.....	8
Keywords.....	8
1 Úvod.....	9
2 Kvalita vnitřního prostředí.....	10
2.1 Kontrola a měření vnitřního prostředí.....	10
2.2 Subjektivní hodnocení.....	11
2.3 Objektivní hodnocení.....	11
2.4 Předpisové hodnocení.....	11
3 Systémy budov s vlivem na vnitřní prostředí.....	11
4 Mikroklimata vnitřního prostředí.....	12
4.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima.....	13
4.2 Oděrové mikroklima.....	16
4.3 Aerosolové mikroklima.....	17
4.4 Mikrobiální mikroklima.....	17
4.5 Ionizační mikroklima.....	17
4.6 Světelné mikroklima.....	17
4.7 Akustické mikroklima.....	18
4.8 Psychické mikroklima.....	19
4.9 Elektro - mikroklima.....	19
5 Kvalita vnitřního vzduchu.....	20
5.1 Přívod a odvod škodlivin.....	20
5.2 Rychlost proudění vzduchu v interiéru.....	22
6 Tepelná pohoda.....	24
6.1 Přijatelná tepelná prostředí pro tepelný komfort.....	25
6.2 Dlouhodobé hodnocení všeobecných podmínek tepelného komfortu.....	25
6.3 Adaptace.....	25
6.4 Vnitřní teploty vzduchu.....	25
7 Místní tepelný diskomfort.....	26
7.1 Průvan.....	26
7.2 Vertikální rozdíly teploty vzduchu.....	27
7.3 Teplé a chladné podlahy.....	28
7.4 Asymetrická radiace.....	29
8 Neustálený stav tepelného prostředí.....	30
9 Charakteristika vybraného objektu pro účely hodnocení.....	31
9.1 Popis objektu.....	32
9.2 Posuzovaná velkoprostorová kancelář.....	32
9.3 Tepelné podmínky v lokalitě objektu.....	33
9.4 Hluková zátěž v lokalitě.....	35

10	Výpočtový model pro predikci vnitřního prostředí	36
10.1	Okrajové podmínky výpočtu	37
10.2	Výsledky simulace	40
11	Výpočet CFD	42
11.1	Okrajové podmínky pro CFD simulaci	42
11.2	Výsledky CFD	43
11.3	Hodnocení výsledků CFD simulace.....	60
12	Měření tepelného komfortu a kvality vzduchu	61
12.1	Popis měřících přístrojů	61
12.2	Porovnání jednotlivých odporových senzorů teploty	62
12.3	Naměřená data vnitřního prostředí	64
13	Dotazníkový průzkum	70
13.1	Tepelný komfort.....	71
13.2	Kvalita vnitřního vzduchu.....	76
14	Naměřená data v konfrontaci s dotazníkovým průzkumem	79
14.1	Vnímání teploty vzduchu	79
14.2	Hodnocení teploty vzduchu	80
14.3	Vnímání teploty vzduchu pro jednotlivé části těla	81
14.4	Hodnocení kvality vnitřního vzduchu.....	83
14.5	Vnímání proudění vzduchu v prostoru	84
14.6	Hodnocení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu	85
15	Hodnocení výsledků měření a dotazníkového průzkumu	86
15.1	Zařazení jednotlivých veličin do kategorií vnitřního prostředí	87
15.2	Souhrnné zatřídění do kategorie vnitřního prostředí	89
16	Diskuze	90
16.1	Nejistoty měření.....	90
16.2	Nejistoty dotazníkového průzkumu	91
16.3	Hodnocení výpočetního modelu versus hodnocení získaných dat.....	91
16.4	Úsporná opatření	92
16.5	Certifikace vnitřního prostředí.....	92
17	Závěr	93
	Seznam literatury a podkladů.....	94
	Seznam obrázků.....	96
	Seznam tabulek	98
	Příloha č. 1: Dotazník	99

Anotace

Tato práce se zabývá vnitřním prostředím velkoprostorové kanceláře administrativní budovy, konkrétně tepelným komfortem a kvalitou vnitřního vzduchu. Cílem práce je zhodnotit tepelný komfort a kvalitu vnitřního vzduchu a porovnat výsledky výpočtového modelu dynamické simulace CFD s reálným měřením a dotazníkovým průzkumem. Součástí hodnocení je také výpočet místního tepelného diskomfortu a zatřídění do kategorie vnitřního prostředí. Při tvorbě výpočtového modelu a definici okrajových podmínek byly použity především normy ČSN EN ISO 7730 pro stanovení předpokladu a ČSN EN 15251 pro vyhodnocení výsledků. Dynamická simulace vnitřního prostředí byla provedena pomocí programu DesignBuilder. V kapitole diskuze je nastíněn problém ohledně nejistot při měření, dotazování a metodiky hodnocení vnitřního prostředí.

Klíčová slova

vnitřní prostředí, tepelný komfort, kvalita vnitřního vzduchu, administrativní budova, CFD simulace, dotazníkový průzkum, certifikace vnitřního prostředí

Annotation

This thesis deals with indoor environment of one open office in office building. More accurately it deals with thermal comfort and indoor air quality. The goal of the thesis is to evaluate thermal comfort and indoor air quality and to compare the results of CFD simulation with *in-situ* measurement and questionnaire research. Calculation of local discomfort and classification of indoor environment are also part of the whole evaluation. For dynamic PC model creation, standards ČSN EN ISO 7730 and ČSN EN 15251 were used to define boundary conditions. Standard ČSN EN ISO 7730 was used to determine prediction and standard ČSN EN 15251 to evaluate results. Dynamic PC simulation of indoor environment was calculated using DesignBuilder software. Chapter discussion deals with uncertainties of measurement, questionnaire research and the problem of non-existing certification process of indoor environment.

Keywords

indoor environment, thermal comfort, indoor air quality, office building, CFD simulation, questionnaire research, certification process of indoor environment

1 Úvod

Vnitřní prostředí považujeme za soubor všech faktorů působících na člověka uvnitř budovy. Jednotlivé faktory neustále, při vzájemné interakci, spoluvytváří výsledný stav vnitřního prostředí. Mezi fyzikální faktory patří teplota, vlhkost, rychlost proudění vzduchu, kvalita vzduchu, osvětlení, hluk, záření a prostor samotný. S těmito faktory okolí jsou v interakci faktory živého organismu a to věk, pohlaví, rytmicita (dýchání, srdeční tep, tělesná teplota...), psychické faktory (stav mysli, nálada...) a biologické pochody (trávení, odpočinek, práce, únava...). Lidský organizmus reaguje na veškeré faktory ve vnitřním prostředí ať už vědomě či podvědomě, kdy se snaží o eliminaci nepříznivého účinku za účelem dosažení komfortu. Mezi vědomé reakce patří například volba oblečení, otevření / zavření okna nebo zásah do systému větrání či vytápění. Naopak podvědomými reakcemi jsou například pocení, přizpůsobení oka okolním světelným podmínkám, třes svalů apod. Vnitřní prostředí má významný vliv na naše zdraví, produktivitu práce a také na pohodu v prostředí. Negativní účinky dělíme do dvou kategorií a to syndrom nemocných budov (SBS) a syndrom nemocí z budov (BRI). Syndrom nemocných budov charakterizují příznaky a potíže uživatelů, které jsou spojeny s pobytem v budově bez jasné příčiny problému. Jako příznaky se vyskytují stížnosti na nepohodu v prostoru, podráždění sliznic únava, bolest hlavy atd. Většina těchto příznaků odezní po opuštění budovy, což je hlavní rozdíl oproti syndromu nemocí z budov. Syndrom nemocí z budov má jasné příčiny problému nepohody ve vnitřním prostředí (průvan, plísně...) a z nich vyplývající nemoci (nachlazení, alergie...). [1, 2, 3]

Hodnocení tepelné pohody a komfortu ve vnitřním prostředí plně vystihují následující citáty:

„Stav mysli, který vyjadřuje uspokojení s prostředím“ (Fanger 1970 - ASHRAE)

„Souhrn podmínek, za nichž si subjekt neuvědomuje stav prostředí“ (Saini 1971)

„Pohoda je neexistence zbytečné tísně při dané činnosti...“ (Brundrett 1974)

„Takový stav prostředí, při kterém se lidé v uvažovaném prostoru subjektivně cítí co nejlépe a jsou tedy též schopni maximálního pracovního výkonu ať již fyzického či duševního, nebo co nejúčinnějšího odpočinku.“ (Jokl 1986)

„Tepelný komfort je stav mysli vyjadřující uspokojení s tepelným prostředím.“

(ČSN EN ISO 7730)

Pro komplexní vyhodnocení parametrů vnitřního prostředí neexistuje v dnešní době souhrnná metodika hodnocení vnitřního prostředí. Současné certifikační systémy (např. BREEAM, LEED, SBTool, apod.) slouží ke komplexnímu posouzení projektované či stávající budovy, s důrazem na energetickou nenáročnost a environmentální šetrnost. Vyjádření kvality vnitřního prostředí je zde reflektováno ve smyslu jeho hodnocení podle technických norem za pomoci využití dynamických počítačových modelů.

2 Kvalita vnitřního prostředí

2.1 Kontrola a měření vnitřního prostředí

Kontrola stávajících budov může být provedena za účelem ověření energetické náročnosti budovy, jejich technických systémů a jejich efektivitu. Výsledkem mohou být opatření vedoucí k úspoře energií. Důležitou roli hraje správná regulace systémů tak, aby vnitřní prostředí vždy dosahovalo předem určených kritérií (např. nepřetápět prostory, neúměrně větrat atd.). [2]

Pro měření tepelného prostředí a kvality vnitřního vzduchu se vyberou vytipované prostory, kde lidé tráví většinu pracovní doby po celý rok. Zde měříme primárně teplotu, koncentraci CO₂ a případně kvalitu osvětlení. Výsledky měření lze porovnat s předem provedenými výpočty a srovnáním s příslušnými návrhovými parametry. Při nesplnění návrhových parametrů je nutné provést zásahy do technických systémů budovy. [2]

2.2 Subjektivní hodnocení

Pro hodnocení vnitřního prostředí může být využito přímé subjektivní reakce osob pobývajících v hodnoceném prostoru. Tento účel mohou plnit dotazníky založené na denní, týdenní nebo měsíční spokojenosti s vnitřním prostředím, tepelným pocitem nebo s vnímanou kvalitou vzduchu.

Kvalitní vnitřní prostředí tedy nezáleží pouze na naměřených hodnotách, ale z větší části na subjektivním pocitu člověka pobývajícího v daném prostoru, který je vyvolán smyslovými počitky. [3]

2.3 Objektivní hodnocení

Splněním základních fyzikálních zákonitostí lze hovořit o objektivním hodnocení. Za základní fyzikální zákonitost lze ve vnitřním prostředí považovat například splnění rovnovážného stavu rovnice tepelné bilance člověka. Dělení hodnocení pak může být na tři stupně: optimální prostředí, únosné prostředí a neúnosné prostředí. Samotné hodnocení pak vychází ze stavu subjektu. [3]

2.4 Předpisové hodnocení

Na základě objektivního, případně subjektivního hodnocení, by měly vycházet předpisy, normy a vyhlášky pro zhodnocení stavu vnitřního prostředí, případně pro návrh nových prostor. S využitím obsáhlého dotazníkového průzkumu lze definovat optimální a nejvýše přípustné hodnoty pro udržení komfortního vnitřního prostředí. [3]

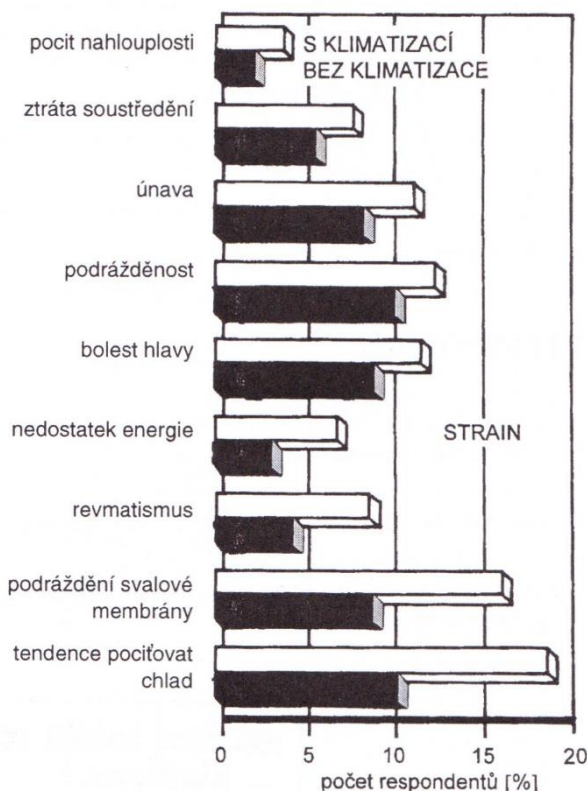
3 Systémy budov s vlivem na vnitřní prostředí

Vnitřní prostředí budov je ovlivňováno nejen okolními podmínkami nebo člověkem samotným, ale také technickými systémy budov a jejich návrhem, regulací či řízením. Systém vytápění se stará především o tepelnou pohodu v období chladnějšího počasí. Systém chlazení funguje přesně naopak, v horkém počasí nám snižuje teplotu v prostoru na příjemnější podmínky. Správným nastavením obou systémů předcházíme stavu v prostoru, kdy zároveň topíme i chladíme. Z hlediska energetických úspor nedává tento krok logiku, avšak pokud

máme řízení vytápění nastaveno podle venkovní teploty vzduchu a není počítáno s velkými vnitřními tepelnými zisky (v administrativních budovách hlavně od PC a další elektroniky), systém vytápí objekt i když není potřeba. Při zvýšené teplotě zase spouští systém chlazení a dochází tak ke dvojitému plýtvání energií – na vytápění a chlazení.

System větrání funguje zčásti nezávisle na systémech větrání a chlazení. Jeho úkolem je přívod čerstvého vzduchu do interiéru a odvod škodlivin. Důležitou roli hraje použití vzduchotechnické jednotky s rekuperací, pro snížení energetických nároků na úpravu přívodního vzduchu.

Vhodně či nevhodně navržený, regulovaný či provozovaný systém chlazení má také nezanedbatelný vliv na zdraví osob v klimatizovaném prostoru. Obr. 1 poukazuje na nejčastější krátkodobé zdravotní problémy v prostoru s klimatizací a bez klimatizace.



Obr. 1: Subjektivní pocit lidí při pobytu v prostoru s klimatizací a bez klimatizace [3]

4 Mikroklimata vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí budov se dělí do několika mikroklimat, která více či méně ovlivňují komfort osob v prostoru.

4.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima

Mezi lidským tělem a okolím probíhá řada energetických toků a výměn energie. Mezi jedny z nejdůležitějších patří tepelné a vlhkostní toky. Mezi hodnotící kritéria tepelných toků řadíme operativní teplotu, ukazatele PMV a PPD a efektivní teplotu. Hodnocení vlhkostních toků provádíme pomocí relativní vlhkosti v prostoru. [3]

4.1.1 Operativní teplota

Operativní teplota je veličina vypočtená pomocí střední radiační teploty. Uvažujeme ji jako rovnoměrnou teplotu uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel prouděním a sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném prostředí. [3]

Pro administrativní budovy jsou předpokládány hodnoty tepelného odporu oděvu (clo) a intenzity fyzické činnosti uvedeny v Tab. 1, včetně návrhové operativní teploty v prostoru.

Tab. 1 Doporučené návrhové hodnoty operativní teploty pro návrh budov a vytápěcích, větracích a klimatizačních zařízení [1]

Typ budovy / místnosti	Kategorie	Operativní teplota, °C	
		Minimum pro vytápění (zimní období), $\approx 1,0$ clo	Maximum pro chlazení (letní období), $\approx 0,5$ clo
Velkoplošná kancelář (halová kancelář) Sedící $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Konferenční místnost Sedící $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Jednotlivá kancelář (buňková kancelář) Sedící $\approx 1,2$ met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0

4.1.2 Předpověď středního tepelného pocitu (PMV)

Na základě zpětné vazby velkého počtu dotazovaných osob využíváme ukazatel PMV pro předpověď středního tepelného pocitu v prostorách s výskytem osob. Dle sedmibodové stupnice tepelných pocitů, viz Tab. 2, které zohledňují tepelnou rovnováhu celého těla, byl hodnocen pocit a tepelná pohoda každého respondenta. Tepelná pohoda či tepelná rovnováha nastává při rovnováze tepelné produkce těla a tepelné ztrátě v daném prostoru.

Při mírné nerovnováze se termoregulační systém člověka pokusí automaticky udržet tepelnou rovnováhu - při vysoké teplotě pocením, při nižší teplotě lehkým svalovým třesem. [1]

Tab. 2 Sedmibodová stupnice tepelných pocitů [1]

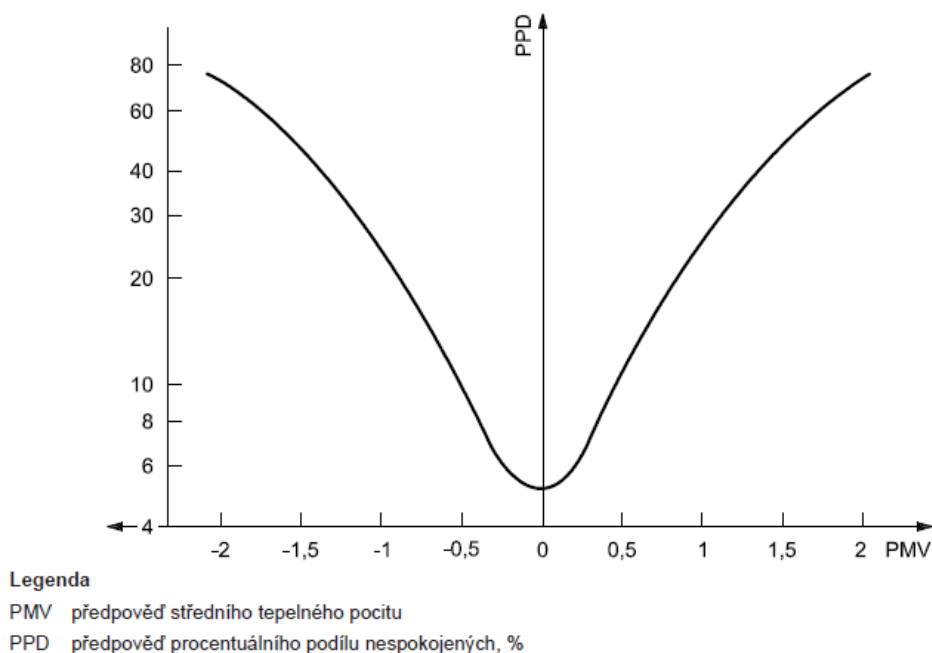
+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mírné teplo
0	Neutrální
-1	Mírné chladno
-2	Chladno
-3	Zima

Ukazatel PMV lze stanovit pro různé kombinace vnitřních podmínek jako je teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu, izolace oděvu a metabolismus člověka a vlhkost vzduchu. Obvykle je ukazatel odvozen pro podmínky ustáleného stavu, ale může být použit i při menším kolísání hodnot jednoho nebo více parametrů. Z parametrů jsou tak použity vážené průměry za poslední hodinu. Zde je proto nutno vzít v úvahu drobné odchylky. Použitím ukazatele PMV lze ověřit, zda dané tepelné prostředí splňuje kritéria komfortu a také ke stanovení požadavků pro různé úrovně přijatelnosti. Pokud do výpočtu dosadíme $PMV=0$, můžeme předpovědět kombinaci činnosti, oděvu a parametrů prostředí, které dohromady vyvolají tepelně neutrální pocit. [1]

4.1.3 Předpověď procentuálního počtu nespokojených (PPD)

Určení parametru PPD vychází s předchozího ukazatele PMV. Jednotlivé hodnocení dotazovaných osob, které byly vystaveny totožnému prostředí, různě osciluje kolem střední hodnoty, a proto je vhodné předpovídat procentuální zastoupení osob, které se budou s určitou mírou pravděpodobnosti cítit v prostoru nekomfortně, ať už z důvodu tepla nebo chladu. [1]

Ukazatelem PPD tedy stanovujeme kvantitativní předpověď procenta osob v daném prostředí, nespokojených s tepelným prostředím. Dle normy ČSN EN ISO 7730 považujeme za osoby nespokojené s tepelným prostředím volící na sedmibodové stupnici (viz Tab. 2) horko, teplo, chlad nebo zimu. [1]



Obr. 2: PPD jako funkce PMV [1]

Předpověď PPD určuje počet nespokojených osob ve velké skupině. Ostatní osoby ve skupině budou cítit tepelné prostředí jako neutrální nebo jako mírné teplo či mírný chlad. Pravděpodobné rozložení pocitů osob je uvedeno v Tab. 3. [1]

Tab. 3 Rozložení hodnocení individuálního tepelného pocitu pro různé hodnoty středního tepelného pocitu [1]

PMV	PPD	Předpověď hlasování osob ^a		
		%		
		0	-1, 0 nebo +1	-2, -1, 0, +1 nebo +2
+2	75	5	25	70
+1	25	30	75	95
+0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
-0,5	10	55	90	98
-1	25	30	75	95
-2	75	5	25	70

^aZaložená na odpovědích 1300 osob

4.1.4 Efektivní teplota

Další vypočtená veličina, která na základě operativní teploty a vlhkosti určuje teplotu interiéru (při 50% relativní vlhkosti), při které jsou vyvolány stejné tepelné ztráty pokožky jako v reálném prostředí. Pro tyto výpočty musí být stejná rychlost proudění vzduchu. [1]

Efektivní teplotou je myšlen tepelný stav klidného vzduchu nasyceného vodní párou, který vzbuzuje u člověka stejný tepelný pocit jako prostředí posuzované. Efektivní teplota je rovna teplotě vzduchu v klidném nasyceném vzduchu. [3]

4.1.5 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu se v obytných prostorech obvykle pohybuje mezi 40 – 60%. Působení vlhkosti na kvalitu vnitřního prostředí má ovšem méně podstatný význam, nicméně dlouhodobě nízká relativní vlhkost (nižší než 15-20%), může způsobovat vysychání a podráždění očí. Naopak dlouhodobě vysoká relativní vlhkost (nad cca 75-80%) vede ke vzniku plísní a růstu mikroorganismů, které přinášejí pro vnitřní prostředí značný diskomfort. Při běžném užívání obytných prostor s častým výskytem osob, jsou tyto extrémy téměř nemyslitelné. Vždy se v prostoru najde osoba, která otevře okno a odvětrá vlhkost, či naopak přivede vlhkost z exteriéru. V některých speciálních místnostech (např. archivy) je nutno držet stabilní vlhkostní mikroklima, a proto i návrh systému musí počítat s vlhčícím, či odvlhčovacím prvkem ve vzduchotechnické jednotce. Použití vlhčení a odvlhčování ve vnitřním prostředí obytných prostor není obvykle vyžadováno. Pokud ovšem navrhujeme tento systém, je nutné vyhnout se nadměrnému odvlhčování či vlhčení, aby byl zajištěn tepelně vlhkostní komfort osobám v prostoru. [3, 5]

4.2 Odérové mikroklima

Složka prostředí, kterou tvoří odérové látky (odéry), vnímané jako nepříjemné (zápachy), či příjemné (vůně), označujeme jako odérové mikroklima. Tyto látky obvykle produkuje sám člověk uvnitř prostoru, případně je uvolňují stavební konstrukce nebo zařizovací předměty. Další odéry přicházejí z exteriéru z dopravy, průmyslu či samovolně z přírody – kvetoucí rostliny, seno... Nepříjemné odéry mohou mít také negativní vliv na pohodu člověka, ať již v krátkodobém, či dlouhodobém působení (alergie...) a naopak příjemné odéry mohou navodit pohodovou atmosféru nebo podporovat výkon při práci (vůně květů, pomeranče, citronu...). Při extrémních situacích může odérové mikroklima přejít až do toxického mikroklimatu, kdy koncentrace některých odérů (CO, CO₂, O₃ ...) začíná být životu nebezpečná. Vhodným návrhem vzduchotechnického zařízení zajistíme optimální odérové mikroklima. [3]

4.3 Aerosolové mikroklima

V ovzduší jsou rozptýleny také pevné nebo kapalné částice. Mezi pevné částice řadíme prach organický (živočišného a rostlinného původu – z peří, rohoviny, dřeva, bavlny...), anorganický (nekovový a kovový – křemičitany, měď, olovo...) a smíšený. Při poklesu teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu a kondenzaci vodní páry, vzniká mlha, která značí výskyt kapalných částic v mikroklimatu. Nebezpečí aerosolového klimatu lze určit pomocí velikosti částic, které mohou vniknout do dýchacích a nosních dutin (inhalovatelné částice < 10 μm), usadit se v dolních dýchacích cestách či plicních sklípcích (jemné částice < 2,5 μm), případně přestoupit až do krve (ultrajemné částice < 1 μm). [3]

4.4 Mikrobiální mikroklima

Mikrobiální mikroklima tvoří především bakterie, viry, plísně a jejich póry, endotoxiny a mykotoxiny. Do interiéru se dostávají z venkovního ovzduší, ze systému vzduchotechniky při zanedbaném čištění a výměny filtrů, ze stavebních konstrukcí nebo jsou přímo produkovány člověkem. Pro optimální požadavky na mikrobiální mikroklima platí únosná koncentrace mikrobů bakterie maximálně 500 na m^3 a sporů plísní také 500 na m^3 . Dále nesmí docházet ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukcí. [3]

4.5 Ionizační mikroklima

Ionizační mikroklima vzniká působením radioaktivních materiálů, zářením alfa, beta, gama a neutronovým zářením. Mezi hlavní zdroje tohoto záření patří zemská kůra se stopovým množstvím uranu, čerpání spodní vody a spalování uhlí v elektrárnách. Ve vnitřním prostředí administrativních budov je největším zdrojem cigaretový kouř. Ionizační záření není vnímáno člověkem, avšak může zasáhnout hlavně dýchací cesty, trávicí ústrojí, kůže, sliznice a vést až k rakovině plic. [3]

4.6 Světelné mikroklima

Použitím denního světla v kombinaci s umělým osvětlením můžeme zajistit požadovanou hladinu osvětlenosti v prostoru. Pro zajištění komfortu, ochrany zdraví

a energetických úspor je vhodnější využití co největší míry denního světla. Trvalý nedostatek denního osvětlení může způsobit i některé zdravotní potíže. V mnoha případech ovšem denní osvětlení nesplňuje požadované vlastnosti, v místnostech vznikají odlesky na pracovních plochách, či na monitorech počítačů, a proto je vhodné myslet také na úsporné umělé osvětlení. Návrh musí samozřejmě zohlednit také užívání prostoru, umístění budovy, natočení vůči světovým stranám či množství hodin s denním světlem v průběhu zimy a léta. Velkým problémem je také příliš velké procento prosklení obvodových konstrukcí bez dodatečného stínění. Příliš velká okna mohou, zejména v létě, způsobovat přehřívání prostoru a naopak malá okna způsobí nedostatek denního osvětlení. [3, 5, 6]

Tab. 4 Příklady návrhových úrovní osvětlenosti [6]

Typ budovy	Prostor	Udržovaná osvětlenost E_m na pracovním místě (lx)	UGR	Ra	Poznámka
Kancelářské budovy	Jednotlivé kanceláře	500	19	80	v 0,8 m
	Velkoplošné kanceláře	500	19	80	v 0,8 m
	Konferenční místnosti	500	19	80	v 0,8 m

4.7 Akustické mikroklima

Pro udržení kvality vnitřního prostředí bychom měli omezit také hlukovou zátěž v prostoru. Nejvíce hluku v kancelářských budovách produkují vzduchotechnické systémy a také možný hluk přicházející z exteriéru. Důležitým aspektem návrhu je také možnost zásahu uživatele. Přirozeně, pokud máme možnost regulovat zdroj hluku, jsme méně citliví na tento hluk, než při neznámém hluku, který přichází odněkud a nemáme možnost jej potlačit, či omezit. Pro hodnocení hluku v prostoru lze použít veličinu - hladina akustického tlaku. [2]

V oblastech s vysokou akustickou zátěží (doprava, pracovní stroje...) by nemělo být realizováno provětrávání objektu okny, nýbrž využito nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. [2]

Tab. 5 Návrhové hodnoty hladiny akustického tlaku A [2]

Budova	Typ prostoru	Hladina akustického tlaku A [dB]	
		Typický rozsah	Standardní návrhová hodnota
Kancelářské budovy	Malé kanceláře	30 až 40	35
	Konferenční místnosti	30 až 40	35
	Velkoplošné kanceláře	35 až 45	40
	Kancelářské kóje	35 až 45	40

4.8 Psychické mikroklima

Složka vnitřního prostředí, která vyvolává v každém člověku rozdílné pocity podle působení kombinace ostatních složek vnitřního prostředí. Označením psychické mikroklima ve vnitřním prostoru je myšleno to, na co působí všechny ostatní složky – na psychiku jedince. Na psychiku každého z nás má také nemalý vliv psychologie architektury, či dělení prostoru. I pracovní prostředí může ovlivňovat kvalitu a rychlost odvedené práce. Pro pracovní nasazení může hrát velkou roli několik faktorů: optimální velikost prostoru, aby se člověk necítil stísněně, či naopak „ztraceně“ v příliš velkém prostoru nebo umístění pracovního místa a barevnost interiéru. Teplé (aktivní) barvy podněcují k činnosti, chuť k jídlu, rychlejší tok času a naopak studené barvy (pasivní) nabádají k útlumu, odpočinku. [3]

4.9 Elektro - mikroklima

Elektro-mikroklima sdružuje elektrostatické, elektro-iontové, elektromagnetické, ionizující a radiační pole pod jednu složku vnitřního mikroklimatu. Podstatou elektrostatického mikroklimatu je vznik a pohyb elektrického náboje v prostoru. Elektro-iontové mikroklima tvoří působení pozitivních a negativních iontů v ovzduší na člověka. Pole střídavých elektromagnetických vln o vlnové délce větší než 1 mm vytváří v uvažovaném prostoru elektromagnetické mikroklima. Účinky elektro-mikroklimatu na člověka jsou například zasažení očí, kůže, nervového systému, pohlavních orgánů, vzrůst či pokles pH krve nebo tlaku, případně vyvolání reakce, například bolestí hlavy. [3]

5 Kvalita vnitřního vzduchu

5.1 Přívod a odvod škodlivin

Důležitým prvkem pro zajištění kvality vnitřního prostředí je dostatečná výměna vzduchu v prostoru a přívod čerstvého vzduchu. Z toho vyplývá nutnost citlivě zvolit požadované množství přiváděného vzduchu. Navrhovaný průtok nezávisí na ročním období, ale na obsazenosti prostoru a jeho využití (kanceláře, konferenční místnosti...). Další hlavní aspekt návrhu tvoří měření koncentrace CO₂ a jeho omezení na maximální dovolené limity nebo spíše omezení na doporučené hodnoty pro vykonávání pracovní činnosti. Doporučené hranice koncentrace CO₂ ukazuje Tab. 6. Dle Vyhlášky č. 20/2012 Sb. slouží jako ukazatel kvality vnitřního prostředí koncentrace oxidu uhličitého. Koncentrace nesmí překročit 1500 ppm (doporučená hodnota je 1000 ppm). Obecně v administrativních prostorách navrhujeme vzduchotechniku pro přívod čerstvého vzduchu, ale neopomenutelnou součástí je také odvod vzduchu, včetně různých škodlivin. Čím více škodlivin odvádíme, tím jsou pro nás důležitější filtry ve vzduchotechnické jednotce. Pomocí filtrů můžeme zlepšit kvalitu vnitřního vzduchu při úpravě venkovního vzduchu ve velmi znečištěném prostředí, omezení vstupu pylů z venkovního prostředí (vhodné zejména pro alergiky) a také pro odstranění pachů a plynných znečišťujících látek vstupujících do vzduchotechnické jednotky z exteriéru. [2]

Tab. 6 Doporučené koncentrace CO₂ nad koncentrací CO₂ ve venkovním vzduchu [2]

Kategorie	Odpovídající koncentrace CO ₂ nad koncentrací CO ₂ ve venkovním vzduchu v ppm pro energetické výpočty
I	350
II	500
III	800
IV	>800

Jednotlivé kategorie vychází z různých hodnot kritérií PMV a PPD a stanovují čtyři druhy kategorií:

Tab. 7 Kategorie tepelného prostředí [2]

Kategorie	Tepelný stav těla jako celku	
	PPD %	Předpokládaný střední tepelný pocit
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2
II	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5
III	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < - 0,7 nebo + 0,7 < PMV

Hodnota průtoku vzduchu je složena ze dvou složek a to odvodu škodlivin od osob a odvod škodlivin, které produkuje budova a její systémy. Větrání pro každou kategorii je součtem hodnot z tabulek Tab. 8 a Tab. 9.

Tab. 8 Požadované průtoky větracího vzduchu pro ředění emisí od osob pro různé kategorie [2]

Kategorie	Předpokládané procento nespokojených	Průtok na osobu l/s/osoba
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	> 30	< 4

Tab. 9 Průtoky větracího vzduchu pro odvod emisí z budovy [2]

	Budovy s velmi nízkým znečištěním vnitřního prostředí	Budovy s nízkým znečištěním vnitřního prostředí	Budovy s významným znečištěním vnitřního prostředí
Kategorie I:	0,5 l/s.m ²	1,0 l/s.m ²	1,0 l/s.m ²
Kategorie II:	0,35 l/s.m ²	0,7 l/s.m ²	1,4 l/s.m ²
Kategorie III:	0,3 l/s.m ²	0,4 l/s.m ²	0,8 l/s.m ²

Výsledné hodnoty pro navrhované množství vzduchu uvádí Tab. 10, ve které je zařazena i možnost povolení kouření v budově (viz poslední sloupeček tabulky) přiřádkou k návrhovým hodnotám.

Tab. 10 Doporučené průtoky větracího vzduchu pro nebytové budovy pro standardní obsazenost a tři kategorie znečištění budovy [2]

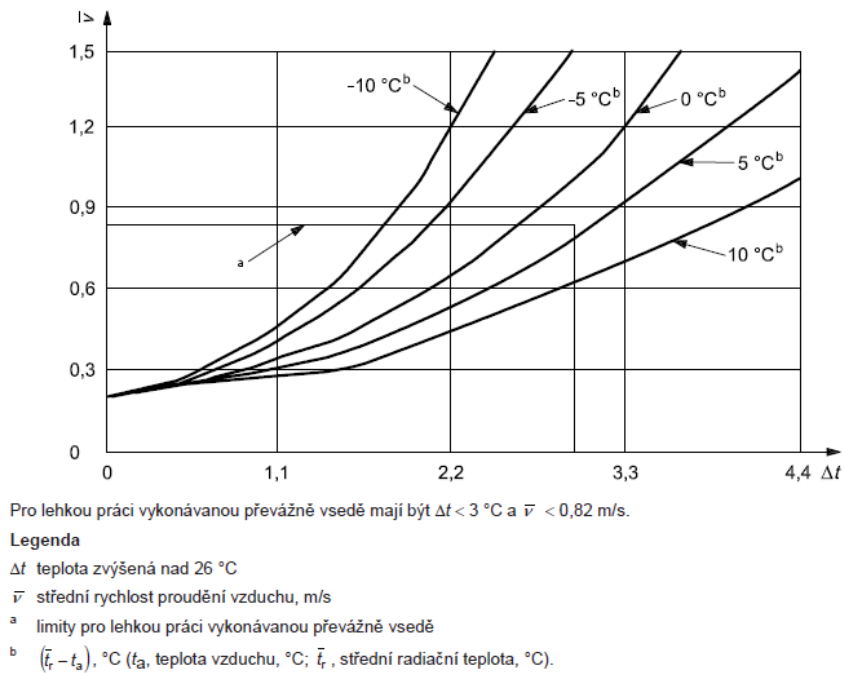
Typ budovy nebo prostoru	Kategorie	Podlahová plocha v m ² /osoba	q _p	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	Přídavek na kouření
			l/s.m ² pro osoby	l/s.m ² pro budovy s velmi nízkým znečištěním vnitřního prostředí	l/s.m ² pro budovy s nízkým znečištěním vnitřního prostředí	l/s.m ² pro budovy s výrazným znečištěním vnitřního prostředí	l/s.m ²			
Jednotlivé kanceláře	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Velkoplošná kancelář	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Konferenční místnost	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0

Během neobsazenosti budov (u administrativních budov po skončení pracovní směny, o víkendech a svátcích) se doporučuje před začátkem užívání objektu dodat do prostoru dvojnásobný objem vzduchu jako při běžném užívání. Další možnost je budovu větrat stále avšak s nižším průtokem vzduchu a s přispěním infiltrace. [2]

5.2 Rychlost proudění vzduchu v interiéru

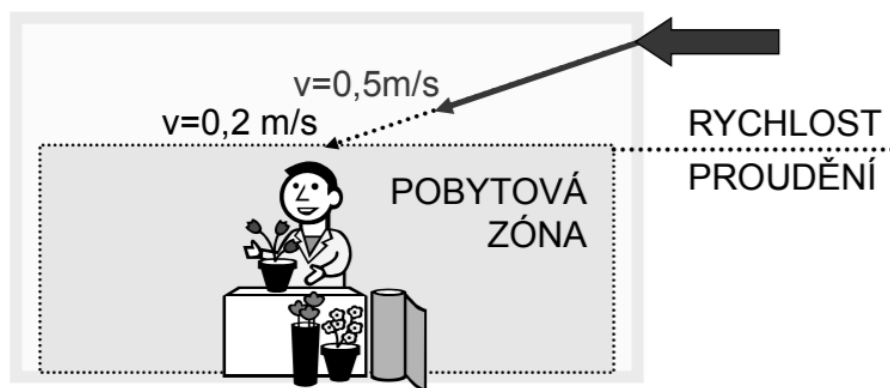
Tepelnou pohodu ovlivňuje nejen samotná teplota vzduchu, ale také rychlost proudění vzduchu. Pro rychlost proudění vzduchu v interiéru není stanovena žádná minimální hodnota. Rychlost proudění ovšem výrazně ovlivňuje přestup tepla mezi osobou a prostředím, což ovlivňuje celkový komfort těla (promítá se do ukazatelů PMV a PPD) a místní tepelný diskomfort, kvůli průvanu. Díky těmto poznatkům může být zvýšená rychlost proudění vzduchu použita pro tepelný komfort člověka v prostoru se zvýšenou teplotou. Zvýšení rychlosti proudění vzduchu je vhodné použít při překročení teploty 26 °C v interiéru. Obr. 3 zobrazuje kombinaci rychlosti proudění vzduchu a teploty, z čehož se vyvozuje celkový tepelný přestup z kůže člověka do prostoru. Referenční bod grafu začíná na teplotě 26 °C a rychlosti proudění vzduchu na 0,20 m/s. Zobrazen je stav pro typické letní oblečení (0,5 clo) a sedavou činnost v administrativní budově (1,2 met). Výhody při zvýšené rychlosti proudění

vzduchu závisí zejména na tepelném odporu oděvu, činnosti člověka a rozdílu mezi povrchovými teplotami oděvu, kůže a teplotou vzduchu. [1, 5]



Obr. 3: Rychlost proudění vzduchu pro vyrovnání zvýšené teploty vzduchu [1]

V pobytové zóně osob (cca 1,6 – 2 m nad podlahou) se jako doporučená hodnota rychlosti proudění vzduchu udává rychlost 0,1 – 0,25 m/s. Při vyšších rychlostech nastává pocit průvanu. V zóně nad 2 m výšky od podlahy můžeme uvažovat mírně vyšší rychlosti, např. 0,5 m/s. Hodnotou 0,5 m/s se také vymezuje tzv. dosah proudu z vyústky vzduchotechnického zařízení. [7]



Obr. 4: Limitní rychlosti proudění vzduchu v prostoru pro zajištění tepelného komfortu [7]

6 Tepelná pohoda

Člověk se cítí v prostoru pohodlně, pokud je veškeré teplo vytvořené organismem odevzdáno do okolí, tzn. je splněna rovnovážnost tepelné bilance člověka. Teplo do okolí lze odevzdat prostřednictvím dýchání, proudění, sálání, vedení a vypařování. Stav, kdy člověk vyprodukuje více tepla metabolickými přeměnami (bazální metabolismus a svalový metabolismus) a mechanickou prací než je schopno okolí pojmout, označujeme jako horko. A naopak, pokud okolí odnímá více tepla než je schopen organismus vyprodukovat, hovoříme o zimě. Při pocitu horka, či zimy se aktivují termoregulační mechanismy lidského těla (odvod tepla z těla pokožkou, aktivace potních žláz, snížení tepelných ztrát těla nebo svalový třes). Tepelnou bilanci organismu výrazně ovlivňuje také tepelný odpor oděvu. Typické oblečení pro zimu má hodnotu 1 clo a typické oblečení pro léto 0,5 clo. Další typické kombinace oděvů jsou uvedeny Tab. 11. [1]

Tab. 11 Hodnoty tepelné izolace při kombinaci typických částí oděvu [1]

Pracovní oděv	I_{cl}		Běžný oděv	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Spodky, kombinéza, ponožky, boty	0,70	0,110	Kalhotky, tričko, šortky, tenké ponožky, sandály	0,30	0,050
Spodky košile, kombinéze, ponožky, boty	0,80	0,125	Spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, tenké ponožky, boty	0,50	0,080
Spodky, košile, kalhoty, pracovní šaty, ponožky, boty	0,90	0,140	Kalhotky, spodnička, punčochy, šaty, střevíce	0,70	0,105
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,00	0,155	Spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty	0,70	0,110
Spodní prádlo s dlouhými nohavicemi a rukávy, termobunda, ponožky, boty	1,20	0,185	Kalhotky, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,00	0,155
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, silná prošívaná venkovní bunda a kombinéza, ponožky, boty	1,40	0,220	Kalhotky, punčochy, halenka, dlouhá sukně, bunda, boty	1,10	0,170
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, bunda, silná prošívaná venkovní bunda a kombinéza, ponožky, boty, čepice, rukavice	2,00	0,310	Spodní prádlo s dlouhými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, svetr V, bunda, ponožky, boty	1,30	0,200
Spodní prádlo s dlouhými rukávy a nohavicemi, termobunda a kalhoty, parka, silná kombinéza, ponožky, boty, čepice, rukavice	2,55	0,395	Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, vesta, bunda, kabát, ponožky, boty	1,50	0,230

6.1 Přijatelná tepelná prostředí pro tepelný komfort

Každý máme individuální požadavky na tepelný komfort, který vyjadřuje uspokojení s tepelným prostředím. Diskomfort může způsobit jak nežádoucí ochlazování, či oteplování jednotlivých částí těla, tak celého těla. Reálně je nemožné specifikovat tepelné prostředí pro uspokojení všech osob v prostoru. Vždy bude určité procento nespokojených, které je vhodné výpočtem a předpovědí snížit, na co nejmenší podíl. [1]

6.2 Dlouhodobé hodnocení všeobecných podmínek tepelného komfortu

Dlouhodobým hodnocením vnitřních podmínek (obvykle počítačovou simulací) lze srovnávat návrh s provedením, v různých druzích staveb a/nebo systémech HVAC, které se starají o komfortní vnitřní tepelné podmínky. [1]

6.3 Adaptace

Pro hodnocení vnitřního prostředí budov je nutno uvažovat také adaptaci osob. Lidé, žijící v teplém podnebí, mohou snáze zvládat vyšší teploty a uchovat si pracovní výkonnost i v horkých prostředích, oproti lidem žijícím v chladnějším podnebí. [1]

6.4 Vnitřní teploty vzduchu

Pro návrh nového či posouzení stávajícího prostoru administrativní budovy pomocí hodinových výpočtů energie jsou použity teploty vnitřního prostředí z Tab. 12.

Tab. 12 Teplotní rozsah pro hodinové výpočty energie na vytápění a chlazení pro tři kategorie vnitřního prostředí [2]

Typ budovy nebo prostoru	Kategorie	Teplotní rozsah pro vytápění, °C Oděv ≈ 1,0 clo	Teplotní rozsah pro chlazení, °C Oděv ≈ 0,5 clo
Kanceláře a prostory s podobnou činností (jednotlivé kanceláře, velkoplošné kanceláře, konferenční místnosti, posluchárny, jídelny, restaurace, učebny) Činnost vsedě ≈ 1,2 met	I	21,0 - 23,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 - 24,0	23,0 - 26,0
	III	19,0 - 25,0	22,0 - 27,0

7 Místní tepelný diskomfort

Z již známých ukazatelů PMV a PPD vyjadřujeme diskomfort z tepla či chladu celkově pro celé tělo, ovšem nespokojenost s daným tepelným prostředím může být vyvolána také nežádoucím oteplováním či ochlazováním jednotlivých částí těla. Tento stav můžeme nazvat tepelným diskomfortem. Nejběžnější příčinou místního diskomfortu je průvan, dále vysoký vertikální teplotní rozdíl mezi hlavou a kotníky, příliš teplá nebo chladná podlaha nebo vysoká asymetrie radiační teploty. [1]

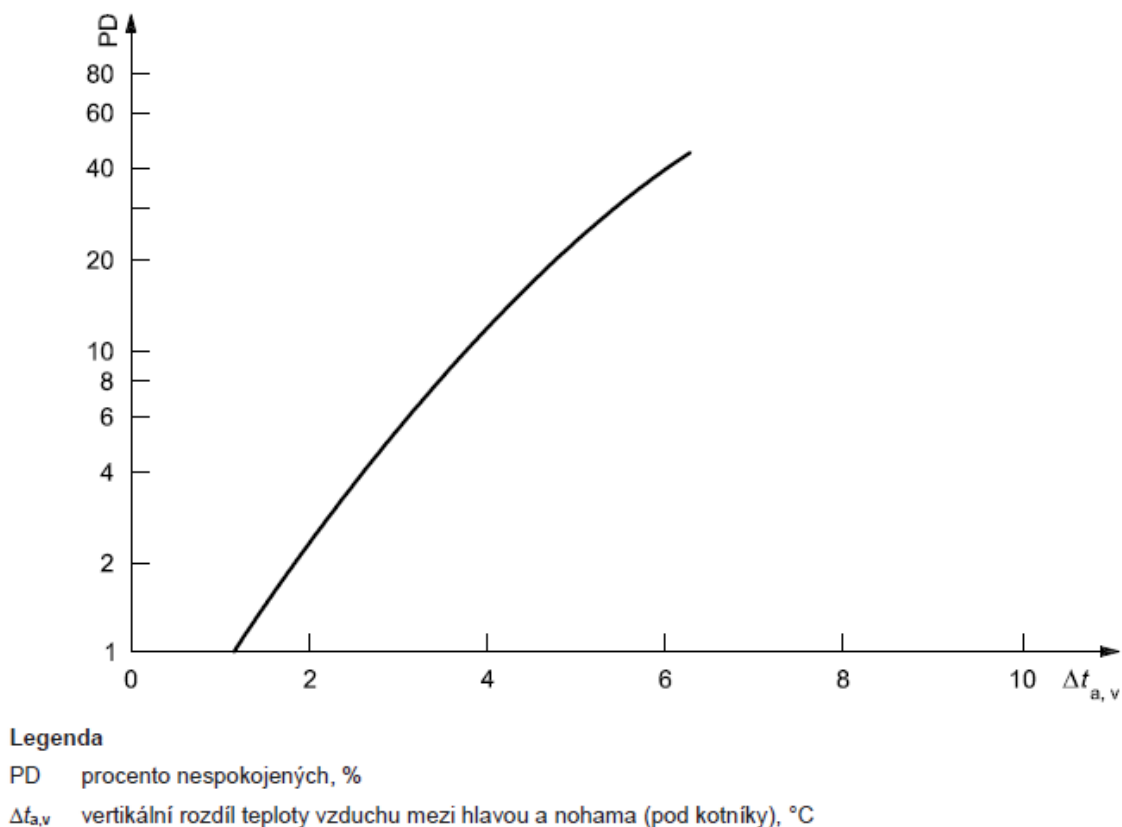
Zvláště citliví k místnímu diskomfortu jsou lidé, vykonávající lehkou práci vsedě. Tito lidé budou hodnotit tepelné prostředí či pocit pro celé tělo obvykle neutrálně. Se zvyšující se tělesnou aktivitou při vykonávání práce se snižuje citlivost na teplotu prostředí a snižuje se riziko místního diskomfortu. [1]

7.1 Průvan

Průvan z hlediska hodnocení vnitřního prostředí budov vnímáme obvykle jako nechtěný jev, vznikající při rozdílných teplotních a tlakových rozdílech vzduchu v prostoru. Dále může vzniknout při otevření otvorových výplní na protějších stranách prostoru. V kancelářských budovách můžeme často narazit na průvan, který způsobuje nevhodně navržený systém vzduchotechniky s nevhodně zvolenými nebo umístěnými vyústkami. Pocit průvanu klesá se zvyšující se vykonávanou pracovní aktivitou. Dle normy ČSN EN ISO 7730 lze hodnotit průvan pomocí matematického modelu, který platí pro osoby vykonávající lehkou práci vsedě. Model hodnotí předpověď průvanu, pociťovaném v rovině krku sedící osoby. [1]

7.2 Vertikální rozdíly teploty vzduchu

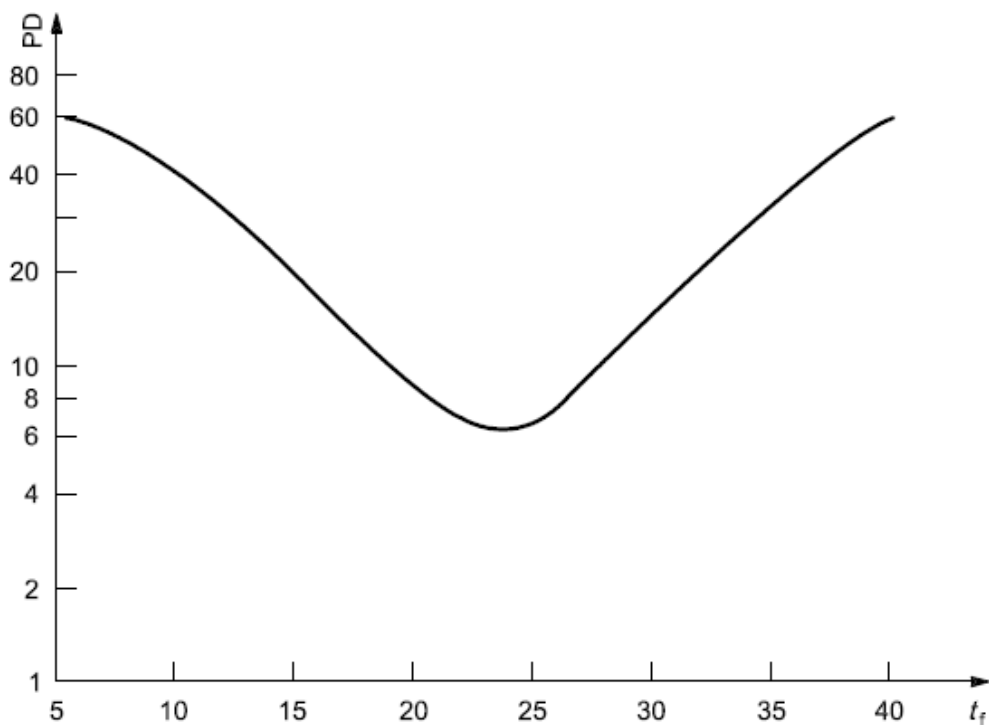
Vertikální rozložení teploty značně ovlivňuje tepelný pocit v prostoru. Vyšší teplotní rozdíl mezi kotníky a hlavou může způsobit značný diskomfort. Obr. 5 znázorňuje dramatický nárůst počtu nespokojených v prostoru při zvyšování teplotního rozdílu mezi hlavou a kotníky. Optimální hodnotu procenta nespokojených dosáhneme při rozdílu teplot do přibližně 3°C. [1]



Obr. 5: Místní diskomfort způsobený vertikálním rozdílem teploty vzduchu [1]

7.3 Teplé a chladné podlahy

U příliš teplých, či chladných podlah může nastat velmi brzy pocit diskomfortu. V administrativních budovách obvykle chodí obyvatelé v lehké domácí obuvi případně v běžné obuvi, a proto je zde důležitější teplota podlahy než materiál podlahové krytiny. Na Obr. 6 je znázorněno procento nespokojených jako funkce teploty podlahy. [1]



Legenda

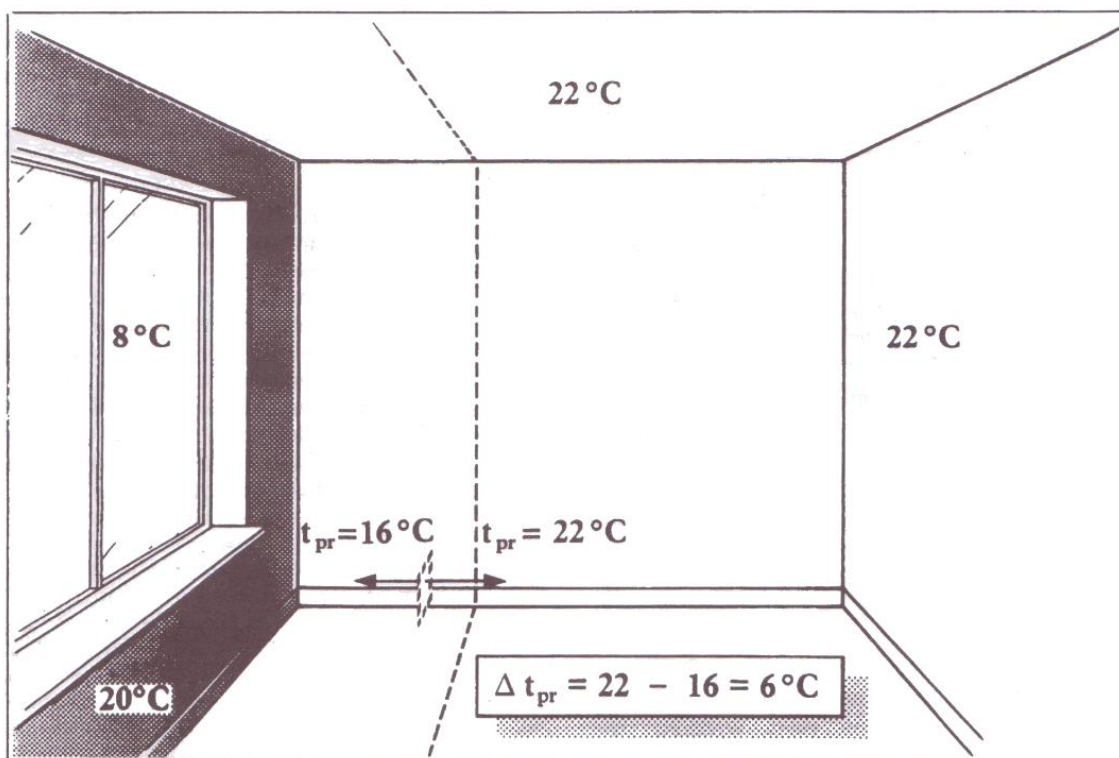
PD procento nespokojených, %

t_f teplota podlahy, °C

Obr. 6: Místní tepelný diskomfort způsobený teplými nebo chladnými podlahami [1]

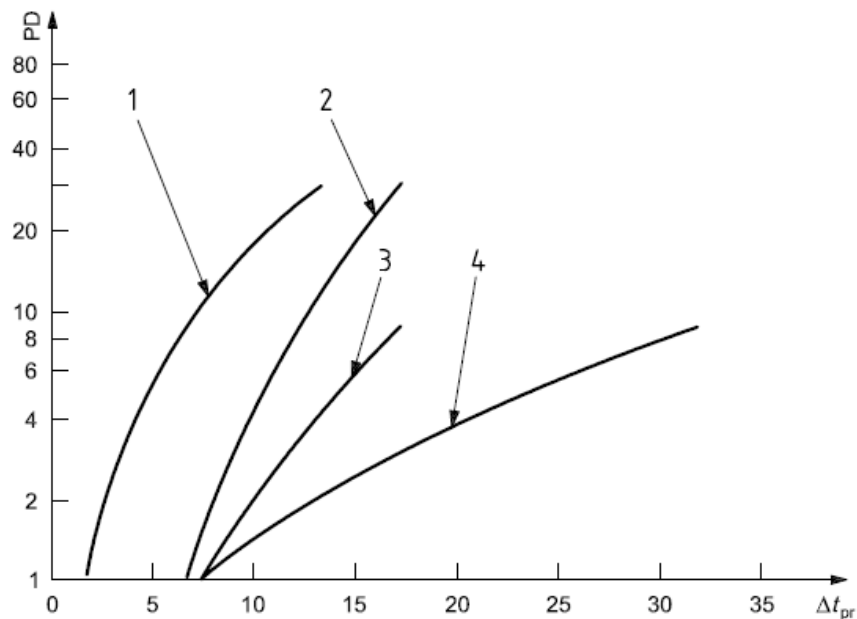
7.4 Asymetrická radiace

Vlivem rozdílných teplot povrchů nastává asymetrická radiace v prostoru, což vede k diskomfortu. Největší diskomfort způsobuje asymetrická radiace způsobená teplými stropy anebo chladnými zdmi (okna). Příklad rozdílných teplot jednotlivých povrchů ukazuje Obr. 7. [1]



Obr. 7: Asymetrie radiační teploty [5]

Obr. 8 znázorňuje procento nespokojených jako funkci asymetrie radiační teploty, kterou způsobují rozdílné teploty povrchů (teplý strop, chladná zeď, chladný strop nebo teplá zeď). [5]



Legenda

- PD procento nespokojených, %
 Δt_{pr} asymetrie radiační teploty, °C
 1 teplý strop
 2 chladná stěna
 3 chladný strop
 4 teplá stěna

Obr. 8: Místní tepelný diskomfort způsobený asymetrií radiační teploty [1]

8 Neustálený stav tepelného prostředí

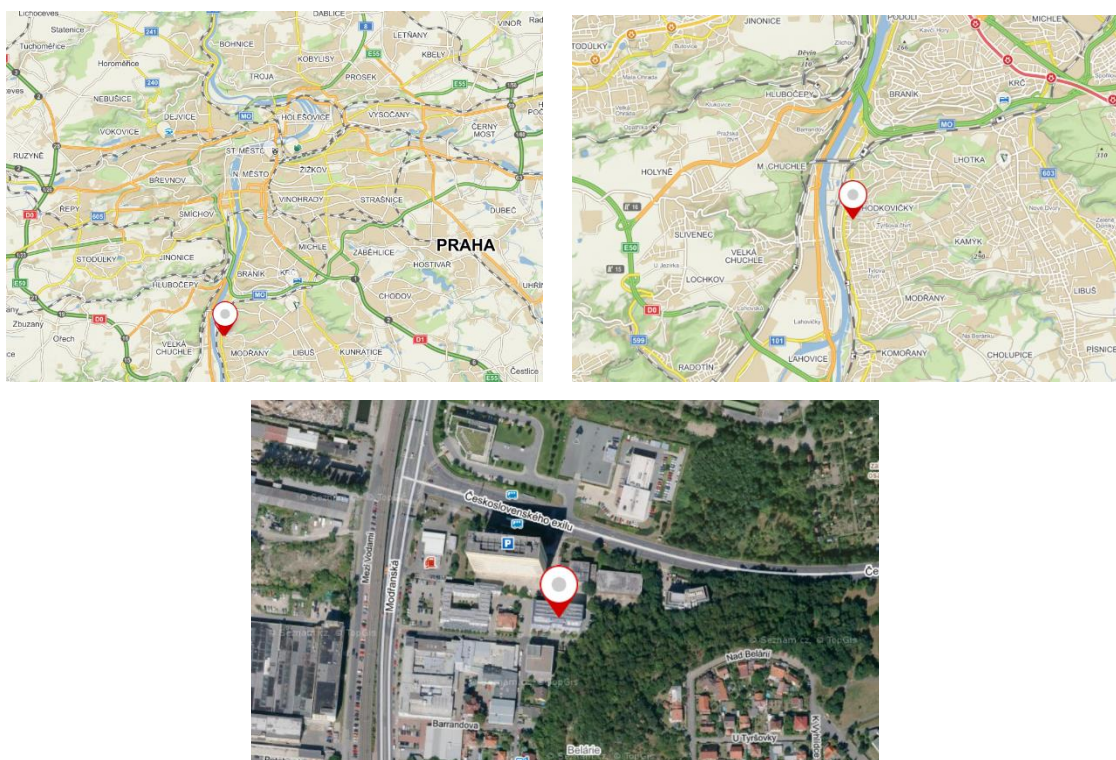
Předešlé metody pro hodnocení tepelného komfortu předpokládají ustálené hodnoty parametrů vnitřního prostředí. Ve skutečnosti je však tepelné prostředí neustálené, kdy se mohou vyskytovat tři druhy neustálených podmínek: teplotní cykly, teplotní odchylky nebo spády a přechodné tepelné stavy. U teplotních cyklů hraje roli rozkmit teploty. Pokud je rozdíl změn nižší než 1K, nemusíme se bát výrazného dopadu na komfort v prostoru. Při vyšších změnách dochází samozřejmě k poměrnému snižování komfortu. Změny teplotních odchylek menších než 2K/h nemají výrazný vliv na tepelný komfort v prostoru. Přechodové stavy zahrnují skokovou změnu operativní teploty, kterou pocítíme okamžitě. Po této změně by měly být v nových ustálených podmínkách (min. po 30 minutách) přepočteny ukazatele PMV a PPD a tím předpovězen komfort v nových podmínkách, který by měl stále plnit stejné požadavky, jako před změnou operativní teploty. Pokud nepřekročíme ani jednu ze tří podmínek pro neustálený stav tepelného prostředí, lze použít doporučení pro ustálené podmínky hodnocení tohoto prostředí. [1]

9 Charakteristika vybraného objektu pro účely hodnocení

Jedná se o objekt administrativní budovy v Praze, který má šest nadzemních podlaží. Budova má obdélníkový půdorys. Jako předmět posouzení tepelného komfortu a kvality vzduchu byla vybrána velkoprostorová kancelář v jihozápadní části budovy ve čtvrtém nadzemním podlaží. Zvolená administrativní budova se nachází v areálu administrativních budov v jižní části Prahy, v Modřanech.



Obr. 9: Budova C s vyznačenou posuzovanou kancelář [8]



Obr. 10: Poloha objektu [8]

9.1 Popis objektu

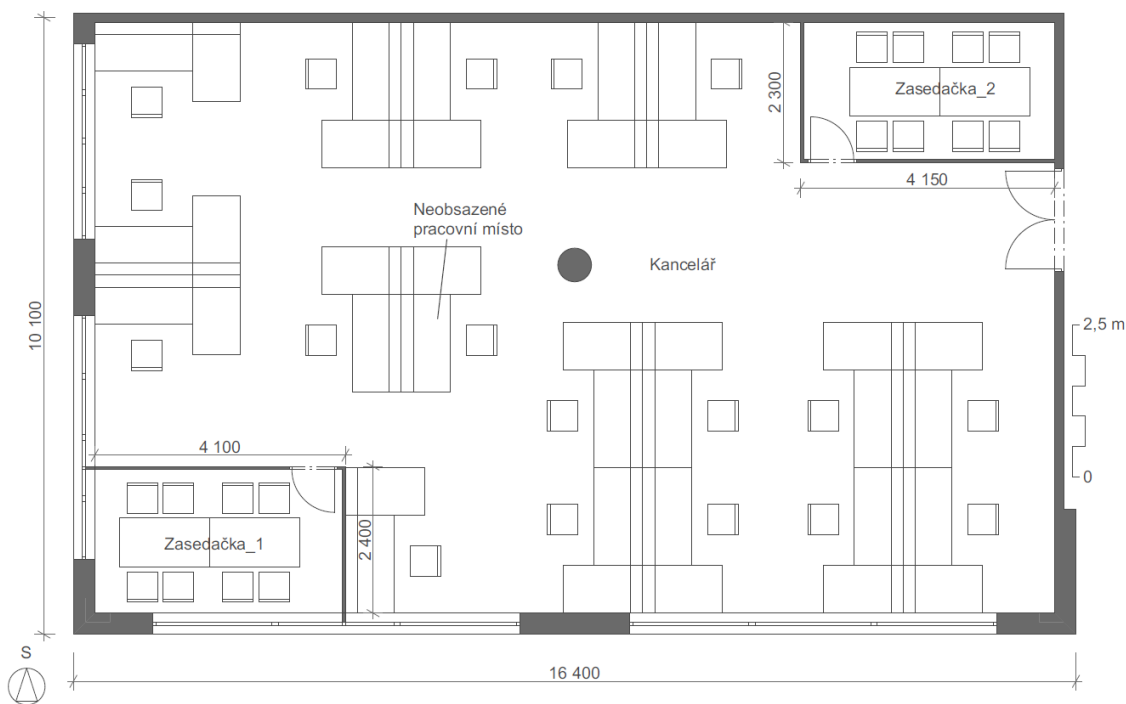
Nosnou konstrukci tvoří železobetonový skelet, který je doplněn vyzdívkami z dutinových cihel Porotherm. Obvodové stěny (kromě 1.NP) jsou opatřeny kontaktním zateplovacím systémem z XPS v tloušťce 100 mm. V 1. NP tvoří obvodové zdivo dutinové tvárnice Porotherm bez vnějšího zateplení. Střecha je tvořena železobetonovou deskou s tepelnou izolací z EPS tl. 100 mm. Podlaha na terénu je zateplena tepelnou izolací EPS v tl. 100 mm. Podlaha 2. NP (nad exteriérem) je z vnější strany zateplena tepelnou izolací z XPS tl. 100 mm. Otvorové výplně objektu jsou zaskleny tepelně-izolačními dvojskly. [9]

Jako hlavní zdroj tepla pro vytápění jsou instalovány dva plynové kotle o celkovém výkonu 280 kW. Otopná soustava je teplovodní s otopnými deskovými tělesy, jako koncovými prvky. Příprava teplé vody je zajištěna pomocí zásobníkového ohříváče o celkovém objemu 300l. [10]

Větrání objektu je řešeno centrální vzduchotechnickou jednotkou. Chlazení jednotlivých kanceláří zastávají jednotky fan-coil, umístěné v podhledech.

9.2 Posuzovaná velkoprostorová kancelář

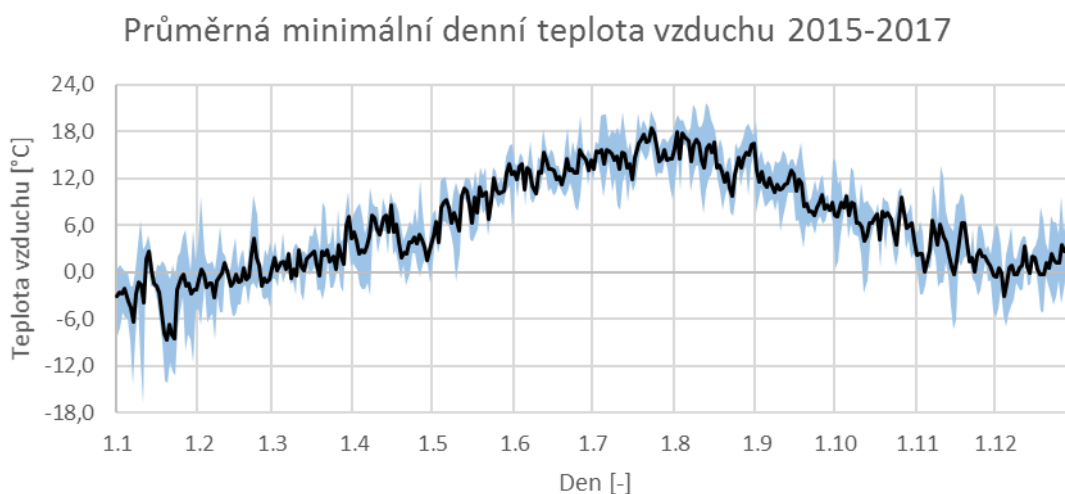
Cílem hodnocení je jihozápadní část 4. nadzemního podlaží administrativní budovy. V této části se nachází velkoprostorová kancelář se dvěma menšími zasedacími místnostmi. Velkoprostorová kancelář poskytuje maximálně 18 pracovních míst. V době měření bylo jedno místo trvale neobsazené. Každé pracovní místo je vybaveno odpovídajícími elektrickými spotřebiči pro kancelářskou práci. Pracovní doba zaměstnanců se pohybuje přibližně mezi 7 hodinou ranní a 19 hodinou večerní.



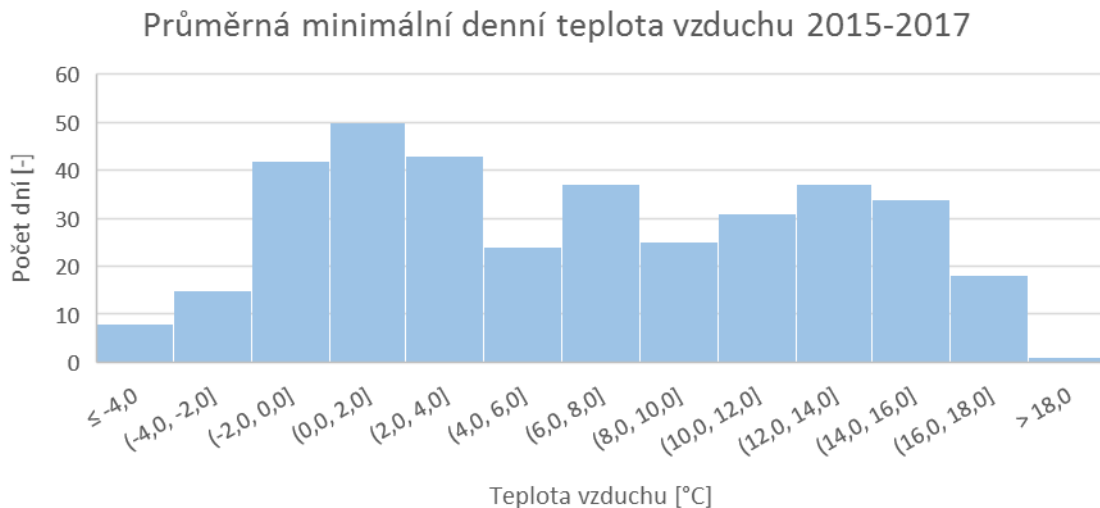
Obr. 11: Schéma půdorysu hodnocené kanceláře

9.3 Tepelné podmínky v lokalitě objektu

Pro ilustraci dlouhodobých tepelných klimatických podmínek zobrazují následující grafy minimální a maximální teploty v jednotlivých dnech v letech 2015 – 2017. Hodnoty jsou změřeny meteorologickou stanicí Praha – Libuš, která se nachází v blízkosti hodnocené budovy. Minimální teploty v lokalitě klesají k návrhové venkovní teplotě vzduchu (-12°C) pro energetické výpočty jen ojediněle, z čehož vyplývá výrazná bezpečnostní přírážka při těchto výpočtech.

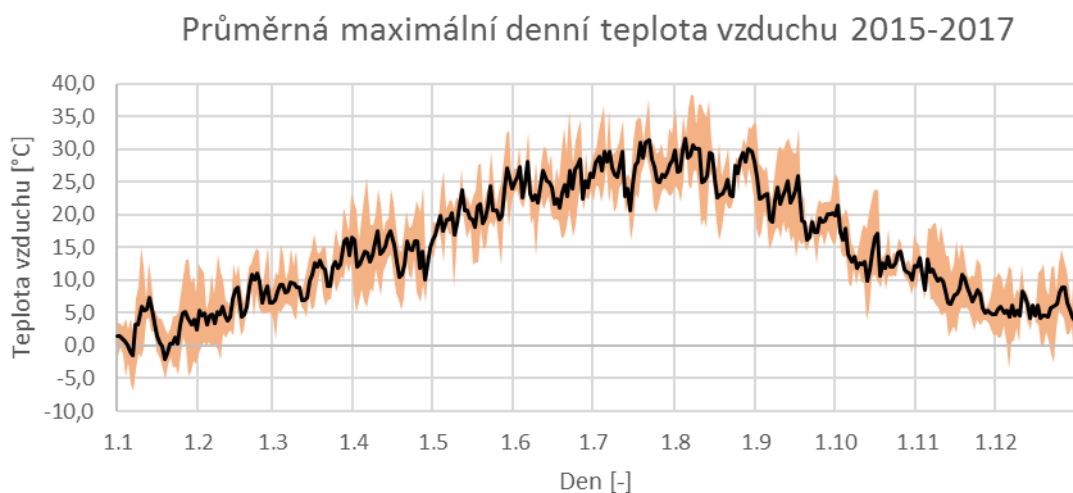


Obr. 12: Průměr minimálních denních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]

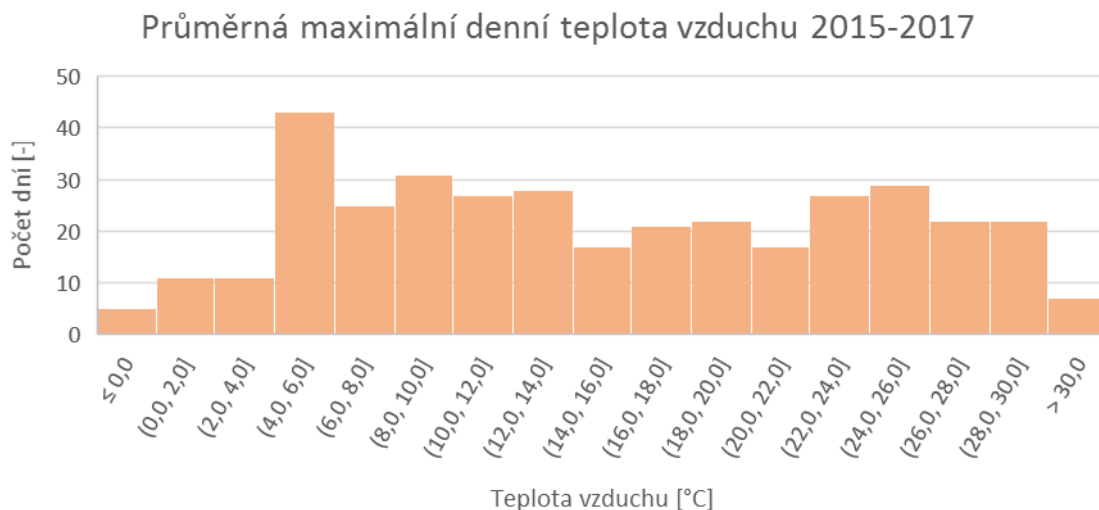


Obr. 13: Histogram průměrných denních minimálních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]

Z hlediska průměrných denních maxim, mohou teploty vzduchu dosahovat v letním období až k cca 35°C, což představuje značnou tepelnou zátěž pro budovu. Pro zajištění tepelného komfortu je vhodné využít stínění v podobě vnějších žaluzií, či rolet a správně navrženým systémem chlazení v budově. Průměrná maximální teplota vzduchu v letním období dosahuje hodnoty cca 25°C.



Obr. 14: Průměr maximálních denních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]



Obr. 15: Histogram průměrných denních maximálních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]

9.4 Hluková zátěž v lokalitě

Díky vzdálenější poloze od rušných ulic Modřanská a Československého exilu jsou v blízkém okolí budovy dosaženy maximální hodnoty akustického tlaku přibližně 45 dB. Zavřenými okny a případnými venkovními žaluziemi lze hladinu akustického tlaku dále snížit o několik decibelů. I při zanedbání těchto konstrukcí je splněna typická horní hranice hladiny akustického tlaku dle návrhových hodnot normy ČSN EN 15251 (Tab. 5).



Obr. 16: Hluková mapa oblasti – den (6:00 – 22:00) [12]

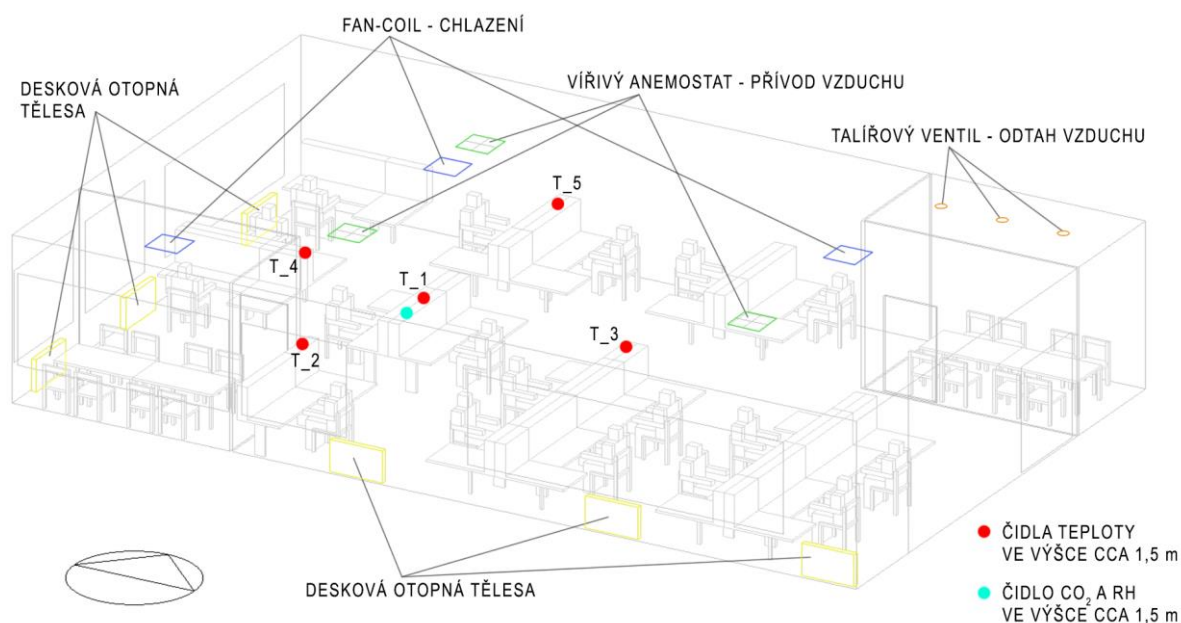
10 Výpočtový model pro predikci vnitřního prostředí

Pro predikci vnitřního prostředí kanceláře byl zvolen software umožňující dynamickou simulaci pro CFD - DesignBuilder. Simulace CFD (Computational Fluid Dynamics) = simulace proudění tekutin, zahrnuje soubor numerických metod sloužících pro výpočet teploty, proudění vzduchu a dalších proměnlivých stavů v prostoru. Tyto výpočty mohou ve stavebnictví posloužit k návrhu technických zařízení, k jejich úpravě, či k hodnocení daného prostoru.

Vyšší tepelná kvalita znamená méně nespokojených a naopak. V těchto případech mohou být vypočtené ukazatele PMV a PPD, výpočet průvanu, vertikální rozdíly teploty vzduchu, teplé či studené podlahy nebo asymetrická radiace, použity k hodnocení budov, či k samotnému návrhu vnitřního prostředí.

V simulačním softwaru DesignBuilder byl vytvořen model velkoprostorové kanceláře (Obr. 17) s ohledem na:

- simulaci energetického a tepelného chování výseku budovy za návrhových klimatických podmínek pro zimní období, vycházející z použité klimatické databáze, hodnocení tepelného komfortu za pomoci výstupů ze simulačního softwaru DesignBuilder na základě požadavků dle ČSN EN ISO 7730.



Obr. 17: Výpočtový model vybrané kanceláře [13]

Pro posouzení celkového tepelného komfortu byla využita simulace energetického chování s hodinovým krokem, na základě které byly stanoveny základní parametry. Na základě výpočtu energetického chování a stanovení okrajových podmínek pro vytvoření CFD modelu, byl pro vybraný prostor velkoprostorové kanceláře zpracován CFD model za účelem stanovení parametrů místního diskomfortu. Pro výpočet parametrů bylo nutné použít dva na sebe navazující typy simulačních výpočtů:

- simulaci energetického chování budovy s hodinovým krokem výpočtu pro zimní zvolený týden
- CFD simulaci prostoru kanceláře s použitím okrajových podmínek stanovených pomocí předchozího bodu.

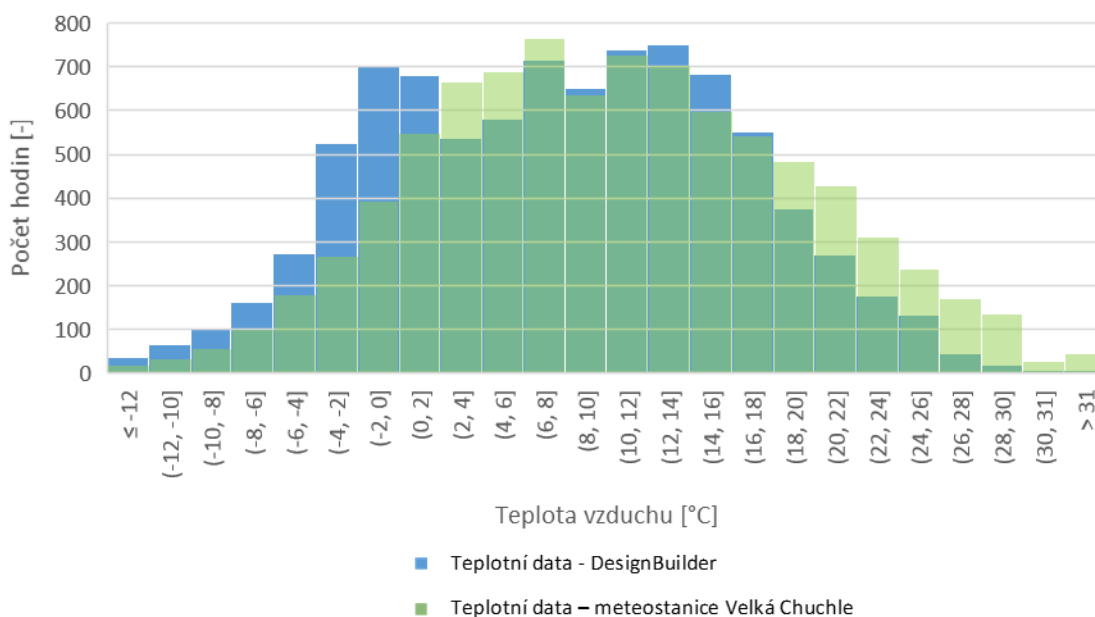
Na základě uvedeného postupu byly stanoveny tyto parametry – Index PMV, index PPD, střední radiační teplota t_r , operativní teplota t_o , rychlost a směr proudění vzduchu.

10.1 Okrajové podmínky výpočtu

Okrajové podmínky v programu DesignBuilder jsou založeny na klimatických datech stažených z jednotlivých meteostanic po celém světě. Pro zpracování výpočtů v této práci byla použita referenční data pro meteorologickou stanici Praha – Libuš obsažena v programu DesignBuilder. Na Obr. 18 je znázorněno porovnání těchto dat s daty naměřenými amatérskou meteostanicí v Praze 5 - Velká Chuchle, pro zvolený reprezentativní rok 2017. Pro nedostatek dat (pravděpodobně z důvodu výpadku amatérské meteostanice) byla data zkombinována s další amatérskou meteostanicí v Praze 10 – Bohdalec.

Pozn.: Hodinová data amatérských meteostanic jsou volně dostupná na webu <http://www.in-pocasi.cz>.

Srovnání teplotních dat z meteostanice a databáze DesignBuilderu

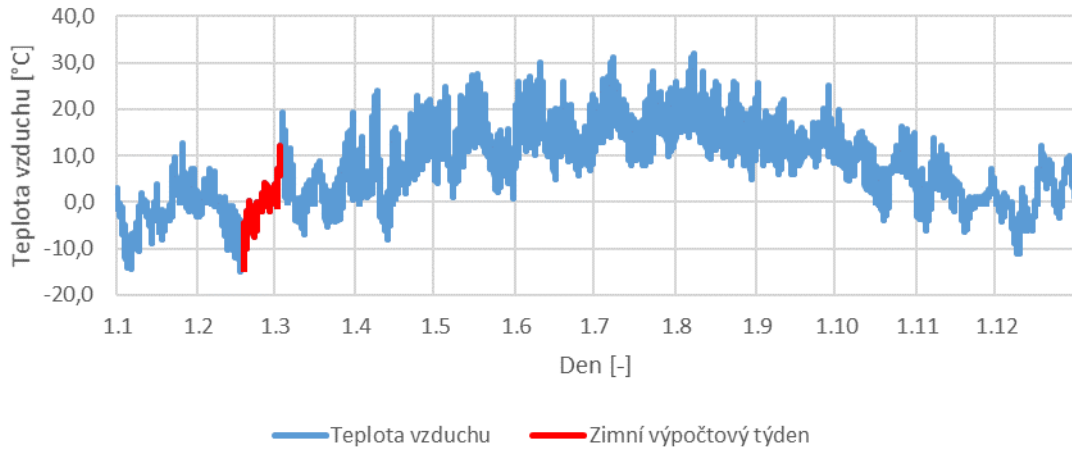


Obr. 18: Porovnání teplotních dat naměřených meteostanicí ve Velké Chuchli a databází z programu DesignBuilder [11, 13]

Z porovnání databáze DesignBuilderu a teplotních dat pro rok 2017 je patrné, že výpočetním programem se přikláníme na stranu bezpečnosti při návrhu systému vytápění a naopak předpokládáme ideálnější podmínky pro návrh chlazení. Vyšší venkovní teploty zaznamenané amatérskými meteostanicemi mohou mít vliv také na výpočty vnitřního prostředí.

Z modelového roku bylo nutno vybrat pouze reprezentativní část a pro tu provést hodinovou dynamickou simulaci. Pro potřeby výpočtu byl zvolen týden od 18. 2. do 3. 3., z důvodu možnosti porovnání výsledků počítačové simulace s měřením a dotazníkovým průzkumem.

Teplotní data z databáze DesignBuilder - Praha-Libuš pro typický rok



Obr. 19 Teplotní data z databáze softwaru DesignBuilder pro Prahu-Libuš pro typický rok [13]

Pro názornější zobrazení bylo zvýrazněno uvažované období pro simulaci, v rámci celoroční databáze softwaru DesignBuilder.

Teplotní data z databáze DesignBuilder - Praha-Libuš pro zvolený týden



Obr. 20: Zvolený výpočtový týden pro simulaci CFD [13]

V následující tabulce jsou uvedeny základní uvažované parametry hodnoceného prostoru, které doplňují výše uvedené teplotní podmínky.

Tab. 13: Okrajové podmínky výpočtového modelu [14]

Okrajové podmínky simulace	
Podlahová plocha kanceláře	155,7 m ²
Objem kanceláře	569,9 m ³
Obsazenost prostoru kanceláře	0,12 os/m ²
Faktor metabolického tepla	0,9 -
Izolace oblečení - zimní období	1 clo
Výpočtová vnitřní teplota (vytápění)	21 °C
Výpočtová vnitřní teplota (chlazení)	26 °C
Čerstvý vzduch (min.)	6,94 l/s.osoba
Nucené větrání	0,69 l/s.m ²
Osvětlenost v pracovní rovině	500 lux
Tepebné zisky - PC	8,96 W/m ²
Tepebné zisky - ostatní spotřebiče	12,68 W/m ²

10.2 Výsledky simulace

Simulace energetického chování budovy byla provedena v částečném hodinovém kroku pro zimní zvolený týden. Tento časový úsek je definován pro výše uvedená klimatická data jako 18. únor – 3. březen. V tomto časovém úseku byl stanoven průběh indexů PMV a PPD, současně s průběhem základních parametrů pro vybraný prostor.

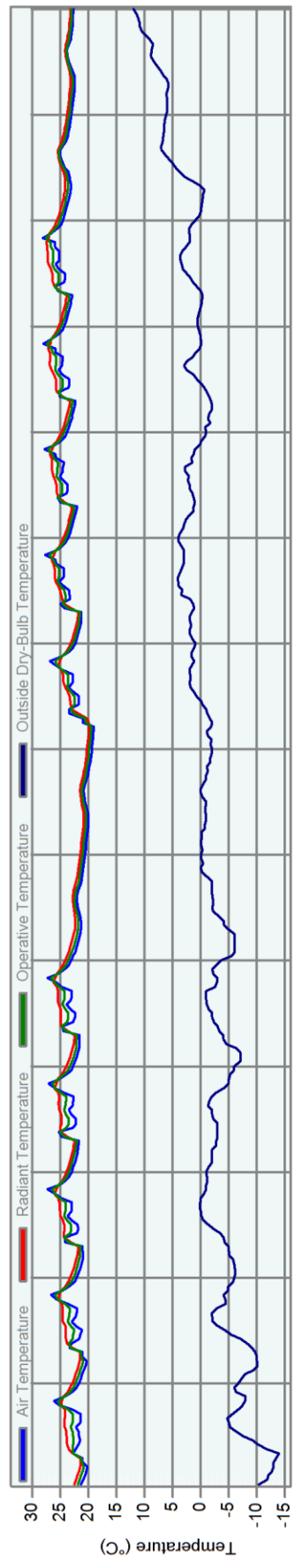
Na základě těchto výsledků byl z vypočtených dat vybrán nejnepříznivější stav v době přítomnosti osob a pro tento stav byla provedena CFD simulace s přiřazenými okrajovými podmínkami odpovídajícími pro tento stav (povrchové teploty konstrukcí, teplota a množství větracího vzduchu z distribučních elementů).

Zvoleným časem pro stanovení okrajových podmínek pro CFD simulaci bylo 26. 2. v 14:00. Datum a čas jsou zvoleny s ohledem na přítomnost osob, hodnotu teploty vnitřního vzduchu a vnitřních a vnějších zisků.

Internal Gains + solar - 2N, 2N
18 Feb - 3 Mar, Hourly

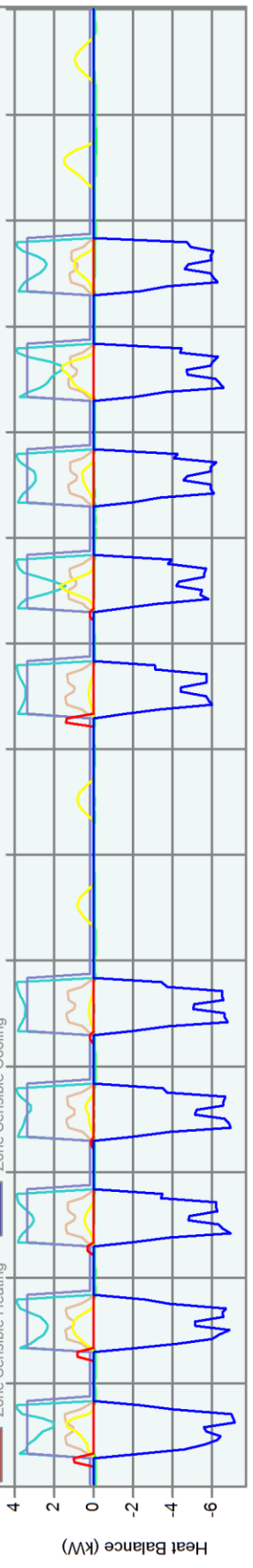
EnergyPlus Output

Temperature (°C)



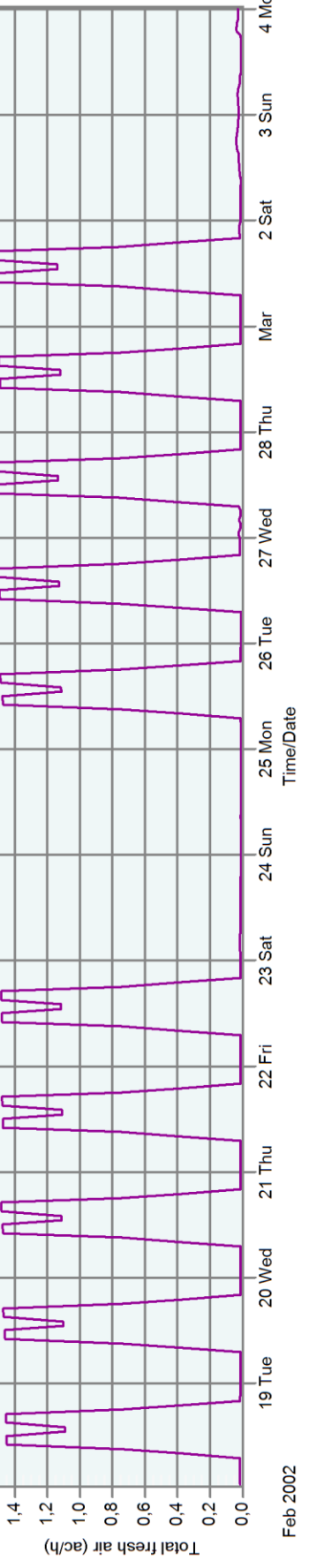
Heat Balance (kW)

Time/Date



Total fresh air (ach/h)

Time/Date



Obr. 21: Výsledky hodinové simulace [13]

11 Výpočet CFD

11.1 Okrajové podmínky pro CFD simulaci

Stanovení okrajových podmínek pro výpočet CFD bylo dosaženo provedením simulace v hodinovém kroku, pro zvolený čas. Na Obr. 22 a Obr. 23 jsou zobrazeny okrajové podmínky CFD simulace, které vycházejí z výsledků simulace energetického chování budovy. Okrajové podmínky zahrnují množství větracího vzduchu z jednotlivých vyústek a teplot jednotlivých povrchů v prostoru. Množství větracího vzduchu je zvoleno podle počtu osob a to přibližně 450 m³/h (cca 126 l/s). Vířivé anemostaty nejsou součástí prvků pro modelování ve zvoleném softwaru, proto byl každý anemostat rozdělen do čtyř menších vyústek s jinak natočeným směrem proudění vzduchu. Tímto byl simulován vířivý proud anemostatu.

Zone	Object	Boundary	Boundary Type	Flow In (l/s)	Flow Out (l/s)
Block 1 > _Zasedacka_2	Partition -15,152 m2 (Block 1_Kancelar)	Hole (Internal) 1,972 m2	Hole (within domain)	53,380	53,381
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 8,198 m2 - 270.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 15,152 m2 - 180.0°	Window (External) 8,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Supply airflow boundary (Internal) 0,090 m2 (⊙)	Supply	10,500	0
Block 1 > _Kancelar	Partition -27,230 m2 (Adiabatic)	Door (Internal) 3,910 m2	Door	0,000	0,000
Block 1 > _Kancelar	Partition -15,006 m2 (Block 1_Zasedacka_1)	Hole (Internal) 2,000 m2	Hole (within domain)	100,393	99,394
Block 1 > _Kancelar	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Kancelar	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Window (External) 8,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Kancelar	Partition -15,259 m2 (Block 1_Zasedacka_2)	Hole (Internal) 1,972 m2	Hole (within domain)	53,381	53,380
Block 1 > _Kancelar	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Window (External) 12,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Kancelar	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	0,000	0,000
Block 1 > _Zasedacka_1	Ceiling - 9,176 m2 (Adiabatic)	CFD Extract airflow boundary (Internal) 0,031 m2	Extract	0	42,000
Block 1 > _Zasedacka_1	Ceiling - 9,176 m2 (Adiabatic)	CFD Extract airflow boundary (Internal) 0,031 m2	Extract	0	42,000
Block 1 > _Zasedacka_1	Ceiling - 9,176 m2 (Adiabatic)	CFD Extract airflow boundary (Internal) 0,031 m2	Extract	0	42,000
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition -14,880 m2 (Block 1_Kancelar)	Hole (Internal) 2,000 m2	Hole (within domain)	100,394	100,393

Obr. 22: Okrajové podmínky CFD simulace - průtoky vzduchu [13]

Pro výpočet teploty vzduchu, a hlavně střední radiační teploty, jsou důležité také teploty povrchů v prostoru. Obr. 23 zobrazuje jednotlivé teploty povrchů.

Domain						
CFD Analysis domain						2-2N
Average zone air temperature (°C)						25.00
External temperature (°C)						4.00
Group						1-None
Drag a column header here to group by that column						
Zone	Object	Boundary	Boundary Type	Temperature (°C)	Air temperature (°C)	
Block 1 > _Kancelar	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Surface	24.13		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 27,230 m2 (Adiabatic)	Sub-surface (Internal) 6,442 m2	Sub-Surface	24.00		
Block 1 > _Kancelar	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Window (External) 0,000 m2	Window	22.93	4.00	
Block 1 > _Kancelar	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Surface	24.13		
Block 1 > _Kancelar	Floor - 137,269 m2 (Adiabatic)	Floor - 137,269 m2 (Adiabatic)	Surface	25.79		
Block 1 > _Kancelar	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	25.76	4.00	
Block 1 > _Kancelar	Wall - 43,408 m2 - 180.0°	Window (External) 12,000 m2	Window	25.76	4.00	
Block 1 > _Kancelar	Wall - 27,304 m2 - 270.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	22.93	4.00	
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Temperature boundary (Internal) 0,360 m2	Temperature	16.00		
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	CFD Temperature boundary (Internal) 0,360 m2	Temperature	16.00		
Block 1 > _Kancelar	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	Ceiling - 137,269 m2 (Adiabatic)	Surface	26.19		
Block 1 > _Kancelar	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 15,299 m2 (Block 1, _Zasedacka_2)	Hole (Internal) 1,872 m2	Hole (within domain)	27.41	25.28	
Block 1 > _Kancelar	Partition - 15,006 m2 (Block 1, _Zasedacka_1)	Hole (Internal) 2,050 m2	Hole (within domain)	26.86	25.95	
Block 1 > _Kancelar	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Kancelar	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Kancelar	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Kancelar	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 15,006 m2 (Block 1, _Zasedacka_1)	Partition - 15,006 m2 (Block 1, _Zasedacka_1)	Surface	26.26		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 27,230 m2 (Adiabatic)	Door (Internal) 3,910 m2	Door	26.26	25.00	
Block 1 > _Kancelar	Partition - 43,700 m2 (Adiabatic)	Partition - 43,700 m2 (Adiabatic)	Surface	26.25		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 27,230 m2 (Adiabatic)	Partition - 27,230 m2 (Adiabatic)	Surface	26.26		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 0,345 m2 (Block 1, _Zasedacka_2)	Partition - 0,345 m2 (Block 1, _Zasedacka_2)	Surface	26.44		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 15,299 m2 (Block 1, _Zasedacka_2)	Partition - 15,299 m2 (Block 1, _Zasedacka_2)	Surface	26.41		
Block 1 > _Kancelar	Partition - 8,418 m2 (Block 1, _Zasedacka_1)	Partition - 8,418 m2 (Block 1, _Zasedacka_1)	Surface	26.29		
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition - 14,860 m2 (Block 1, _Kancelar)	Hole (Internal) 2,050 m2	Hole (within domain)	25.83	25.11	
Block 1 > _Zasedacka_1	Ceiling - 9,176 m2 (Adiabatic)	Ceiling - 9,176 m2 (Adiabatic)	Surface	26.00		
Block 1 > _Zasedacka_1	Floor - 9,176 m2 (Adiabatic)	Floor - 9,176 m2 (Adiabatic)	Surface	25.66		
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition - 8,272 m2 (Adiabatic)	Partition - 8,272 m2 (Adiabatic)	Surface	26.14		
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition - 14,860 m2 (Block 1, _Kancelar)	Partition - 14,860 m2 (Block 1, _Kancelar)	Surface	26.20		
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition - 8,272 m2 (Block 1, _Kancelar)	Partition - 8,272 m2 (Block 1, _Kancelar)	Surface	26.25		
Block 1 > _Zasedacka_1	Partition - 14,860 m2 (Adiabatic)	Partition - 14,860 m2 (Adiabatic)	Surface	26.14		
Block 1 > _Zasedacka_2	Radiator	All assembly component surfaces	Temperature	65.00		
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 8,198 m2 - 270.0°	Wall - 8,198 m2 - 270.0°	Surface	23.70		
Block 1 > _Zasedacka_2	Ceiling - 9,274 m2 (Adiabatic)	CFD Temperature boundary (Internal) 0,360 m2	Temperature	16.00		
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 8,198 m2 - 270.0°	Window (External) 4,000 m2	Window	23.50	4.00	
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 15,152 m2 - 180.0°	Wall - 15,152 m2 - 180.0°	Surface	23.65		
Block 1 > _Zasedacka_2	Floor - 9,274 m2 (Adiabatic)	Floor - 9,274 m2 (Adiabatic)	Surface	25.60		
Block 1 > _Zasedacka_2	Partition - 8,198 m2 (Block 1, _Kancelar)	Partition - 8,198 m2 (Block 1, _Kancelar)	Surface	26.49		
Block 1 > _Zasedacka_2	Partition - 15,152 m2 (Block 1, _Kancelar)	Partition - 15,152 m2 (Block 1, _Kancelar)	Surface	26.44		
Block 1 > _Zasedacka_2	Wall - 15,152 m2 - 180.0°	Window (External) 0,000 m2	Window	26.18	4.00	
Block 1 > _Zasedacka_2	Partition - 15,299 m2 (Block 1, _Kancelar)	Hole (Internal) 1,872 m2	Hole (within domain)	27.41	25.11	
Block 1 > _Zasedacka_2	Ceiling - 9,274 m2 (Adiabatic)	Ceiling - 9,274 m2 (Adiabatic)	Surface	26.12		

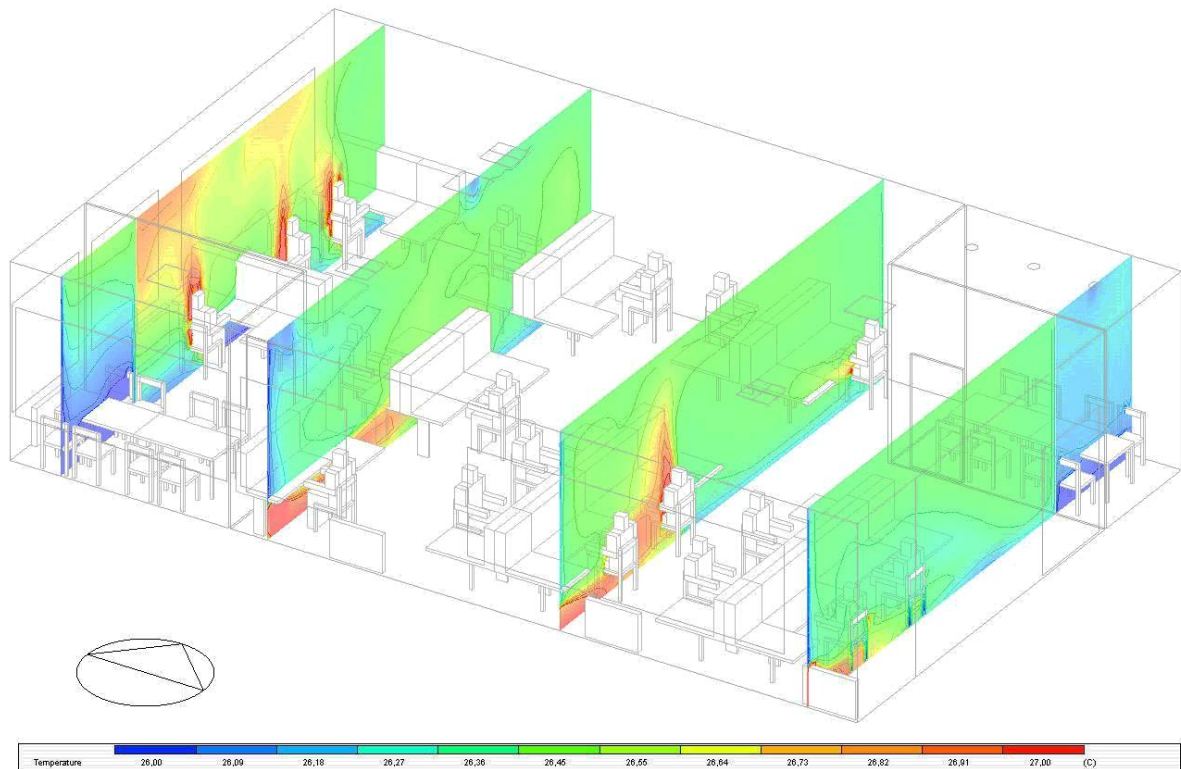
Obr. 23: Okrajové podmínky CFD simulace - teploty povrchů [13]

11.2 Výsledky CFD

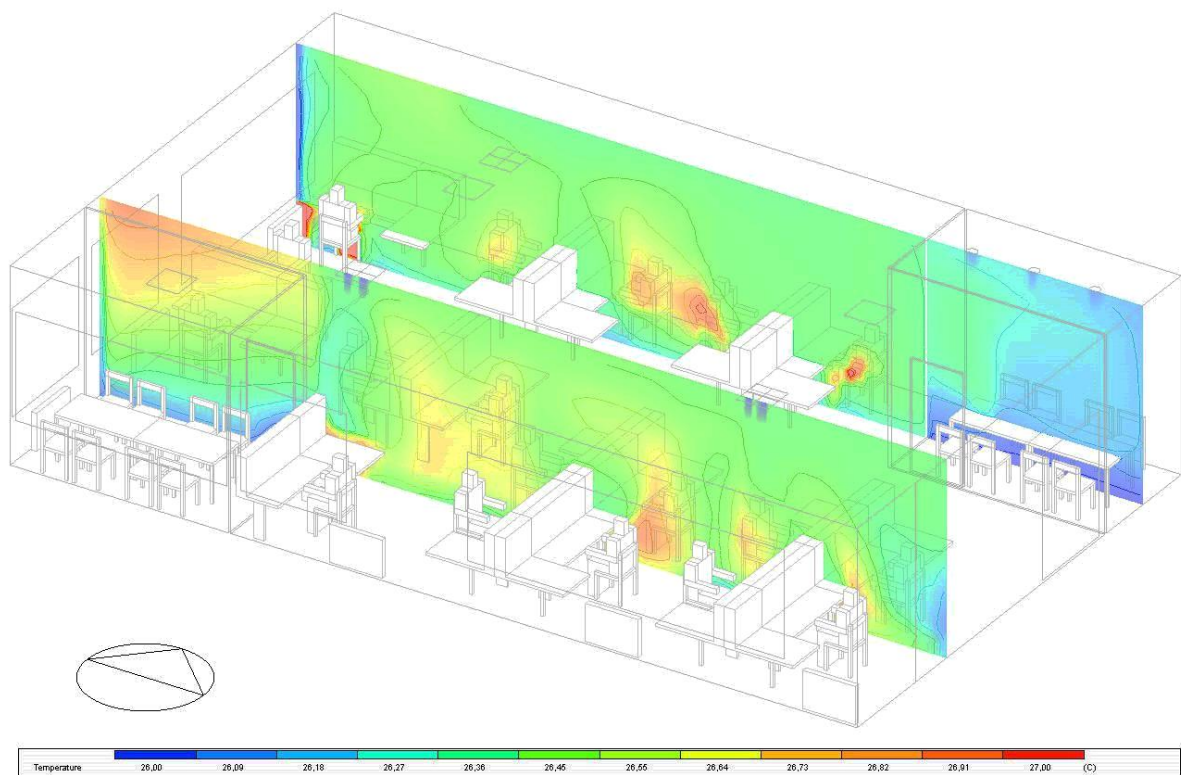
11.2.1 Teplota vzduchu

Výpočet teploty vzduchu v interiéru je založen na návrhovém parametru teploty vzduchu pro kancelářské prostory, 21°C. Teplota vzduchu se ovšem dle následujících obrázků pohybuje kolem 26 až 27°C, což je způsobeno především tepelnými zisky od osob, osvětlení a dalšími elektrickými spotřebiči v kanceláři.

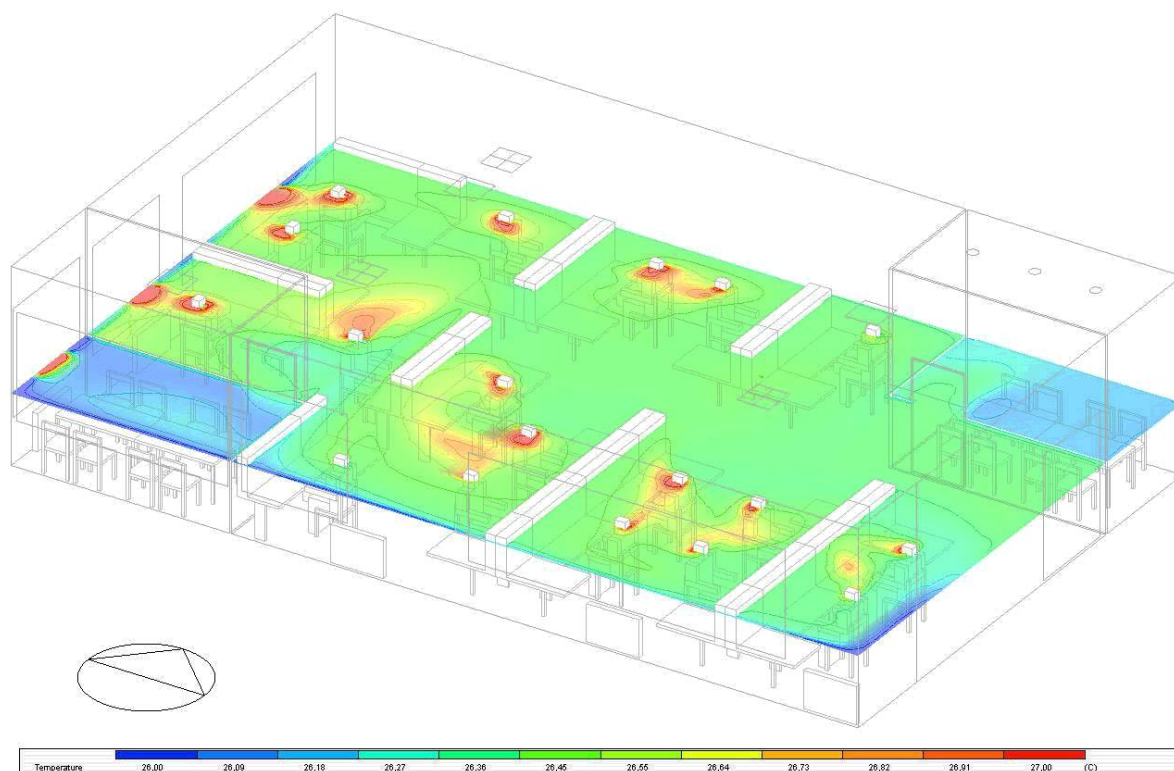
Na Obr. 24, Obr. 25, Obr. 26 a Obr. 27 je znázorněno rozložení teploty vzduchu v posuzovaném prostoru. Grafické vyjádření zobrazuje skutečnost chladnějšího vzduchu v malé rohové zasedačce u obvodových stěn a naopak teplého vzduchu držícího se ve středu místnosti a samozřejmě v okolí osob (působení tělesné teploty). Obr. 26 zobrazuje rozložení teploty vzduchu v úrovni cca 1500 mm nad rovinou podlahy v přibližné výšce hlavy sedící osoby.



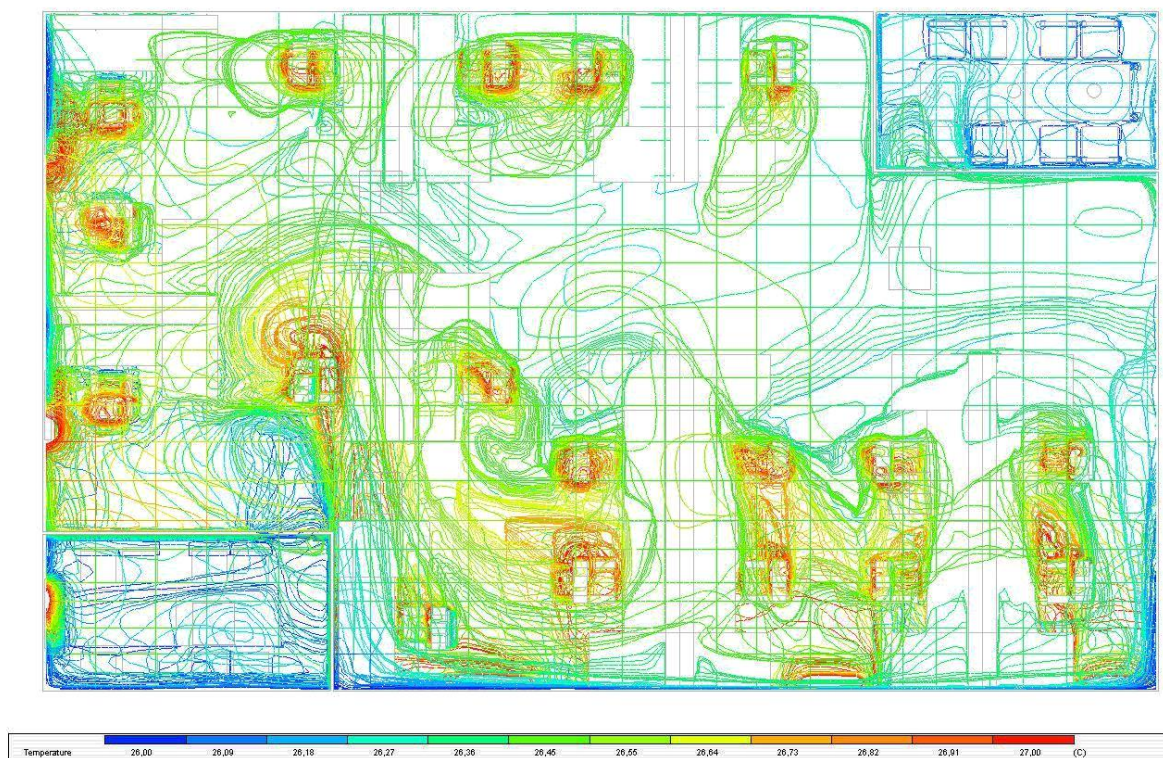
Obr. 24: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – příčné řezy [13]



Obr. 25: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – podélné řezy [13]



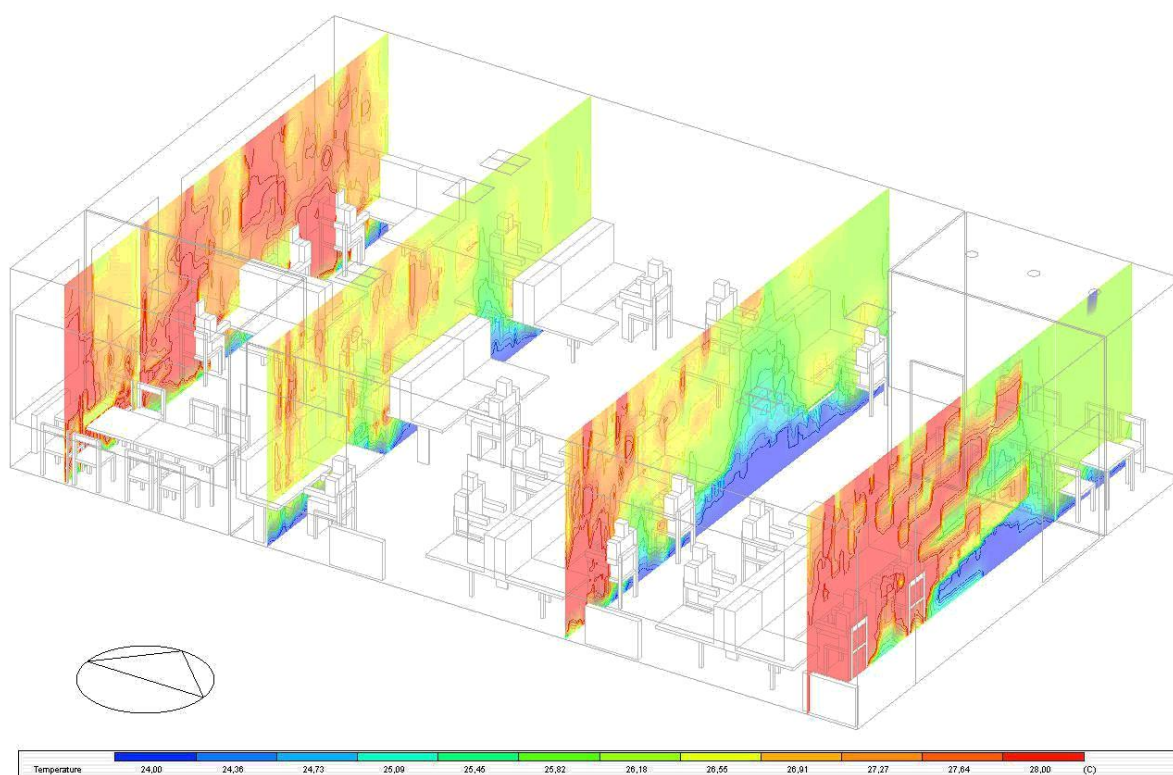
Obr. 26: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – rovina hlavy sedící osoby [13]



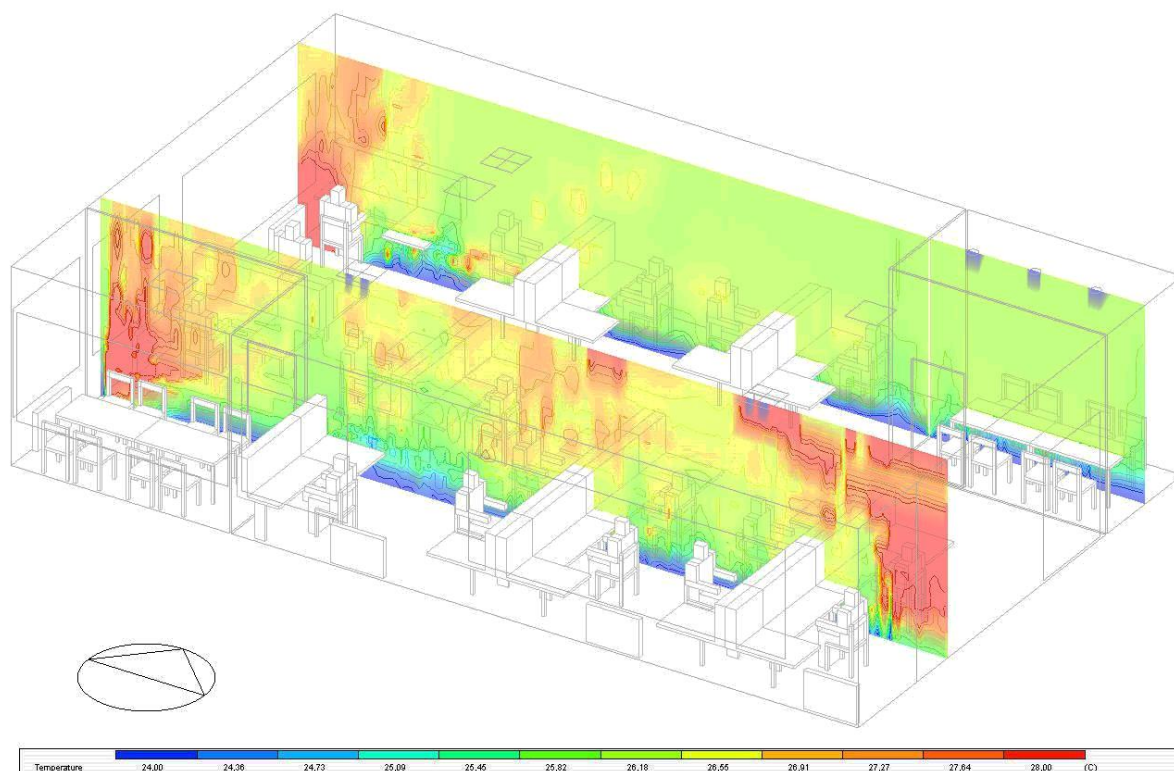
Obr. 27: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – pohled shora na 3D kontury [13]

11.2.2 Střední radiační teplota

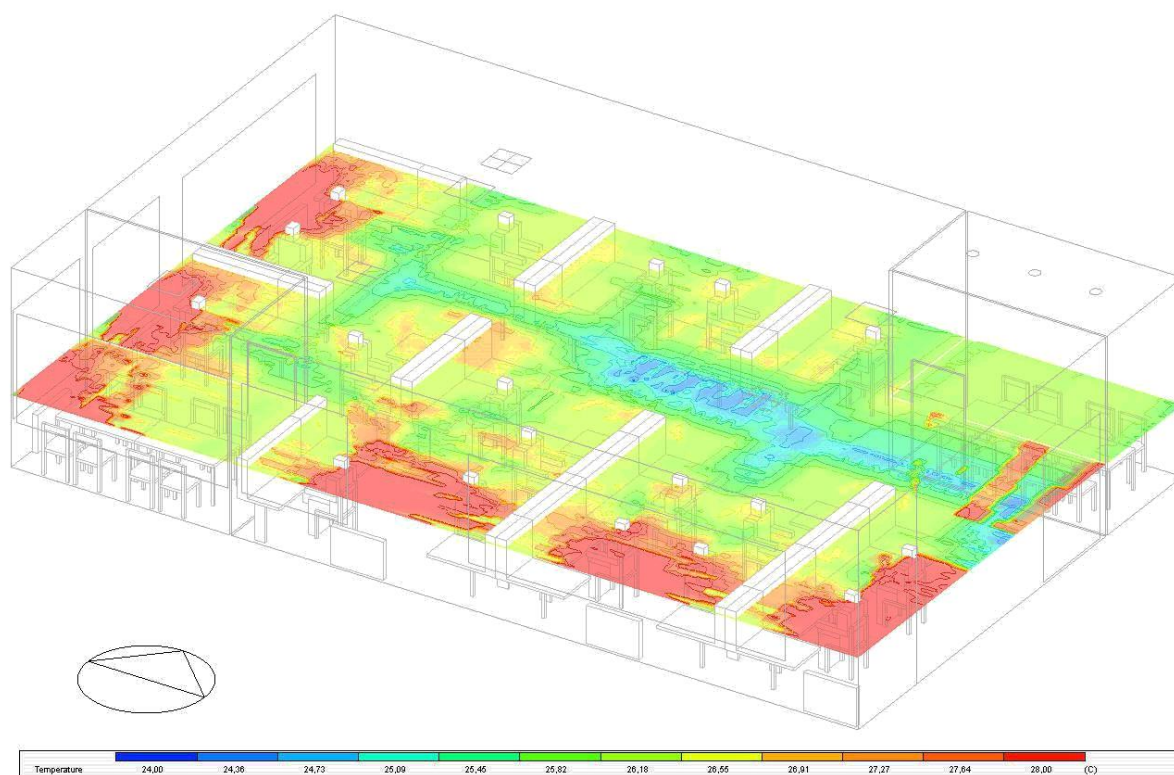
Střední radiační teplota je udávána jako rovnoměrná teplota okolních ploch, při které je sdíleno sáláním stejné množství tepla jako v reálném prostředí. Tato veličina neslouží jako hodnotící teplotní veličina při posuzování vlivu vnitřního prostředí na člověka, nýbrž pouze jako výchozí veličina pro výpočet operativní teploty. Pro hodnocení tepelné zátěže v horkých dnech i tepelného komfortu ve vytápěných či klimatizovaných prostorách je určující veličinou. Rozložení teploty v místnostech ukazuje místa vyšších teplot v oblasti poblíž oken, kde jsou umístěna desková otopná tělesa, která navyšují teplotu v blízkém okolí. Směrem do středu místnosti teplota mírně stoupá. Střední radiační teplota je zobrazena v rozmezí 24 až 28°C. Nejnižší hodnoty se nacházejí v oblasti při zemi ve středu posuzovaného prostoru. [1]



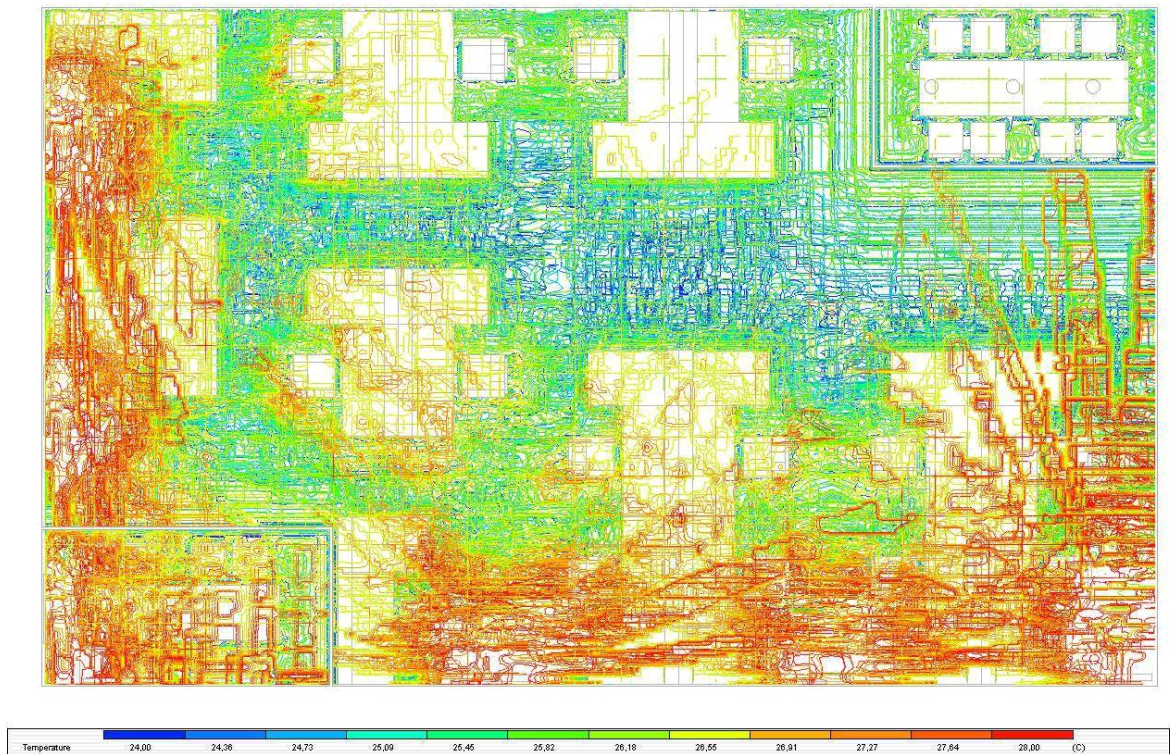
Obr. 28: Výpočet CFD - rozložení střední radiační teploty – příčné řezy [13]



Obr. 29: Výpočet CFD - rozložení střední radiční teploty – podélné řezy [13]



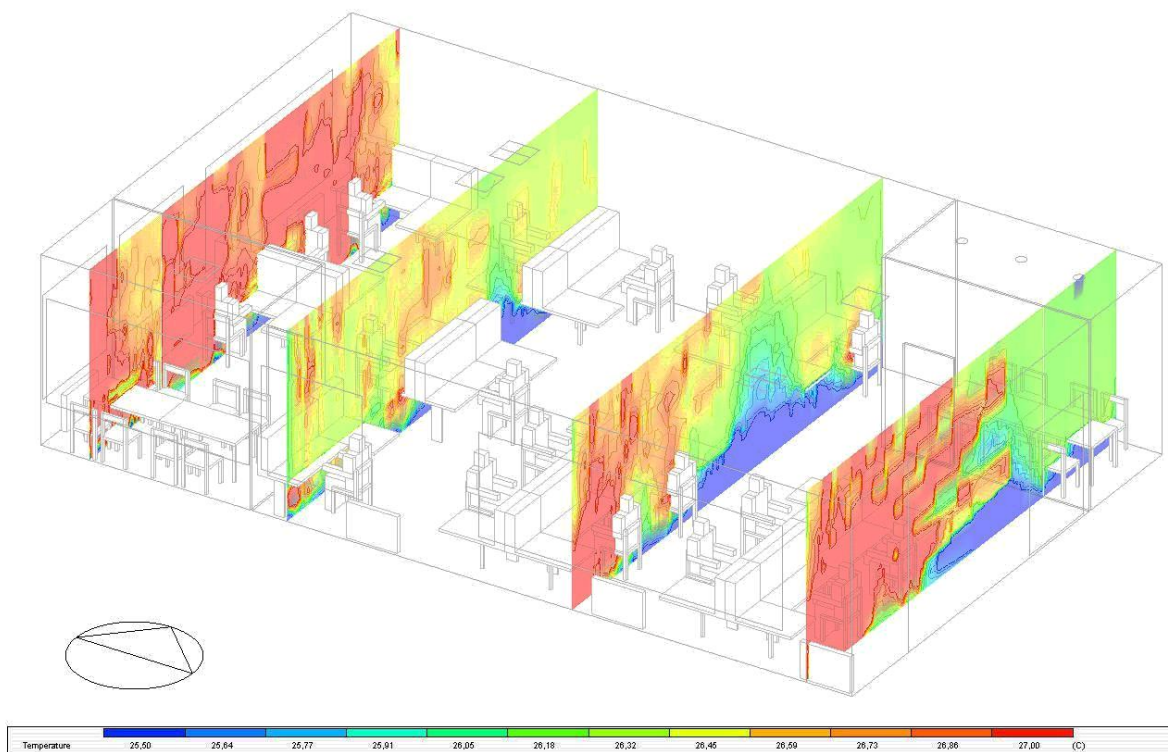
Obr. 30: Výpočet CFD - rozložení střední radiční teploty – rovina hlavy sedící osoby [13]



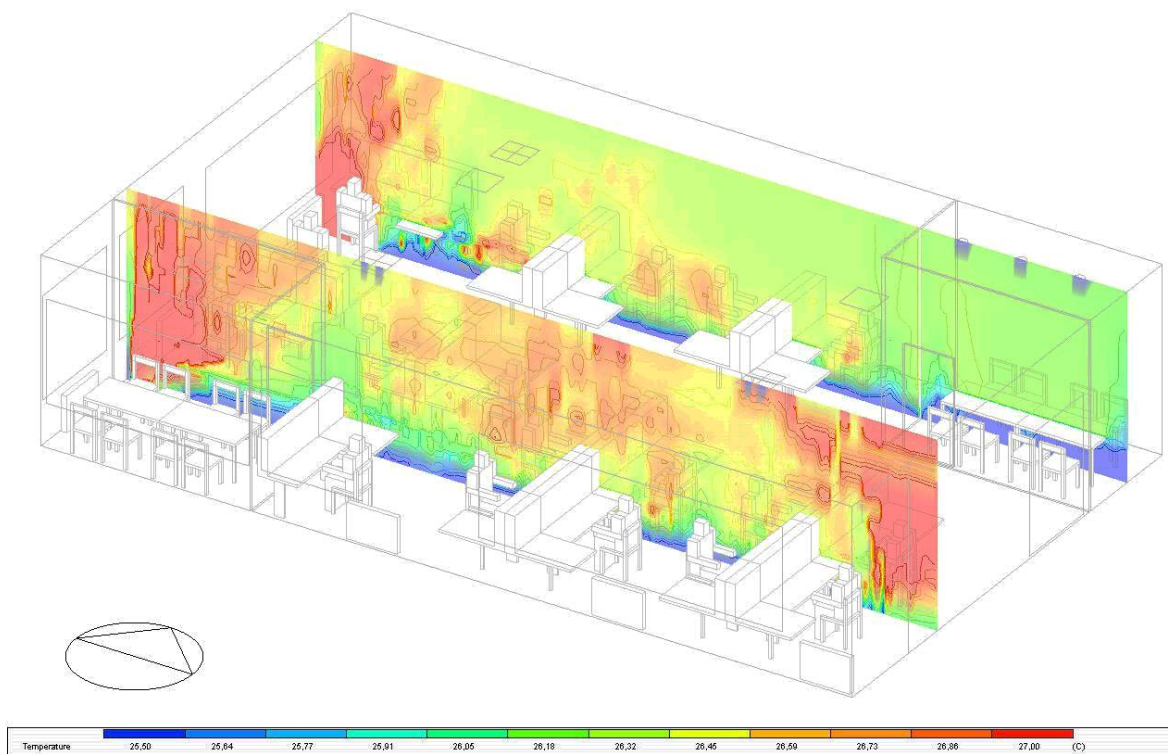
Obr. 31: Výpočet CFD - rozložení střední radiční teploty – pohled shora na 3D kontury [13]

11.2.3 Operativní teplota

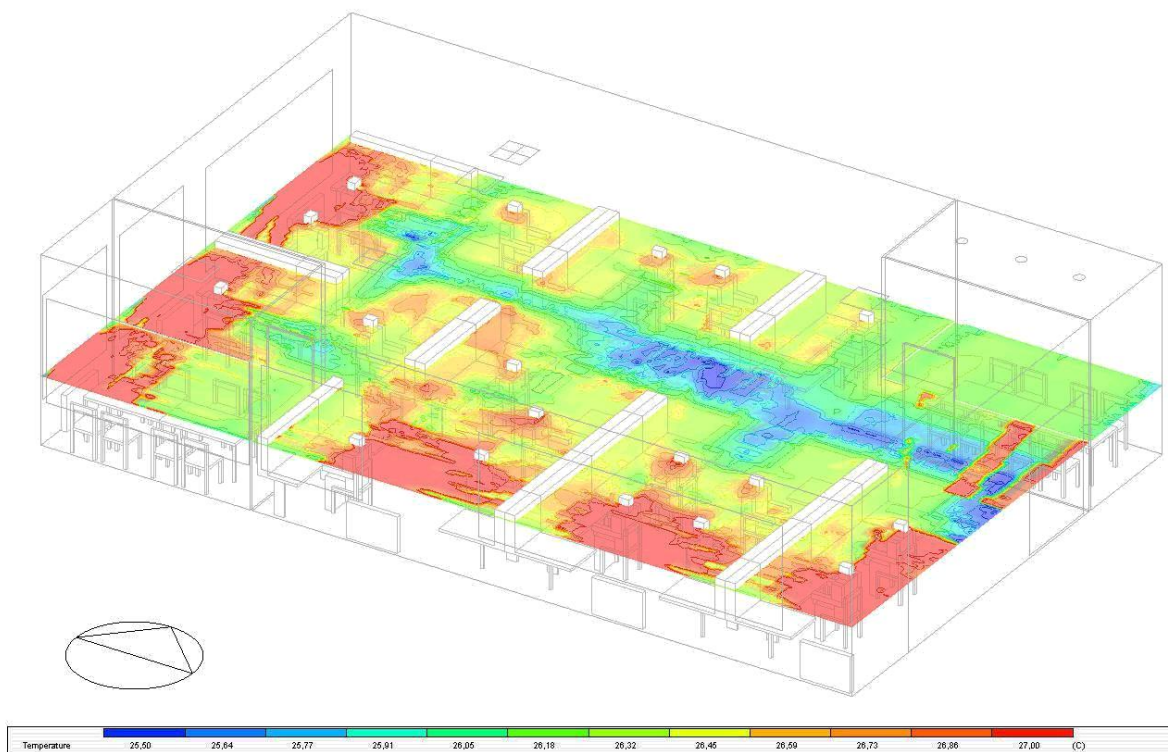
Operativní teplota je veličinou vypočtenou pomocí střední radiční teploty. Uvažujeme ji jako rovnoměrnou teplotu uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel prouděním a sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném prostředí. Hodnoty operativní teploty jsou zobrazeny v rozmezí 25,5 až 27°C. Oproti střední radiční teplotě jsou hodnoty přibližně o 1°C nižší (způsobeno vlivem proudění vzduchu). [3]



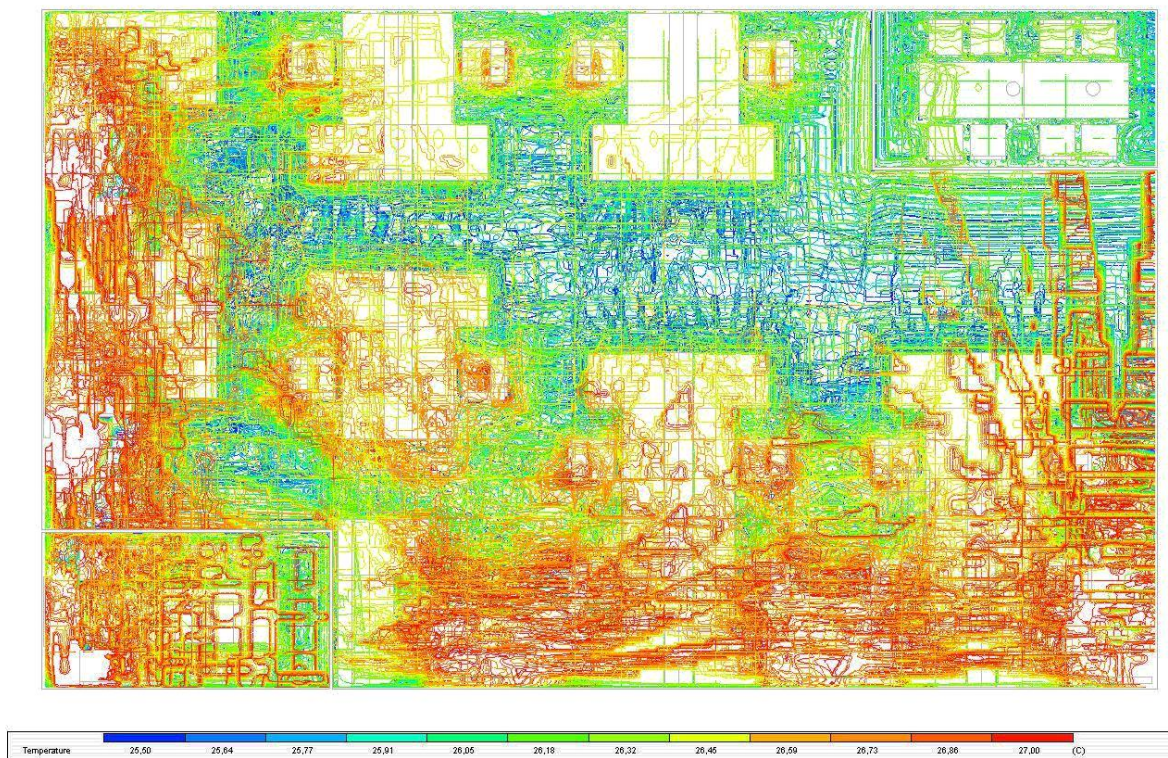
Obr. 32: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – příčné řezy [13]



Obr. 33: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – podélné řezy [13]



Obr. 34: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – rovina hlavy sedící osoby [13]



Obr. 35 Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – pohled shora na 3D kontury [13]

Dle nařízení vlády č. 93/2012 Sb., které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci, splňuje hodnocený prostor, kromě oblasti v okolí oken, požadovanou maximální hodnotu pro operativní teplotu 27°C (viz. Tab. 14).

Práce v kanceláři se řadí do I třídy, kde je definována výše zmíněným nařízením vlády jako: „Práce vsedě s minimální celotělovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů“. [15]

Tab. 14: Přípustná zátěž teplem na pracovišti [15]

Třída práce	M[W.m ⁻²] (brutto)	t _{omin} nebo t _{gmin} [°C]	t _{omax} nebo t _{gmax} [°C]	v _a [m.s ⁻¹]	Rh[%]
I	≤ 80	20	27	0,1 až 0,2	
IIa	81 až 105	18	26		
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30		30 až 70
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		

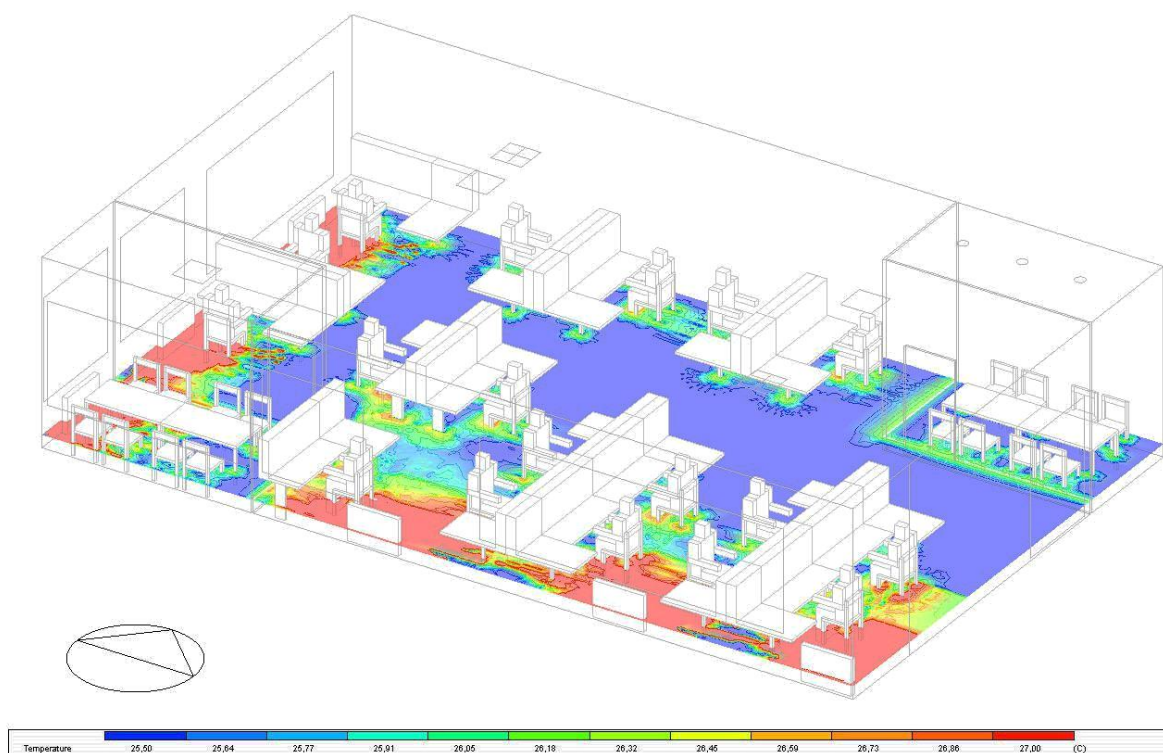
Tab. 15 uvádí přípustné horizontální rozdíly teploty kulového teploměru v úrovni hlavy a v úrovni kotníků pro pracoviště, kterou jsou klimatizované a nuceně větrané, a které slouží pro výkon práce v I a IIa třídy práce. Pracoviště v hodnocené administrativní budově spadají do kategorie A, jako klimatizovaná pracoviště, kde je požadavek na vysokou kvalitu vnitřního prostředí.

Tab. 15: Přípustný horizontální rozdíl teploty na úrovni hlavy a na úrovni kotníků [15]

t _g na úrovni hlavy [°C]	{t _g hlava - t _g kotník}* [°C]	
	Kategorie A, B	Kategorie C
19	0,0	0,5
20	0,0	1,0
21	0,0	1,5
22	0,5	2,0
23	1,5	3,0
24	2,5	3,5
25	3,5	4,5
26	4,5	5,5
27	5,5	6,5

Posouzení rozdílů teploty v jednotlivých výškových úrovních určuje Nařízení vlády č. 93/2012 Sb. (pro úroveň hlavy = 1500 mm nad podlahou, úroveň kotníků = 150 mm

nad podlahou). Dle Obr. 34 vyplývá operativní teplota 26°C v oblasti hlavy sedící osoby pro dominantní plochu prostoru, kde se nachází osoby. Směrem k obvodovým konstrukcím se operativní teplota mírně zvyšuje. Na Obr. 36 lze vidět operativní teplotu v oblasti kotníků, která je v převážné většině prostoru určena hodnotou 25°C. Daný prostor tedy splňuje přípustný horizontální rozdíl teploty v úrovni hlavy a kotníků dle Tab. 15.

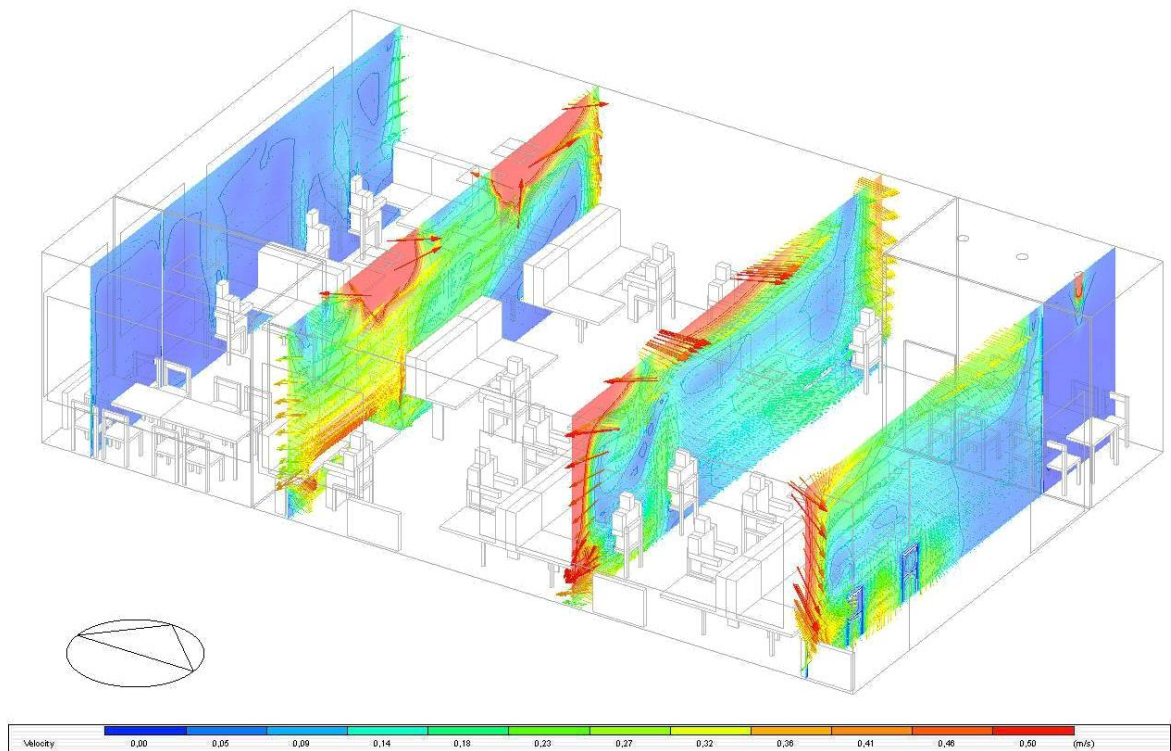


Obr. 36: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty v úrovni kotníků [13]

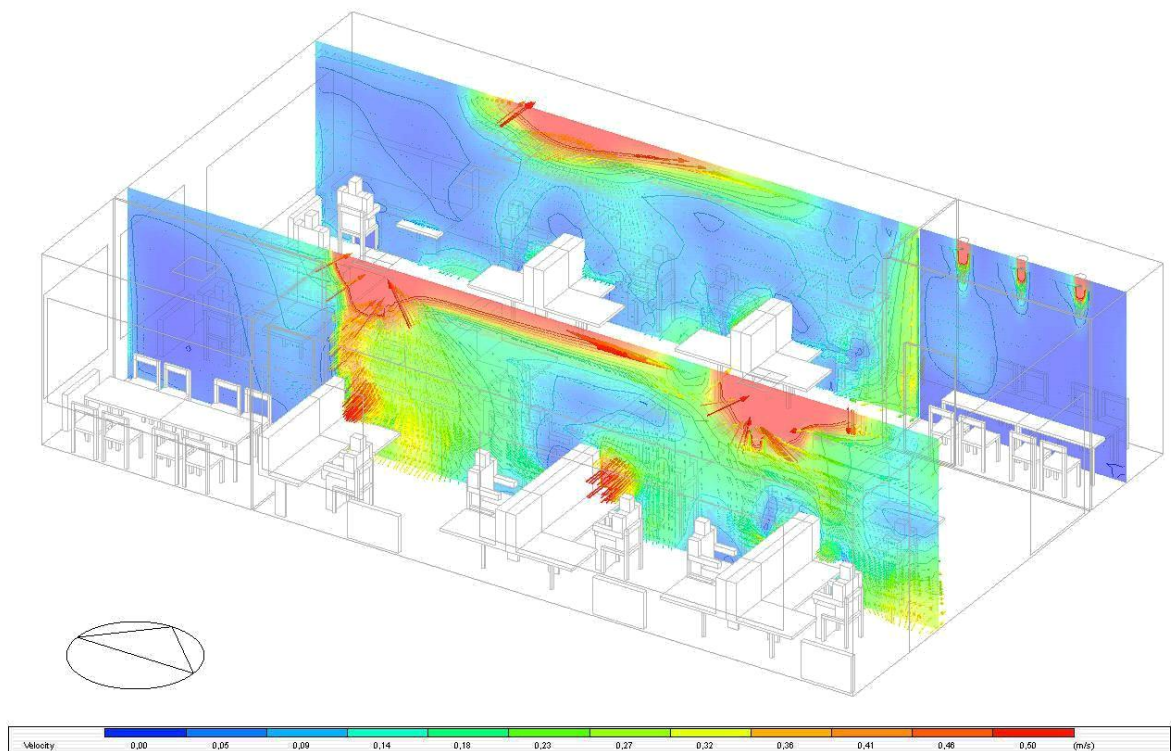
11.2.4 Proudění vzduchu v interiéru

Následující obrázky znázorňují rychlosti proudícího vzduchu v interiéru, což je způsobeno přiváděným vzduchem ze vzduchotechnického systému. Pro tepelný komfort ve vnitřním prostředí je důležité zachovat rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně na hodnotách cca 0,15 – 0,22 m/s. Při vyšších hodnotách můžeme pociťovat průvan. Pod stropem mohou být rychlosti vzduchu vyšší, i kolem 0,5 m/s aniž by způsobovaly tepelný diskomfort. Obr. 39 zobrazuje rozložení rychlosti proudění vzduchu v rovině oblasti hlavy sedící osoby, kde jsou splněny doporučené hodnoty rychlosti proudícího vzduchu. Ve výšce cca 2 m nad rovinou podlahy se rychlosti vzduchu pohybují také v hodnotách okolo 0,2 m/s (viz Obr. 40). Z obrázků vyplývá také zvýšené proudění vzduchu u stěn poblíž

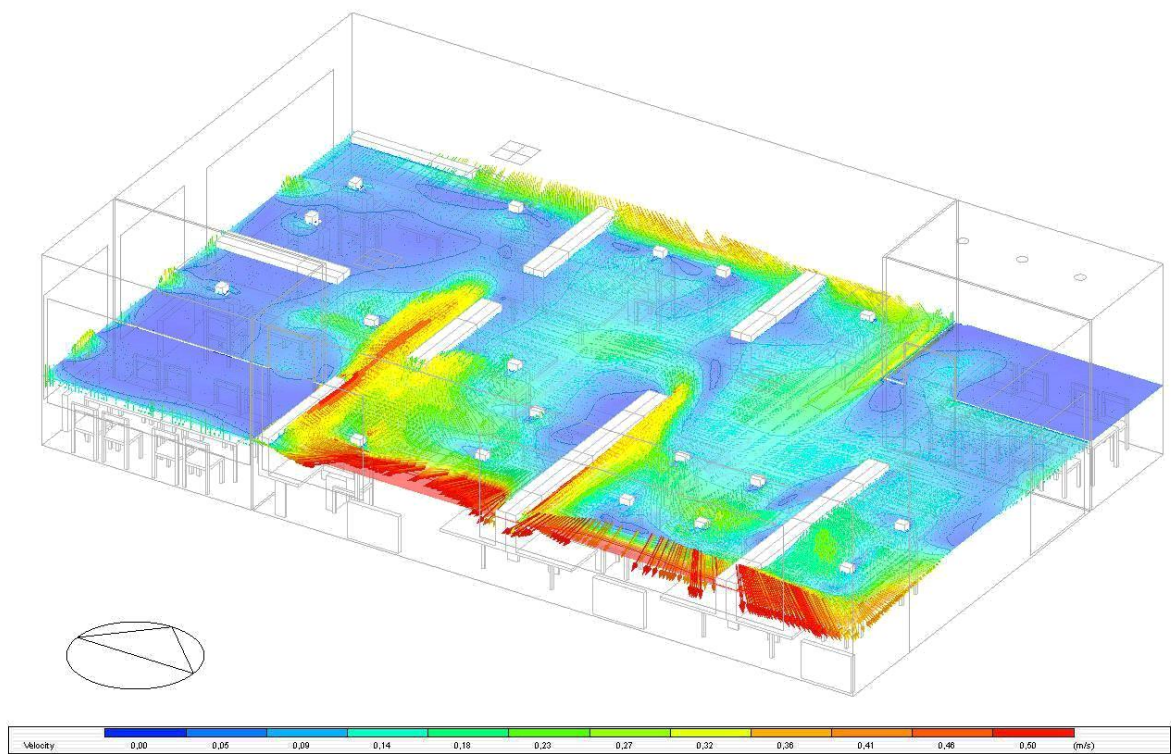
vzduchotechnických výústek. Toto vyšší proudění je způsobené „nalepením“ přiváděného vzduchu na konstrukci a proudění okolo konstrukce.



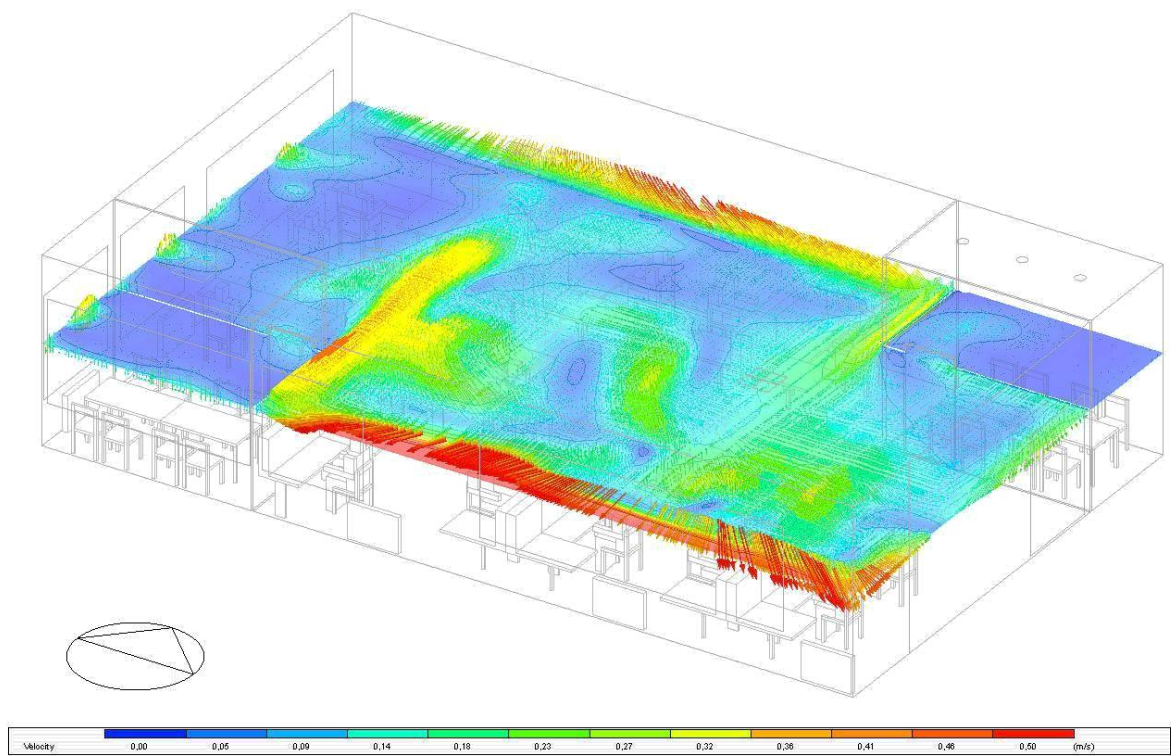
Obr. 37: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – příčné řezy [13]



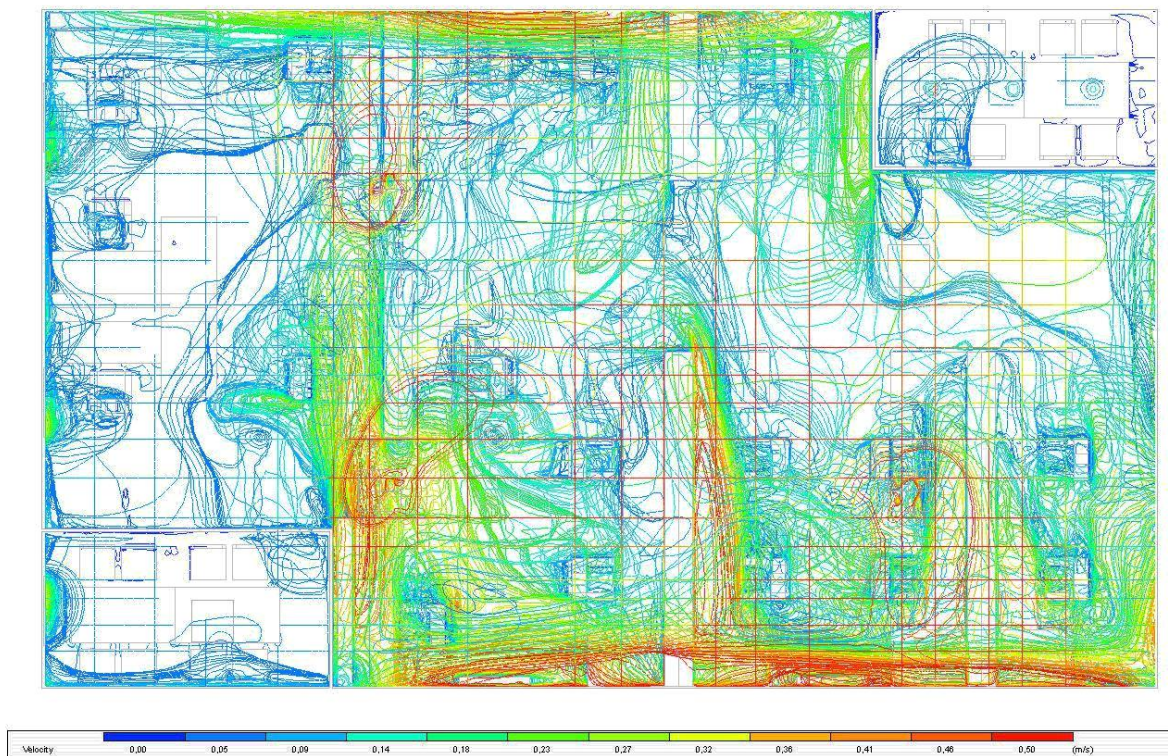
Obr. 38: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – podélné řezy [13]



Obr. 39: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – rovina hlavy sedící osoby [13]



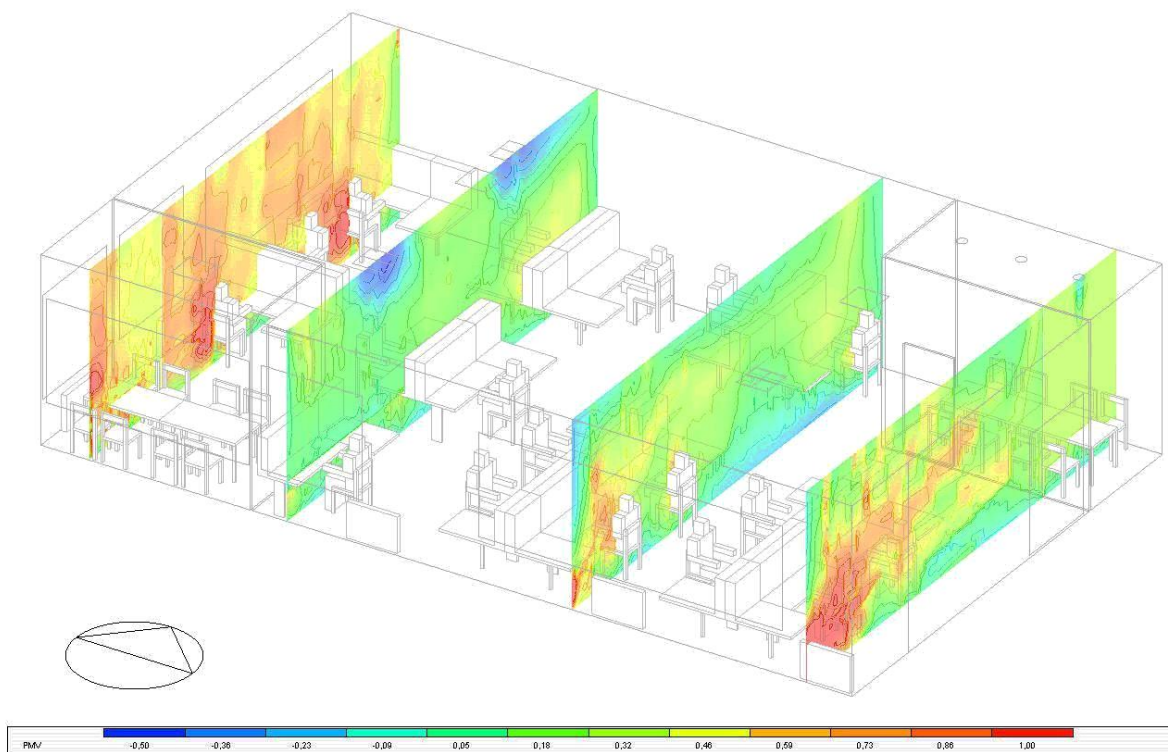
Obr. 40: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – rovina hlavy stojící osoby [13]



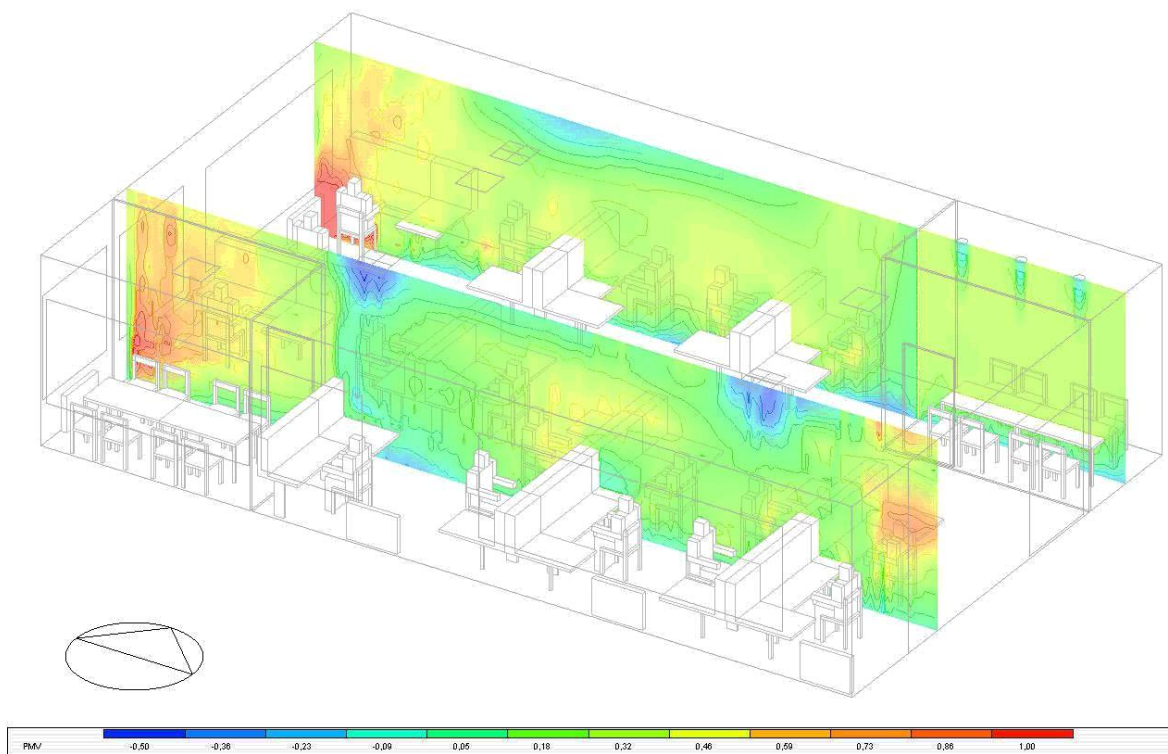
Obr. 41: Výpočet CFD – rychlost proudění vzduchu v interiéru – pohled shora na 3D kontury [13]

11.2.5 PMV

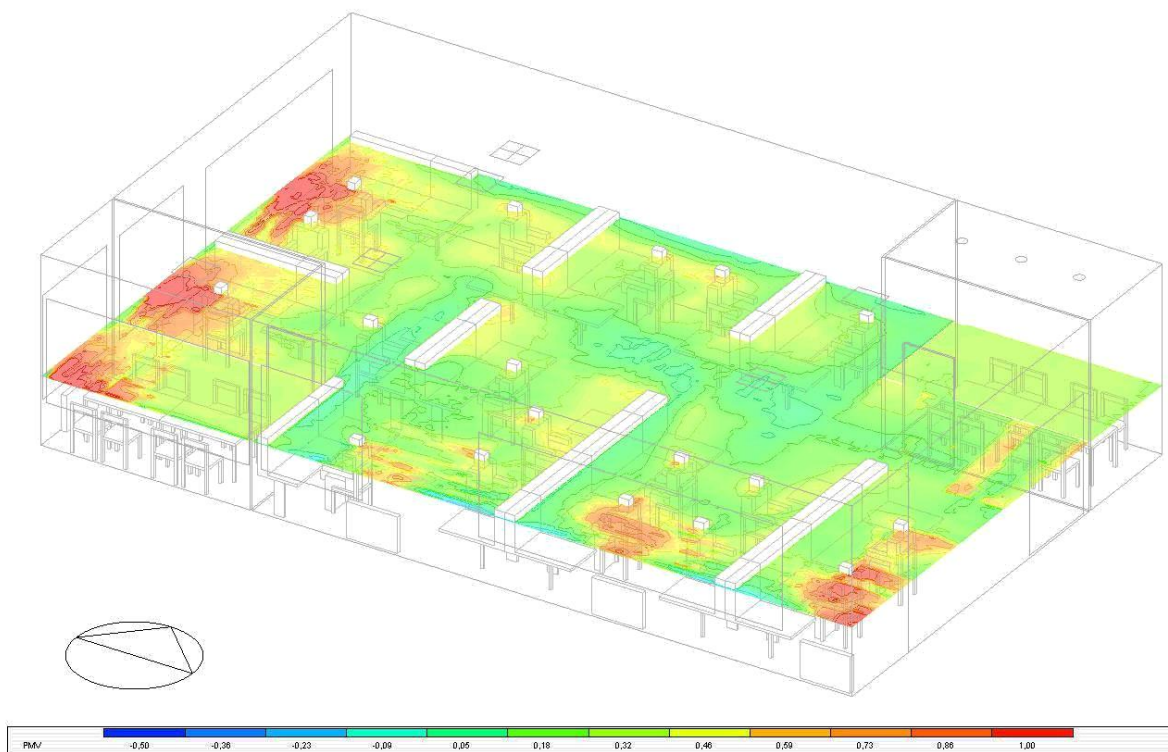
Hodnocení předpovědi středního tepelného pocitu zobrazuje kladné hodnoty téměř v celém prostoru. Z toho vyplývá mírně zvýšená teplota vzduchu v posuzovaném prostoru, která však pořád zůstává v oblasti optimální (do hodnocení +1 považujeme hodnocení za neutrální [1]). Svou zásluhu pro udržení vyšší teploty vzduchu a kladného středního tepelného pocitu má také zateplení obvodových konstrukcí budovy. Zateplení sice zdaleka nesplňuje doporučené požadavky současné legislativy na součinitel prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi, ovšem pro udržení příznivých podmínek vnitřního prostředí je toto zateplení dostatečné. Narušení jinak kladného hodnocení PMV způsobují pouze místa v přímém dosahu výustek vzduchotechnického systému. V okolí otopných těles se přirozeně hodnota středního tepelného pocitu zvyšuje.



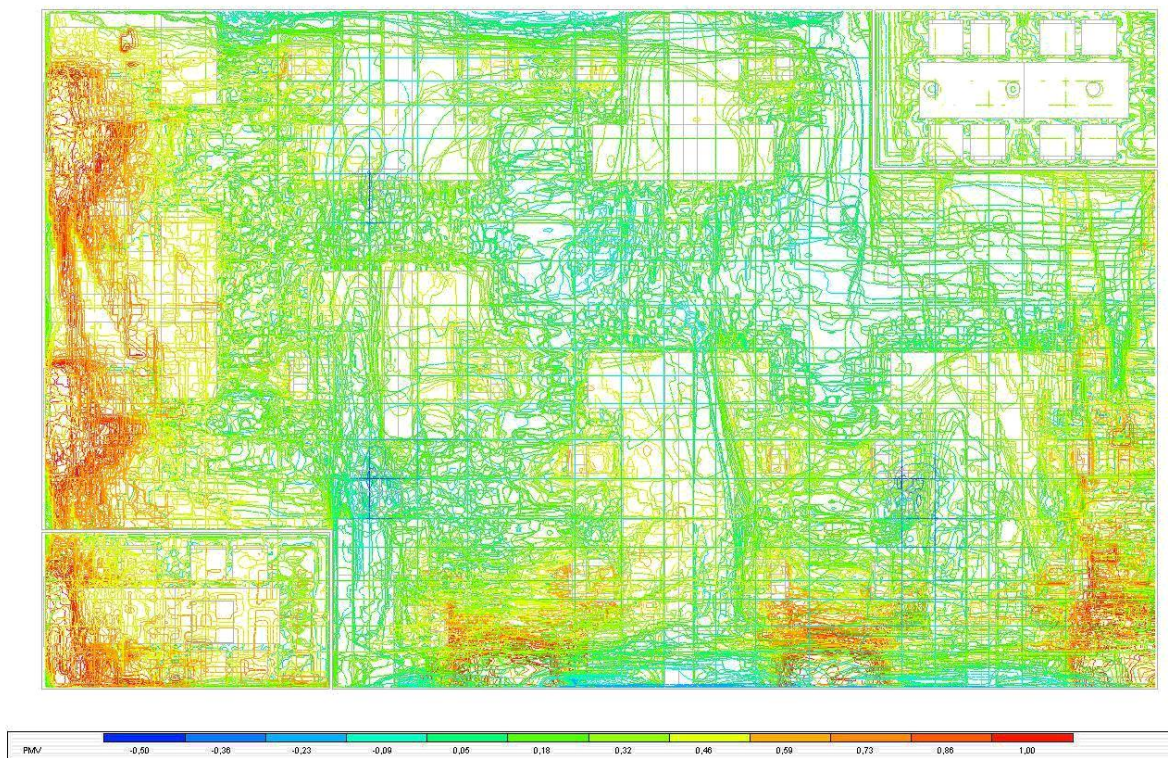
Obr. 42: Výpočet CFD - ukazatel PMV – příčné řezy [13]



Obr. 43: Výpočet CFD - ukazatel PMV – podélné řezy [13]



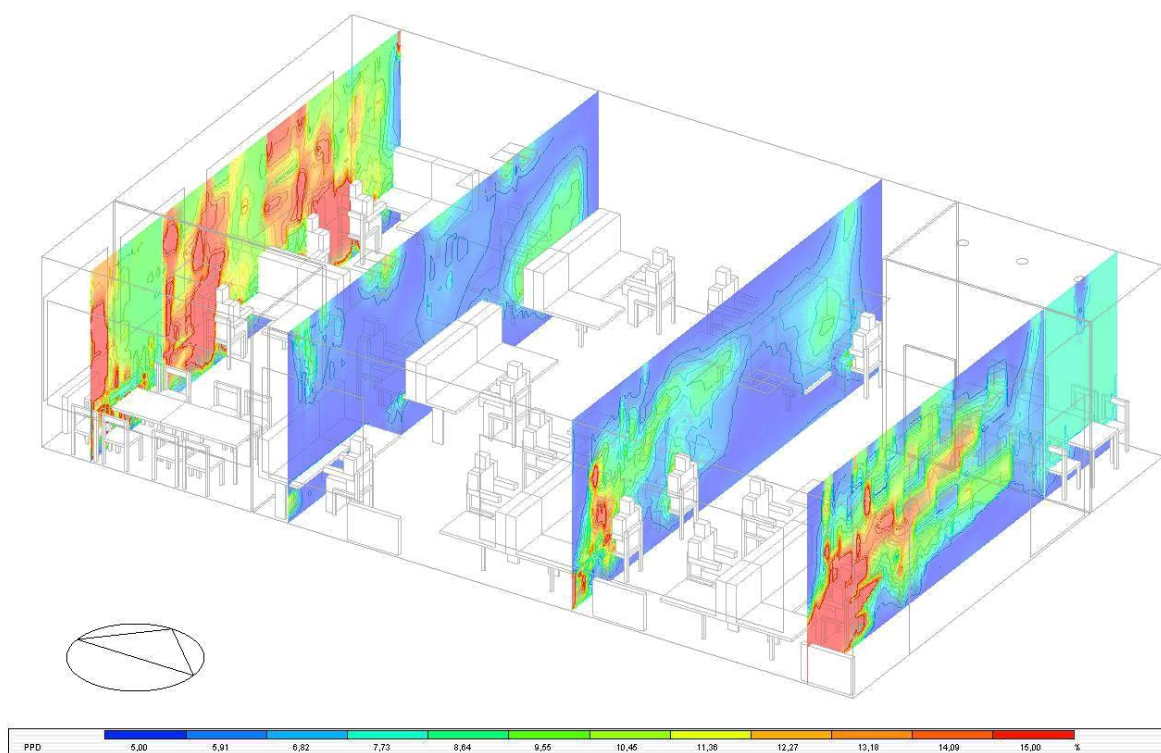
Obr. 44: Výpočet CFD - ukazatel PMV – rovina hlavy sedící osoby [13]



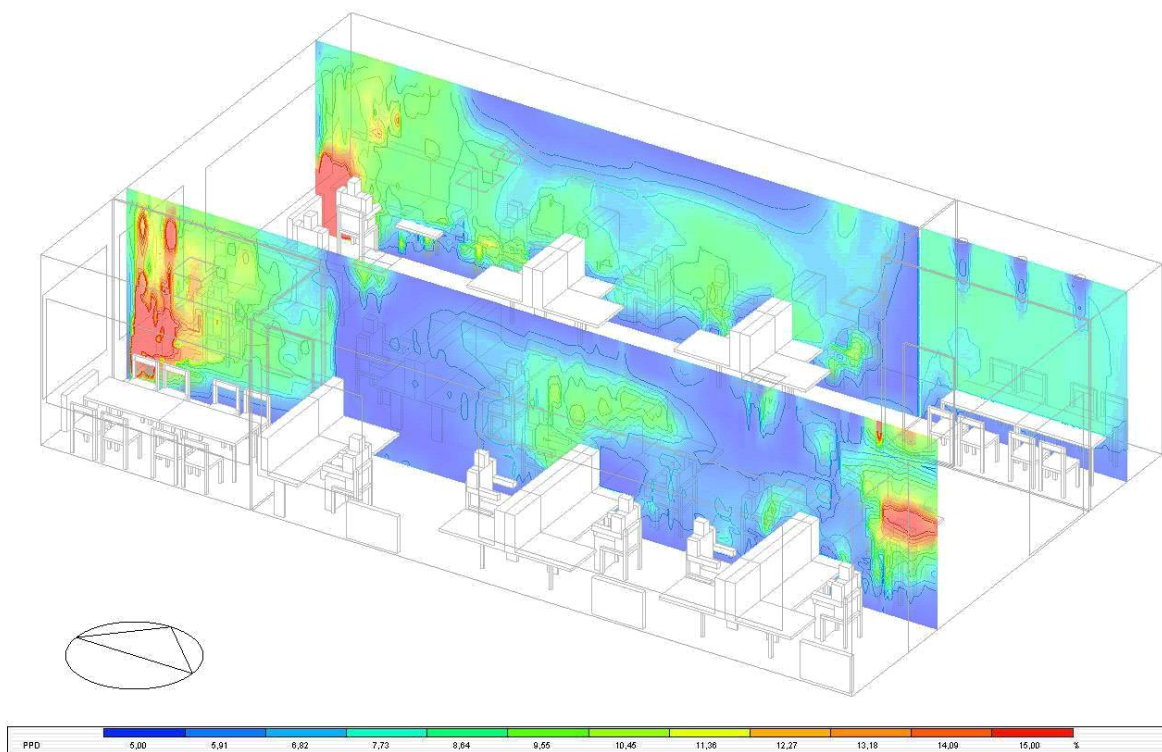
Obr. 45: Výpočet CFD – ukazatel PMV – pohled shora na 3D kontury [13]

11.2.6 PPD

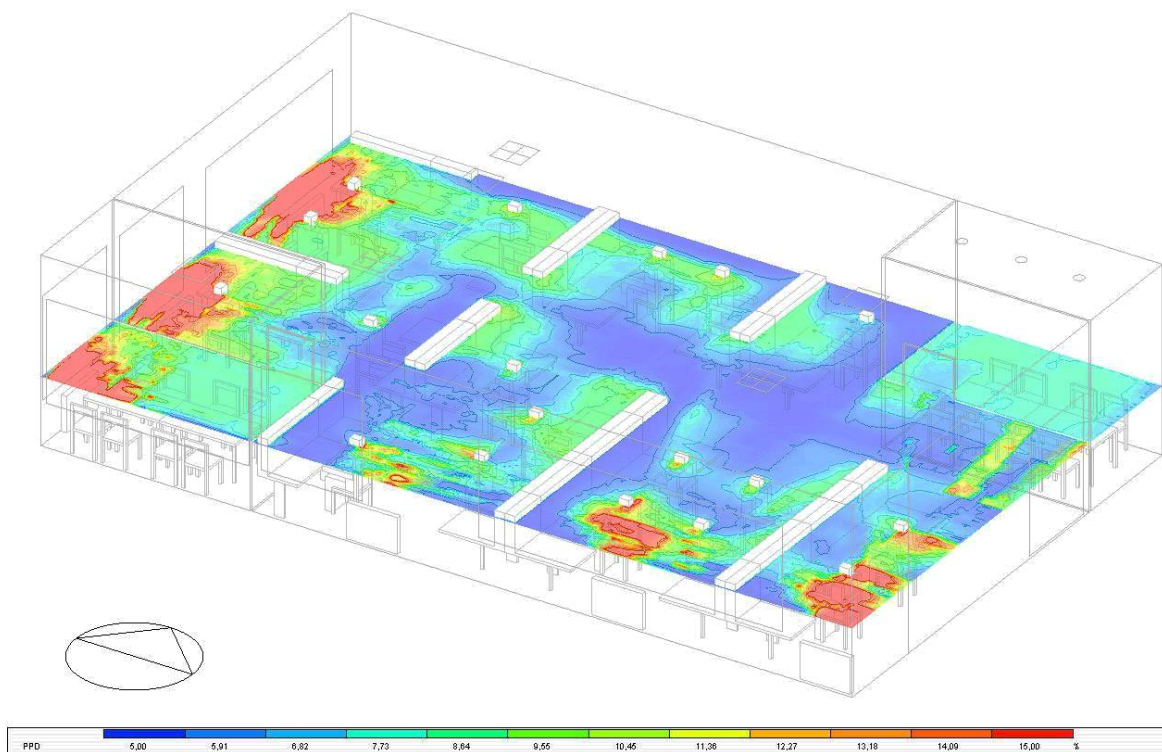
Index PPD je stanoven na základě několika proměnných. Pro tento typ posouzení jsou z pohledu ovlivnění výsledku a optimalizace prostoru nejdůležitější teplota vzduchu, střední radiační teplota a rychlost proudění vzduchu. Ukazatel předpovědi procentuálního počtu nespokojených vykazuje v prostoru hodnotu v rozmezí 5 až 15%. Především v oblasti, která není v přímém dosahu přírodních prvků vzduchotechnického zařízení, se PPD zvyšuje k 10 až 15%. Z pohledu hodnocení prostoru, kde jsou rozmístěna pracovní místa, převažuje hodnota ukazatele okolo 7%. Pracovní místa u západní stěny kanceláře ovšem vykazují, pravděpodobně kvůli vysokým solárním ziskům, vyšší index PPD. Hranice 5% předpokládaného počtu nespokojených v prostoru se považuje za optimální.



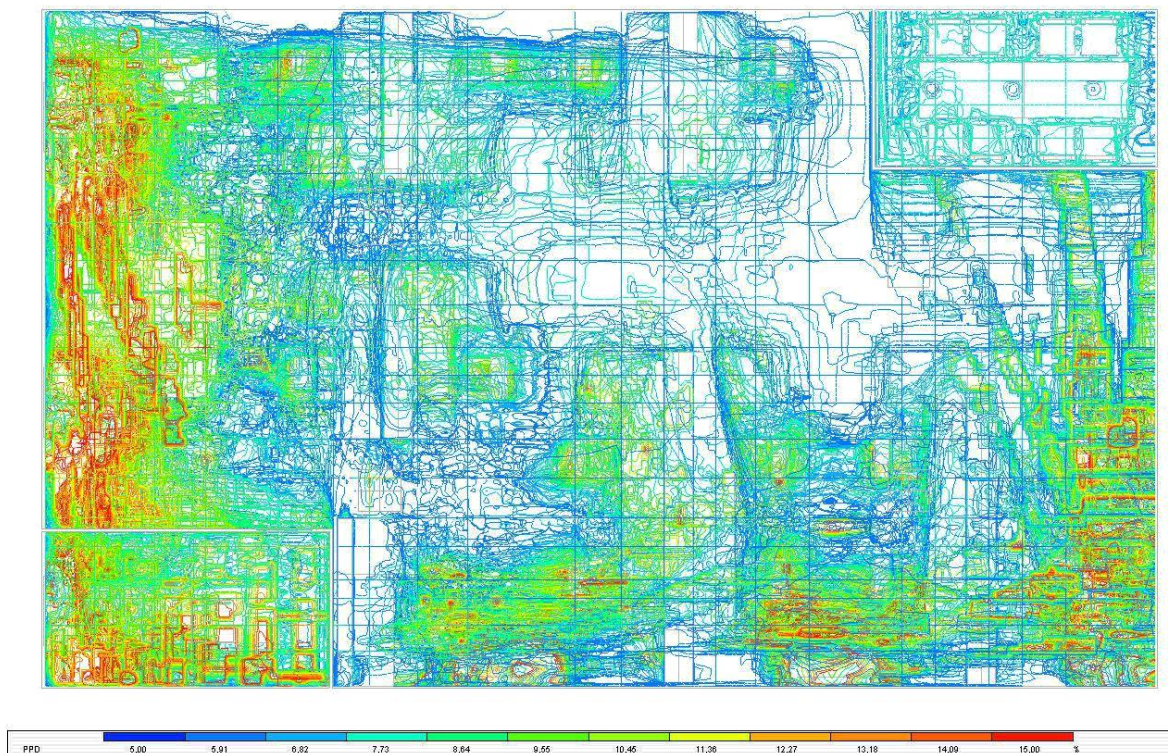
Obr. 46: Výpočet CFD - ukazatel PPD – příčné řezu [13]



Obr. 47: Výpočet CFD - ukazatel PPD – podélné řezy [13]



Obr. 48: Výpočet CFD - ukazatel PPD – rovina krku sedící osoby [13]



Obr. 49: Výpočet CFD – ukazatel PPD – pohled shora na 3D kontury [13]

11.3 Hodnocení výsledků CFD simulace

Z pohledu hodnocení dle ČSN EN ISO 7730 posuzovaného prostoru velkoplošné kanceláře v zimním období byly ve většině hodnocení splněny požadavky pro kategorii tepelného prostředí B. Index PMV se pohybuje v hodnoceném prostoru na pracovních místech v přibližné hodnotě +0,5 a tedy splňující kategorii B. Pro index PPD platí hodnoty mírně nad 10%, čímž platí pro tento index kategorie C.

Z hlediska místního diskomfortu způsobeného průvanem, vyhovují 3 referenční body kategorii A, jeden bod kategorií B a jeden bod (T₂) je mimo hodnocení, tedy kategorie D. V referenčním bodě T₂ nebyl splněn požadavek na místní diskomfort způsobený průvanem. Tento lokální diskomfort způsobuje příčková stěna malé rohové zasedací místnosti („nalepením“ proudícího vzduchu) a umístění vířivého anemostatu poblíž této stěny a referenčního bodu. Místní diskomfort, způsobený vertikálním rozdílem teplot vzduchu a asymetrií radiací, není příliš zaznamenán, a proto splňuje ve všech bodech omezení kategorie A. Pozice referenčních bodů pro hodnocení místního tepelného diskomfortu je shodná s umístěním čidel teploty při měření viz Obr. 17.

Při zohlednění všech parametrů hodnocení do kategorie tepelného prostředí lze hodnocené vnitřní prostředí zařadit do kategorie B (nebo kategorie II dle [2]) - „Běžná úroveň očekávání by měla být použita pro nové budovy a rekonstrukce“. [2]

Tab. 16 Kategorie tepelného prostředí [1]

Kategorie	Tepelný stav těla jako celku		Místní diskomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD % způsobený		
				vertikálním rozdílem teplot vzduchu	teplou nebo chladnou podlahou	asymetrií radiací
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Tab. 17 Hodnocení místního diskomfortu

Referenční bod	Průvan	Radiační asymetrie pro (externí stěnu)	Vertikální rozdíl teplot
	DR (%)	PD (%)	PD (%)
T_1	4,9	0,1	0,3
T_2	39,2	0,1	0,1
T_3	15,7	0,1	0,3
T_4	1,0	0,1	0,4
T_5	7,1	0,1	0,3

12 Měření tepelného komfortu a kvality vzduchu

Cílem měření v této práci bylo podrobné zmapování tepelného komfortu a kvality vnitřního vzduchu ve zvoleném kancelářském prostoru. Pro měření byla využita měřicí a záznamová ústředna s odporovými senzory teploty PT1000, senzor CO₂ a senzor vlhkosti. Pro subjektivní hodnocení tepelného komfortu a kvality vnitřního vzduchu bylo provedeno dotazníkové šetření mezi zaměstnanci firmy, sedícími v dané kanceláři. Seznam všech otázek je v Příloze 1. Celkové měření trvalo od 19. 2. 2018 do 4. 3. 2018, tedy dva týdny.

12.1 Popis měřících přístrojů

Měření teploty vzduchu zajišťovala měřicí ústředna MS5D vybavená 5 odporovými senzory PT1000. Rozmístění jednotlivých senzorů v kanceláři je zřejmé z Obr. 17. Záznamový

krok pro měření teploty byl zvolen po 1 minutě. Základní technické parametry záznamové ústředny jsou v Tab. 18.

Tab. 18 Základní technické parametry měřící a záznamové ústředny MS5D [16]

Rozsah měření pro PT1000	-140 až + 600 °C
Rozlišení pro -140 až + 100 °C	± 0,2°C
Přesnost pro 100 až 600°C	± 0,2 % měřené hodnoty

Koncentrace CO₂ ve vzduchu byla měřena čidlem ADS-CO2-24. Zařízení zaznamenává hodnoty koncentrace oxidu uhličitého v ppm v minutovém záznamu. Základní technické parametry uvádí Tab. 19.

Tab. 19 Základní technické parametry senzoru koncentrace CO₂ [17]

Rozsah měření	370 - 2000 ppm
Rozlišení	1 ppm
Přesnost	45ppm ±5% z hodnoty

Relativní vlhkost vzduchu byla měřena Loggerem S3541. Zařízení zaznamenává hodnoty relativní vlhkosti v minutovém intervalu. Základní technické parametry zařízení uvádí Tab. 20

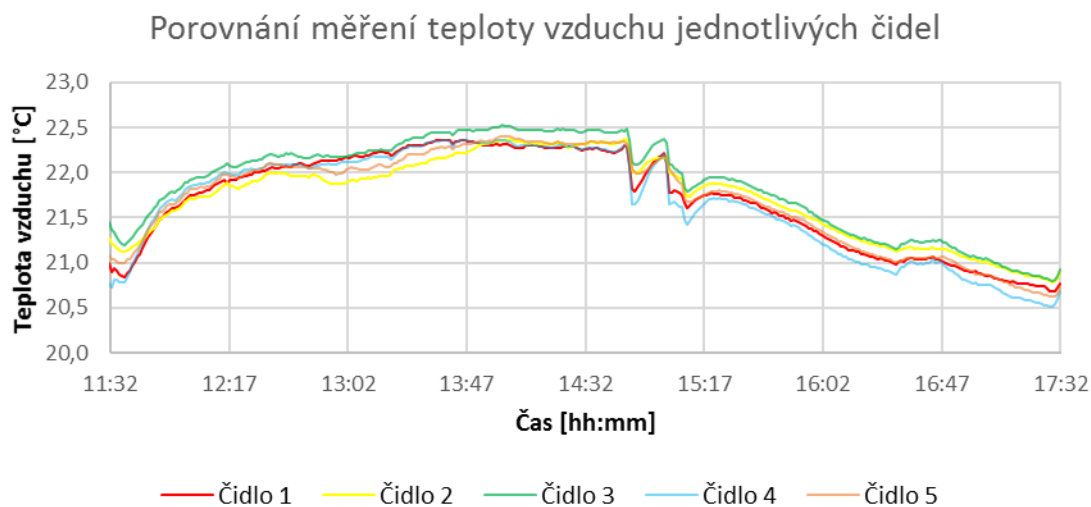
Tab. 20 Základní technické parametry čidla relativní vlhkosti [18]

Rozsah měření	0 až 100 % RH
Rozlišení	0,1 % RH
Přesnost	± 2,5 % RH v rozsahu 5 až 95 % RH při 23°C

12.2 Porovnání jednotlivých odporových senzorů teploty

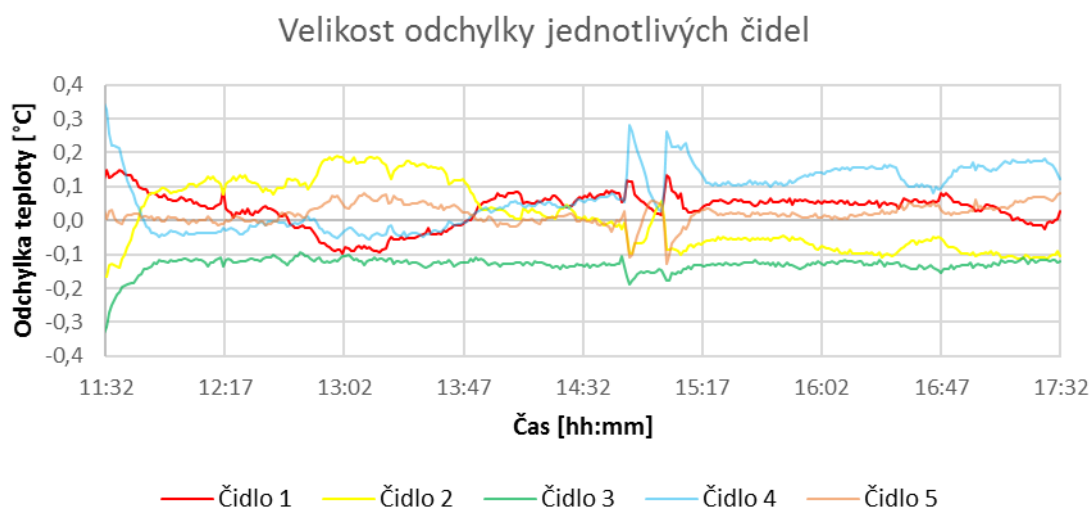
Pro zjištění odchylek mezi jednotlivými čidly měřící ústředny bylo provedeno jednoduché měření v podmínkách běžné obytné místnosti. Čidla byla upevněna na jedno

místo, tak aby se vzájemně nedotýkala. Na Obr. 50 je znázorněn průběh pokusného (kalibračního) měření teploty všemi čidly. Měření probíhalo po dobu 6 hodin.



Obr. 50: Porovnání průběhů měření jednotlivých čidel pro teploty vzduchu

Z obrázku je patrná určitá odchylka jednotlivých čidel jak na začátku měření, tak po ustálení teploty. Pro podrobnější zjištění velikosti odchylky byl vypočten průměr jednotlivých teplot a dále odchylka jednotlivých čidel od tohoto průměru, což znázorňuje Obr. 51.

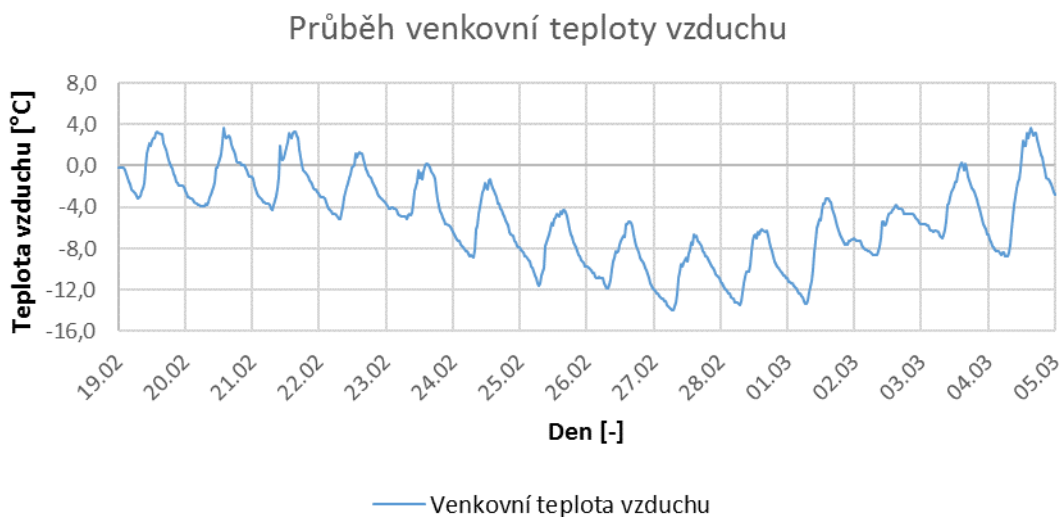


Obr. 51: Znázornění odchylky jednotlivých čidel pro měření

Velikost odchylky se pro jednotlivá čidla různí a kolísá. Největší rozptyl je dosažen při výraznější změně teploty vzduchu v prostoru, kterou mohl způsobit např. pohyb vzduchu v místnosti. Pro ustálenou teplotu měří jednotlivá čidla v rámci tolerance s rozptylem přibližně 0,3°C.

12.3 Naměřená data vnitřního prostředí

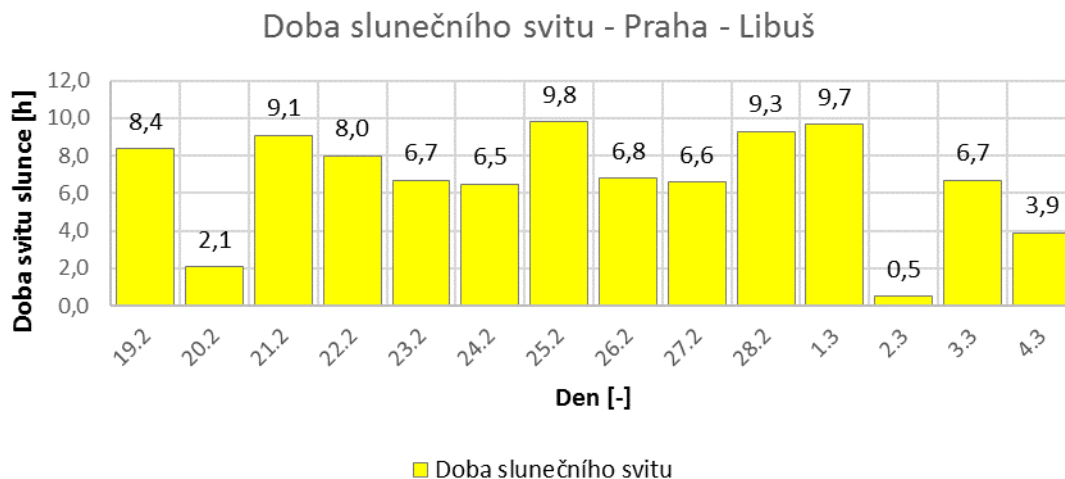
Pro měření veličin ve vnitřním prostředí budov jsou velmi důležité také klimatické podmínky exteriérové. Venkovní teplota ovlivňuje vnitřní prostředí pravděpodobně nejzásadněji. Vytápěním při nízkých venkovních teplotách zachováváme požadovaný tepelný komfort v obytném prostoru, ale se zvyšující se teplotou klesá relativní vlhkost vzduchu, což může vést až k nežádoucím stavům suchého vzduchu v prostoru. Naopak při vysokých venkovních teplotách vzduchu přichází na řadu nucené větrání případně i chlazení. Nevhodně nastaveným vzduchotechnickým systémem může docházet k průvanu v prostoru a chlazení může vyvolat příliš vysoké, nežádoucí teplotní rozdíly mezi vnitřním prostorem a exteriérem. Na Obr. 52 je znázorněn průběh venkovní teploty vzduchu v době prováděného měření. Teplotní data jsou převzata z databáze amatérské meteorologické stanice ve Velké Chuchli.



Obr. 52: Průběh venkovní teploty vzduchu v době provádění měření [19]

Z grafu lze vyčíst velmi nízké exteriérové teploty vzduchu, které v několika hodinách poklesnou i pod hranici -12°C , která určuje pro Prahu typickou teplotu pro výpočet tepelných ztrát objektů a následně pro návrh zdrojů tepla a otopných soustav.

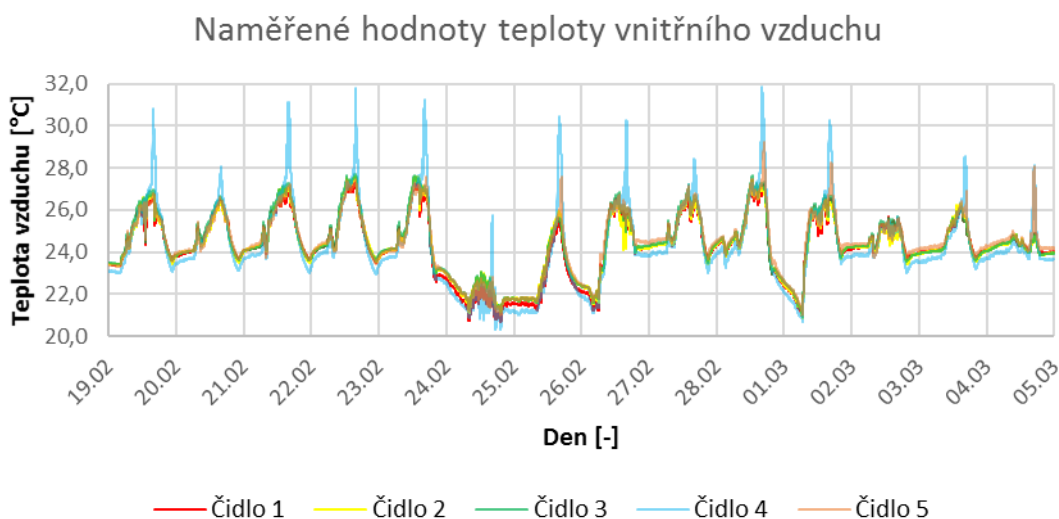
Kromě venkovní teploty vzduchu ovlivňují vnitřní prostředí také solární zisky okny. Okna hodnocené kanceláře jsou umístěna na jih a na západ. Měření solárních zisků nebylo provedeno, proto lze pouze brát v potaz tyto tepelné zisky prostoru. Zjednodušeně lze uvažovat s tepelnými zisky dle Obr. 53 - jako doby slunečního svitu.



Obr. 53: Doba slunečního svitu - meteorologická stanice Praha - Libuš [20]

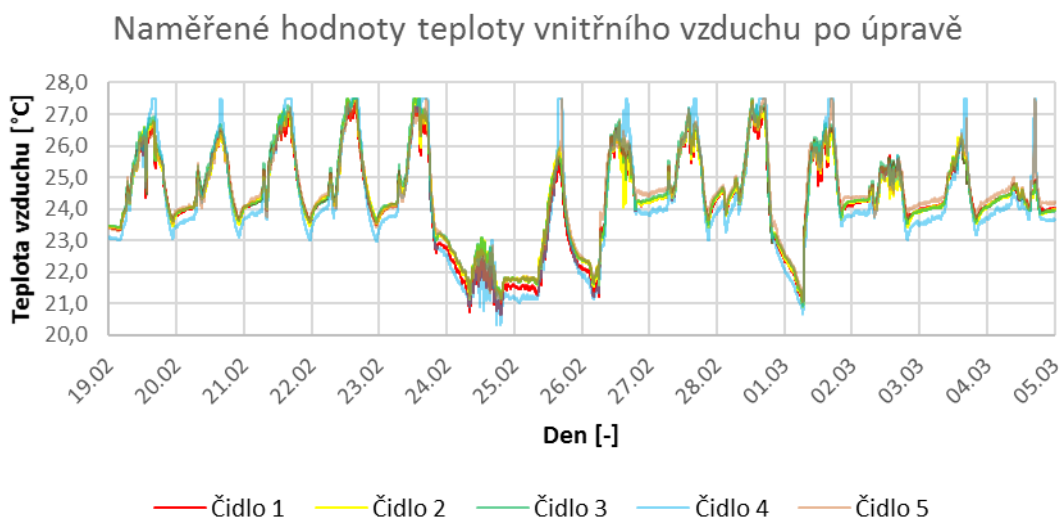
12.3.1 Teplota vzduchu

Následující obrázek (Obr. 54), znázorňuje průběh teplot vzduchu naměřených v prostoru posuzované kanceláře pomocí měřící aparatury. Průběh teplot vzduchu prokazatelně reaguje na větší změny teploty exteriérové. Znatelný pokles vnitřní teploty vzduchu přes noc z 23. 2. na 24. 2. reflektuje výrazný pokles exteriérové teploty a pomalejší reakci otopné soustavy na tuto skokovou změnu. Tepelné mikroklima v kanceláři se pohybuje z dlouhodobého pohledu mezi 23 až 27°C. V pracovní době lze vyzorovat vyšší teplotní průměr a to kolem 26°C.



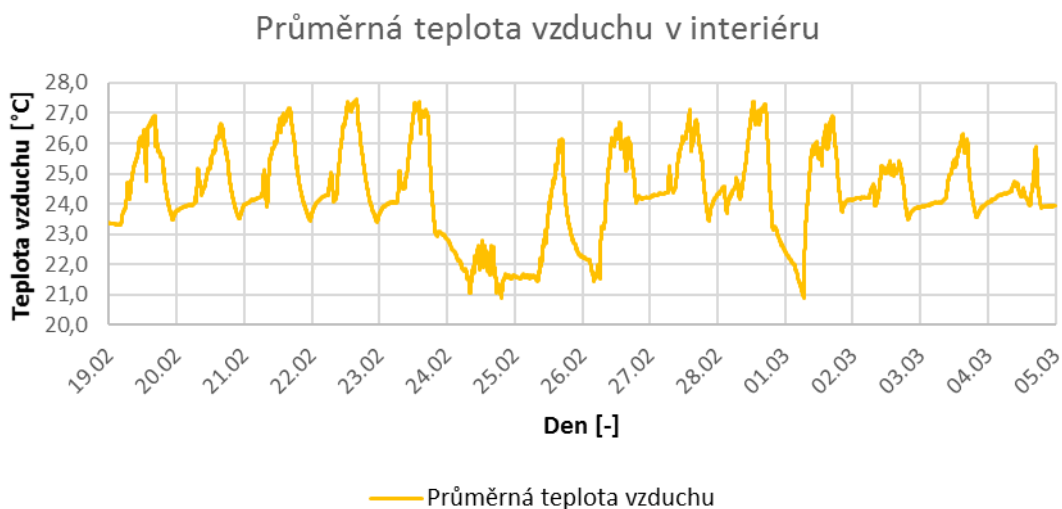
Obr. 54: Průběh naměřených teplot vnitřního vzduchu v kanceláři

Kvůli nežádoucím vlivům ve vnitřním prostředí (platí zejména pro čidlo č. 4) byly hodnoty upraveny, aby měly jako celek vypovídající charakter. Upravené průběhy vnitřní teploty vzduchu jsou znázorněny na Obr. 55.



Obr. 55: Upravené průběhy naměřených teplot vnitřního vzduchu v kanceláři

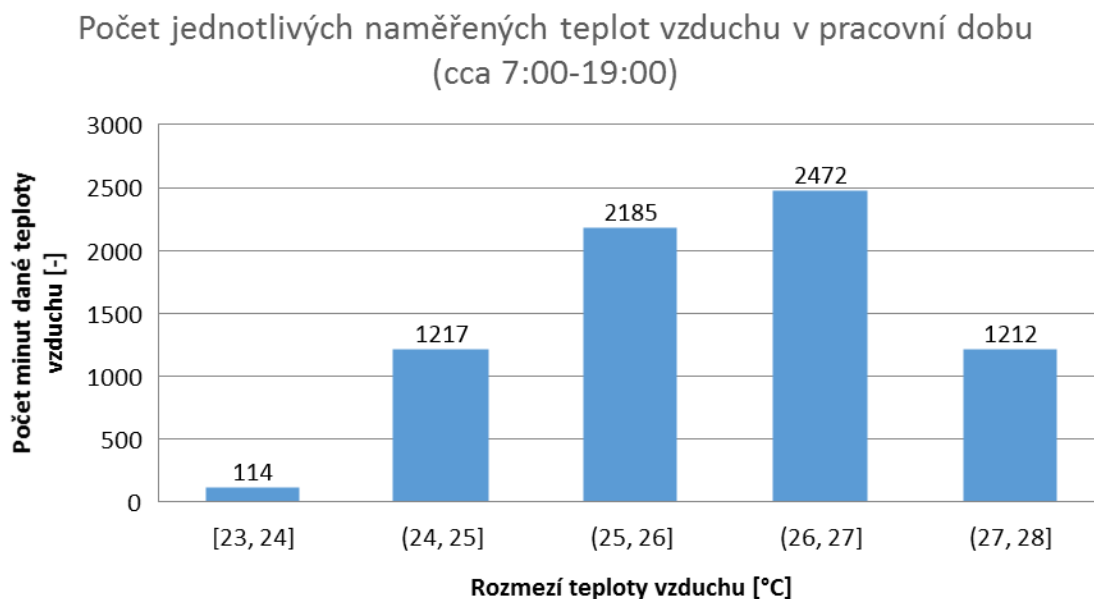
Pro jednodušší prezentaci naměřených dat byl vypočten průměrný průběh teploty vzduchu z jednotlivých průběhů naměřených hodnot (Obr. 56).



Obr. 56: Průběh průměrné teploty vzduchu z naměřených a upravených hodnot

Přesnější závěry ohledně naměřených hodnot tepelného komfortu v pracovní době znázorňuje histogram četnosti naměřených teplot vzduchu (Obr. 57), který vychází z průměrných hodnot. Graf obsahuje 7200 hodnot, což charakterizuje deset pracovních dnů s pracovní dobou od 7:00 do 19:00 hod. Data jsou zobrazena v minutovém záznamovém

kroku. Jak již bylo řečeno, průměrná teplota vzduchu se pohybuje kolem 26°C, kdy více než polovina záznamů reprezentuje teplotu vzduchu v rozmezí 25- 27°C.

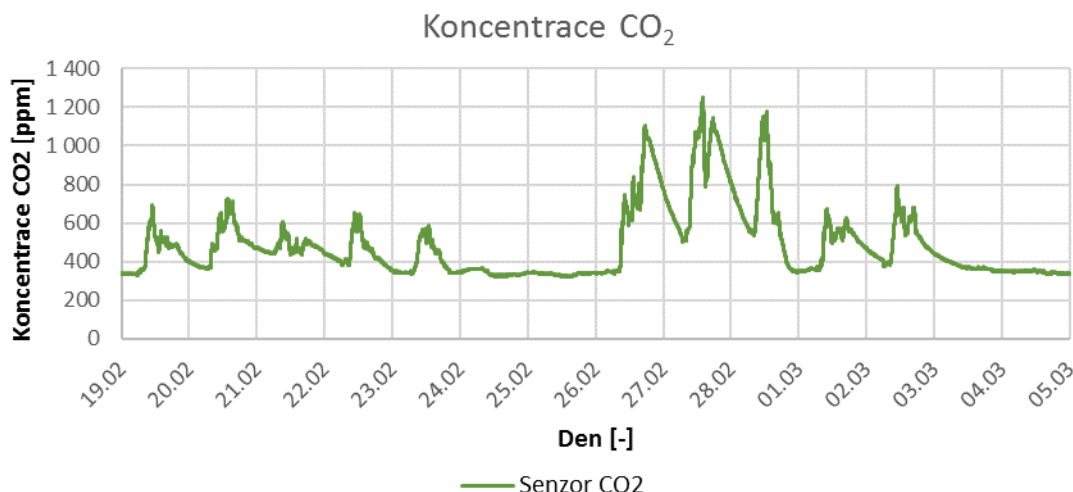


Obr. 57: Počty jednotlivých teplot v pracovní době po dobu dvou pracovních týdnů

12.3.2 Koncentrace CO₂

Hranice maximální dovolené koncentrace oxidu uhličitého v kancelářských prostorách se udává jako 1500 ppm. Koncentrace v hodnocené velkoprostorové kanceláři této hodnoty ani zdaleka nedosahuje. Díky centrálnímu vzduchotechnickému systému se koncentrace CO₂ v prostoru pohybuje ve špičce pracovní doby kolem 700 ppm, v průměru pak kolem 500 ppm.

Na počátku druhého týdne měření lze pozorovat výrazné zvýšení koncentrace CO₂ v kanceláři. Toto zvýšení může být způsobeno výpadkem / vypnutím vzduchotechnického systému, např. z důvodu velmi nízkých teplot venkovního vzduchu.



Obr. 58: Průběh naměřených hodnot koncentrace CO₂

12.3.3 Relativní vlhkost vnitřního vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu patří také k důležitým prvkům vnitřního prostředí budov, zvláště v administrativních budovách. Při kombinaci práce na počítači a suchého vnitřního vzduchu může dojít k rychlejší únavě očí a následnému pálení. Relativní vlhkost vzduchu se pohybuje mezi 10 - 20%, což je typické pro prostředí administrativní budovy, avšak ne příliš vhodné z hlediska vnitřního prostředí. Doporučené relativní vlhkosti vzduchu začínají na cca 30%. Během pracovní doby je zvýšená relativní vlhkost produkována osobami v kanceláři.

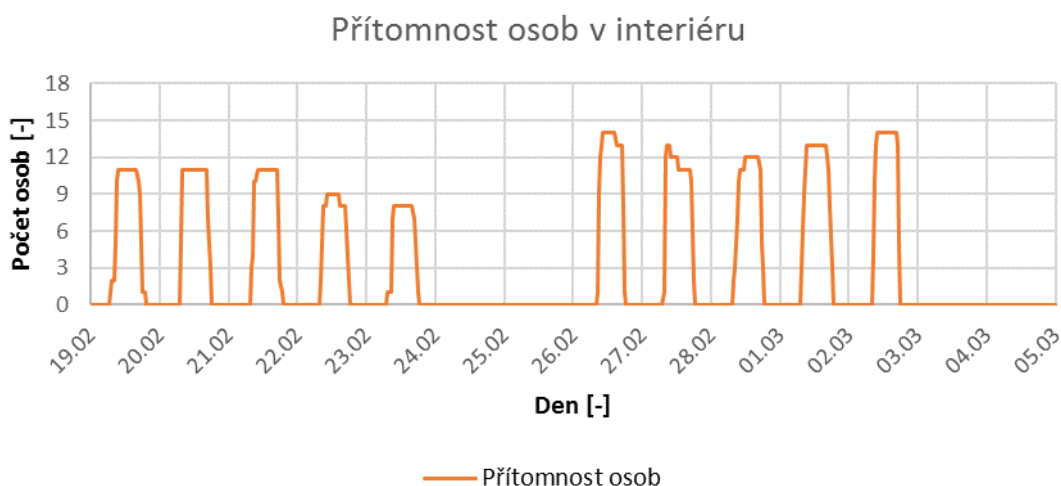
V průběhu prvního týdne má křivka měřené relativní vlhkosti klesající trend s ohledem na klesající teplotu venkovního vzduchu (Obr. 52). Na počátku druhého týdne měření došlo pravděpodobně k výše zmíněnému výpadku / odstávce vzduchotechnického zařízení, a proto byly hodnoty relativní vlhkosti tak vysoké. Při strmém poklesu došlo pravděpodobně k vyvětrání prostoru manuálně, okny.



Obr. 59: Průběh naměřených hodnot relativní vnitřní vlhkosti

12.3.4 Obsazenost prostoru

Důležitou roli pro hodnocení vnitřního prostředí hrají vnitřní tepelné zisky od osvětlení, elektrických spotřebičů a přítomnosti osob. Vzhledem k pracovní náplni zaměstnanců (administrativní práce na počítači) nejsou předpokládány vysoké tepelné zisky od osob, nýbrž vysoké tepelné zisky od osvětlení a elektrických spotřebičů. Nezanedbatelný vliv přítomnosti osob je však na produkci oxidu uhličitého a vlhkosti dýcháním. Přítomnost osob je naznačena na Obr. 60.

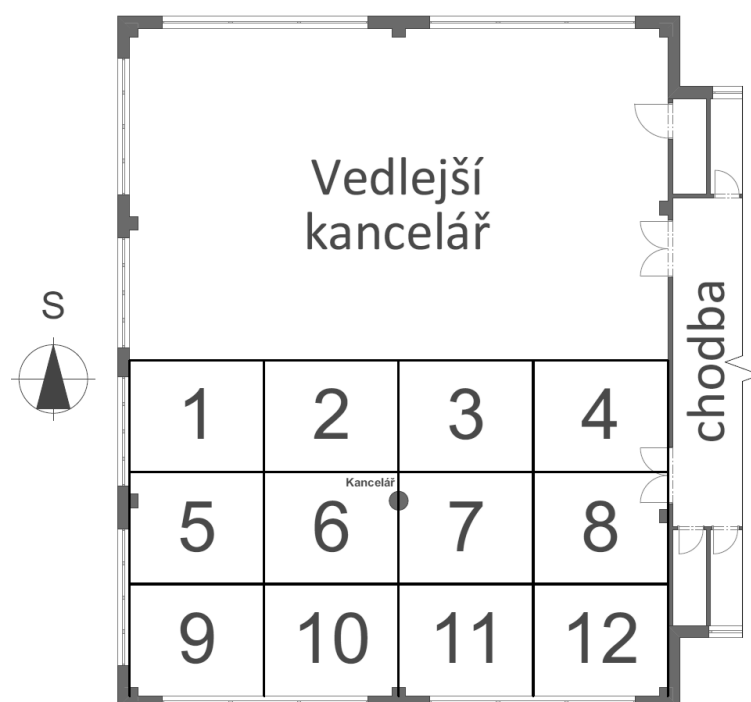


Obr. 60: Průběh obsazenosti kanceláře

13 Dotazníkový průzkum

Dotazníkový průzkum obsahoval deset otázek týkajících se tepelného komfortu a kvality vnitřního prostředí a byl proveden pomocí online vyplňovaných dotazníků, což umožnilo přiřazení odpovědí k naměřeným hodnotám podle času. Celkový počet odpovědí byl 61, z čehož dotazník vyplnili 54-krát muži a 7-krát ženy. Pro hodnocení vnitřního prostředí má také nemalý vliv pohlaví dotazovaných, díky rozdílnému vnímání tepelného komfortu pro muže a ženy. Rozdělení dle pohlaví bylo ovšem kvůli výraznému nepoměru počtu odpovědí zanedbáno.

Při tvorbě dotazníku bylo počítáno také s aktuální pozicí respondenta v prostoru kanceláře. Velkoprostorová kancelář byla rozdělena do dvanácti zón, z nichž každý dotazovaný vybral právě jednu, kde se nachází. Rozdělení na jednotlivé zóny je patrné z Obr. 61.



Obr. 61: Půdorys hodnocené kanceláře - rozdělení na jednotlivé zóny

Po zpracování všech odpovědí se ukázalo, že vyhodnocení dle zón nelze provést z důvodu nedostatečného vzorku odpovědí, což vyplývá z Tab. 21. Získané odpovědi pro tuto otázku nebyly v dalším zpracování použity. V dalším vyhodnocování dotazníkového průzkumu byla, z výše uvedených důvodů, data z prvních dvou otázek zanedbána.

Tab. 21: Počet vyplnění dotazníku v jednotlivé zóně

Zóna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet odpovědí	27	2	12	0	1	4	0	0	2	6	4	3

13.1 Tepelný komfort

První část dotazníkového průzkumu se týkala hodnocení tepelného komfortu v prostoru pracoviště. Jednotlivé otázky byly koncipovány na zjištění tepelného komfortu těla jako celku a následně zpřesněny na dílčí části těla - hlava, ruce a kotníky. Škála nabízených odpovědí kopíruje meze vytyčené normou ČSN EN ISO 7730 pro predikci hodnocení vnitřního prostředí, především ukazatele PMV (předpokládaný střední tepelný pocit) a PPD (předpokládané procento nespokojených), přesněji hodnoty od -3 Zima až po +3 Horko, dle Tab. 22.

Tab. 22 Stupnice hodnocení středního tepelného pocitu

Hodnocení tepelného pocitu						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Zima	Chladno	Mírné chladno	Neutrální	Mírné teplo	Teplo	Horko

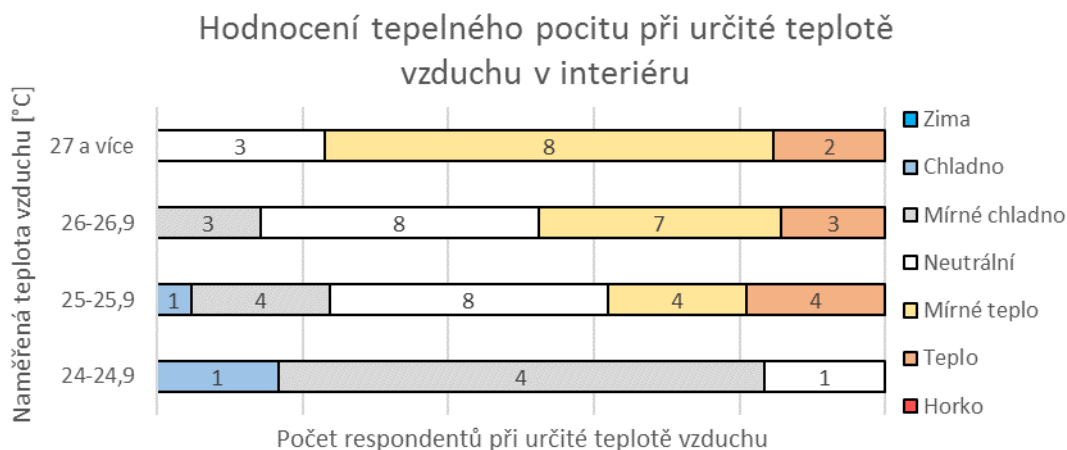
13.1.1 Vnímání teploty vzduchu

Prvním dotazem byl zjišťován aktuální tepelný komfort celého těla. Odpovědi obsahovaly škálu hodnocení od -3 (Zima) až po 3 (Horko). Výsledná data jsou použita pro porovnání s naměřenými teplotami v prostoru kanceláře. Absolutní a relativní četnost jednotlivých odpovědí poskytuje Tab. 23. Z tabulky vyplývá celková neutrálnost tepelného stavu v prostoru kanceláře. Většina odpovědí zahrnuje pocit mírného tepla a neutrální pocit.

Tab. 23 Tabulka četností pro otázku č. 3

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Zima	0	0%
-2	Chladno	2	3%
-1	Mírné chladno	11	18%
0	Neutrální	20	33%
1	Mírné teplo	19	31%
2	Teplo	9	15%
3	Horko	0	0%
Celkem		61	100%

Jednotlivé odpovědi byly rozděleny podle teploty vzduchu v kanceláři (Obr. 62). Z grafu je patrné rozložení jednotlivých odpovědí při daných teplotách. S rostoucí teplotou se snižuje počet hodnocení pocitu jako chladu a naopak zvyšuje počet hodnocení pocitu teplo. Jako optimální teplota vzduchu prostoru dle daných odpovědí se jeví teplota vzduchu kolem 26°C, kdy je zachováno určité procento hodnocení tepelného pocitu jako chlad a naopak.



Obr. 62: Odpovědi dotazníkového šetření – vnímání teploty vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu

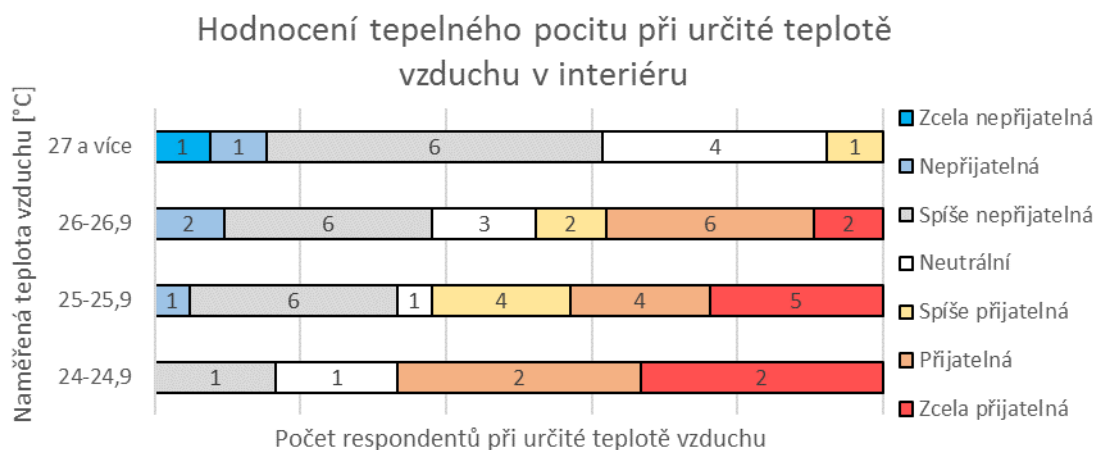
13.1.2 Hodnocení teploty vzduchu

Druhou otázkou, „Tato teplota je pro Vás:“, byla zjišťována míra spokojenosti s aktuální teplotou vzduchu v prostoru. Nabídnutá škála odpovědí zahrnovala hodnocení od -3 (Zcela nepřijatelná) až po 3 (Zcela přijatelná). Výsledné odpovědi byly zpracovány v podobě absolutních a relativních četností do Tab. 24. Z výsledků je zřejmá mírná nespokojenost s teplotou vzduchu v prostoru.

Tab. 24 Tabulka četností pro otázku č. 4

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Zcela nepřijatelná	1	2%
-2	Nepřijatelná	4	7%
-1	Spíše nepřijatelná	19	31%
0	Neutrální	9	15%
1	Spíše přijatelná	7	11%
2	Přijatelná	12	20%
3	Zcela přijatelná	9	15%
Celkem		61	100%

Odpovědi byly rozděleny podle teploty vzduchu v kanceláři viz Obr. 63. Z grafu je patrné rozložení jednotlivých hodnocení při daných teplotách. S rostoucí teplotou se snižuje počet pozitivních odpovědí. Jako optimální teplota vzduchu prostoru dle daných odpovědí se jeví teplota vzduchu do 26°C, kdy je zachován určitý podíl jak spíše pozitivních tak mírně negativních odpovědí.



Obr. 63: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení teploty vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu

13.1.3 Vnímání teploty vzduchu - jednotlivé části těla

Vertikální rozložení teploty vzduchu v prostoru má také zásadní vliv na celkovou spokojenost osob v interiéru. Následuje zpracování otázek č. 5, 6 a 7, týkajících se hodnocení tepelného pocitu v oblasti hlavy, rukou a kotníků. Škála nabízených odpovědí kopíruje hodnocení z otázky č. 3, viz Tab. 22. Podrobné zpracování odpovědí zobrazují tabulky Tab. 25, Tab. 26 a Tab. 27. Dle získaných odpovědí lze vysledovat určitý pokles spokojenosti s teplotou vzduchu směrem k dolním částem těla.

Tab. 25 Tabulka četností pro otázku č. 5

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Zima	0	0%
-2	Chladno	0	0%
-1	Mírné chladno	7	11%
0	Neutrální	29	48%
1	Mírné teplo	19	31%
2	Teplo	6	10%
3	Horko	0	0%
Celkem		61	100%

Tab. 26 Tabulka četností pro otázku č. 6

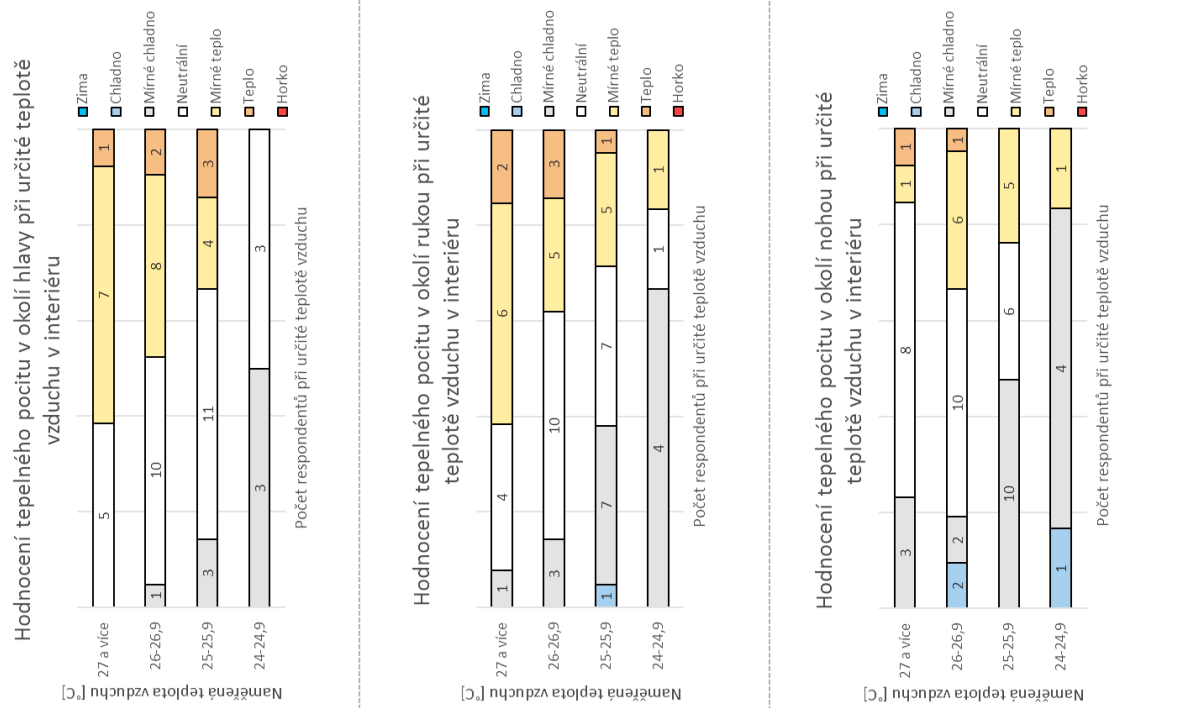
Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Zima	0	0%
-2	Chladno	1	2%
-1	Mírné chladno	15	25%
0	Neutrální	22	36%
1	Mírné teplo	17	28%
2	Teplo	6	10%
3	Horko	0	0%
Celkem		61	100%

Tab. 27 Tabulka četností pro otázku č. 7

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Zima	0	0%
-2	Chladno	3	5%
-1	Mírné chladno	19	31%
0	Neutrální	24	39%
1	Mírné teplo	13	21%
2	Teplo	2	3%
3	Horko	0	0%
Celkem		61	100%

Obr. 64 vystihuje hodnocení teploty vzduchu pro dílčí části těla při kancelářské práci, v závislosti na teplotě vzduchu v prostoru. Obecně lze z obrázku vyvodit klesající trend spokojenosti směrem k dolním částem těla, při stejné naměřené teplotě vzduchu.

Hodnocení tepelného prostředí pro jednotlivé části těla



Obr. 64: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení teploty vzduchu v prostoru pro dílčí části těla při určité teplotě vzduchu

13.2 Kvalita vnitřního vzduchu

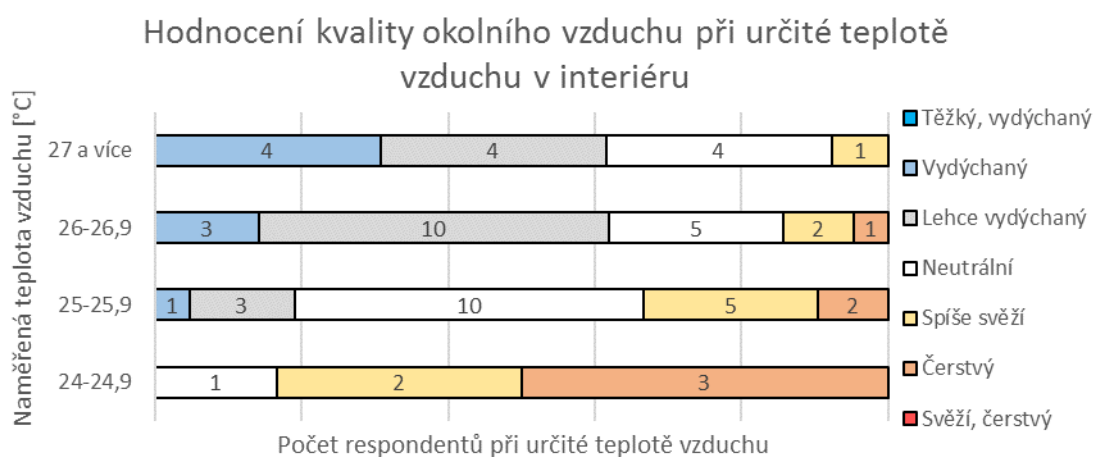
13.2.1 Hodnocení kvality vnitřního vzduchu

Otázkou č. 8 „Jak hodnotíte kvalitu okolního vzduchu“ přecházíme k hodnocení kvality vzduchu ve vnitřním prostředí kanceláře. Otázka je cílena na subjektivní posouzení výměny vzduchu v kanceláři, v rozmezí hodnocení -3 (Těžký, vydýchaný) až 3 (Svěží, čerstvý). Dle Tab. 28 vychází subjektivní pocit všech zaměstnanců na neutrální, až lehce vydýchaný vzduch v kanceláři. Vzduchotechnický systém lze označit jako vhodně navržený.

Tab. 28 Tabulka četností pro otázku č. 8

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Těžký, vydýchaný	0	0%
-2	Vydýchaný	8	13%
-1	Lehce vydýchaný	17	28%
0	Neutrální	20	33%
1	Spíše svěží	10	16%
2	Čerstvý	6	10%
3	Čerstvý, svěží	0	0%
Celkem		61	100%

Z Obr. 65 lze vypořadovat zvýšenou nespokojenost s kvalitou vnitřního vzduchu při zvyšující se teplotě. Pro převážně neutrální hodnocení kvality vzduchu se jeví teplota mezi 25 až 26°C.



Obr. 65: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení kvality vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu

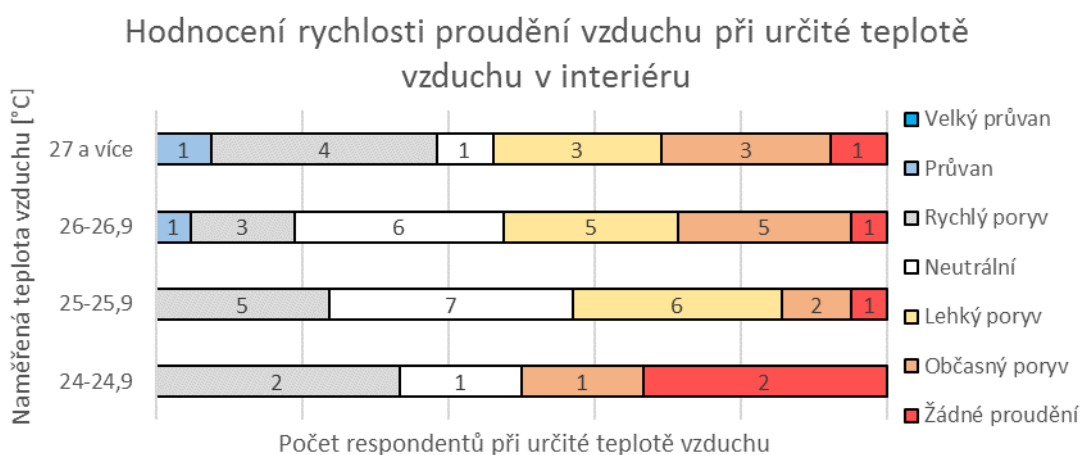
13.2.2 Hodnocení proudění vzduchu v interiéru

Teplný komfort určuje nejen teplota vnitřního vzduchu, ale také rychlost proudění vzduchu. Při vyšších teplotách vzduchu jsme schopni snášet také vyšší rychlosti proudícího vzduchu průvanem nebo ze vzduchotechnické jednotky. Proudění vzduchu je hodnoceno v rozmezí -3 (Velký průvan) až 3 (Žádné proudění vzduchu). Z Tab. 29, znázorňující odpovědi na otázku č. 9, vyplývá subjektivní pocit mírného proudění v interiéru kanceláře. Příliš velká rychlost proudícího vzduchu proto není důvodem k nespokojenosti zaměstnanců.

Tab. 29 Tabulka četností pro otázku č. 9

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Velký průvan	0	0%
-2	Průvan	2	3%
-1	Rychlý poryv	14	23%
0	Neutrální	15	25%
1	Lehký poryv	14	23%
2	Občasný poryv	11	18%
3	Žádné proudění	5	8%
Celkem		61	100%

Závislost jednotlivých odpovědí na naměřené teplotě vzduchu v prostoru je zobrazena na Obr. 66.



Obr. 66: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení proudění vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu

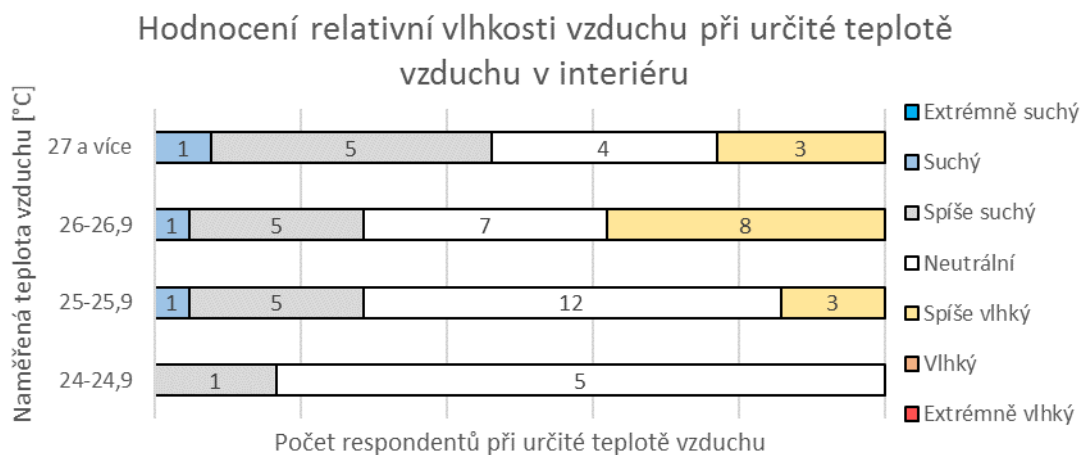
13.2.3 Hodnocení vlhkosti vzduchu

Závěrečnou otázkou dotazníku je otázka č. 10 „Jak hodnotíte vlhkost vzduchu“ zaměřená na prozkoumání subjektivního pocitu z vlhkosti ve vnitřním prostředí. Odpovědi nabízí rozsah hodnocení od -3 (Extrémně suchý) do 3 (Extrémně vlhký). Tab. 30 vystihuje získané odpovědi, kdy se relativní vlhkost vzduchu podle subjektivních pocitů respondentů pohybuje v neutrálním pásmu hodnocení.

Tab. 30 Tabulka četností pro otázku č. 10

Hodnoty		Absolutní četnost	Relativní četnost
-3	Extrémně suchý	0	0%
-2	Suchý	3	5%
-1	Spíše suchý	16	26%
0	Neutrální	28	46%
1	Spíše vlhký	14	23%
2	Vlhký	0	0%
3	Extrémně vlhký	0	0%
Celkem		61	100%

Na Obr. 67 je znázorněna závislost hodnocení relativní vlhkosti vzduchu na naměřené teplotě vzduchu v interiéru velkoprostorové kanceláře.



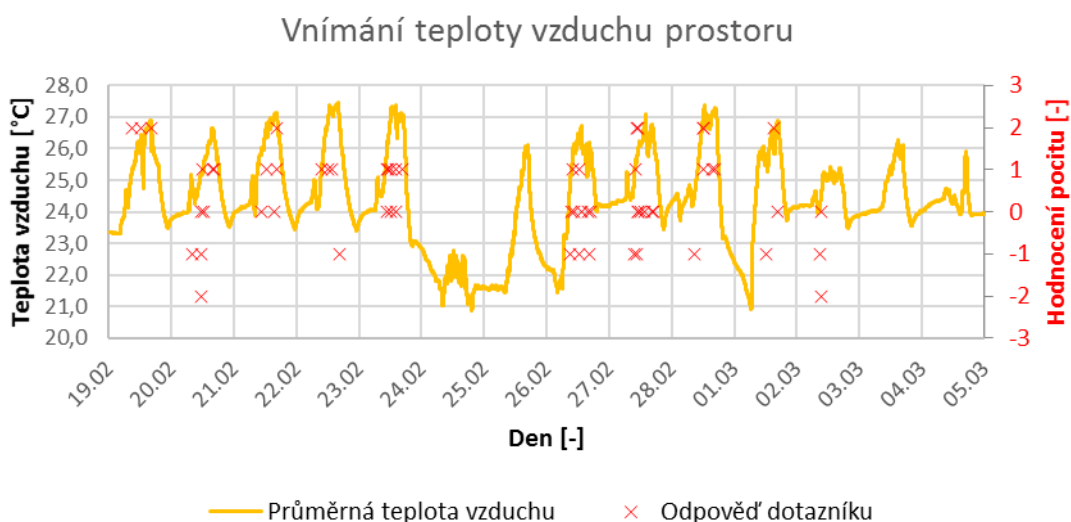
Obr. 67: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení relativní vlhkosti v prostoru při určité teplotě vzduchu

14 Naměřená data v konfrontaci s dotazníkovým průzkumem

Po získání naměřených dat a odpovědí dotazníku bylo možno sestavit průniky těchto dvou částí. Jednotlivé odpovědi dotazníkového průzkumu byly vloženy s ohledem na čas odpovědi do grafů měřených veličin v prostoru kanceláře.

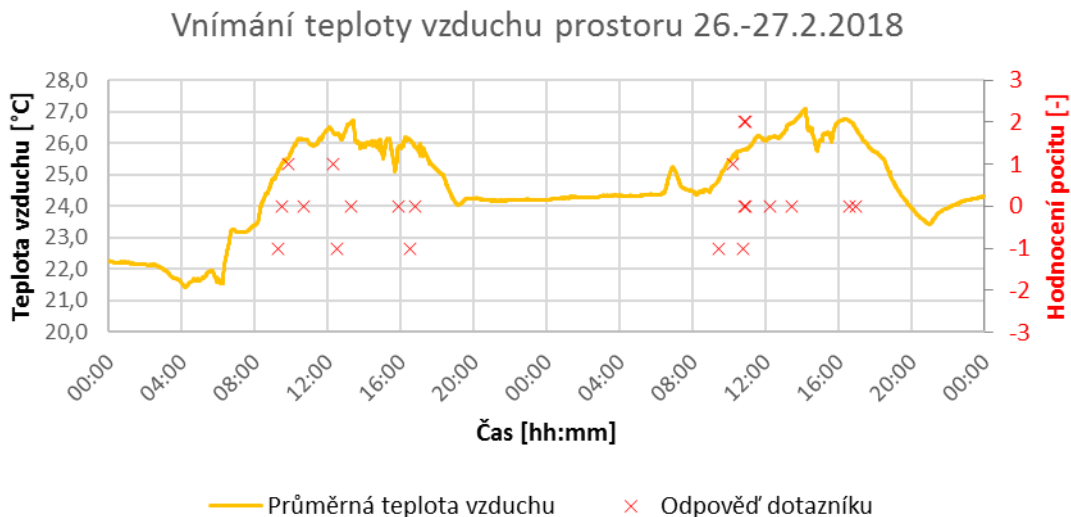
14.1 Vnímání teploty vzduchu

Hodnocení vnímání teploty vzduchu v prostoru kanceláře bylo vloženo do průběhu průměrné naměřené vnitřní teploty vzduchu.



Obr. 68: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu

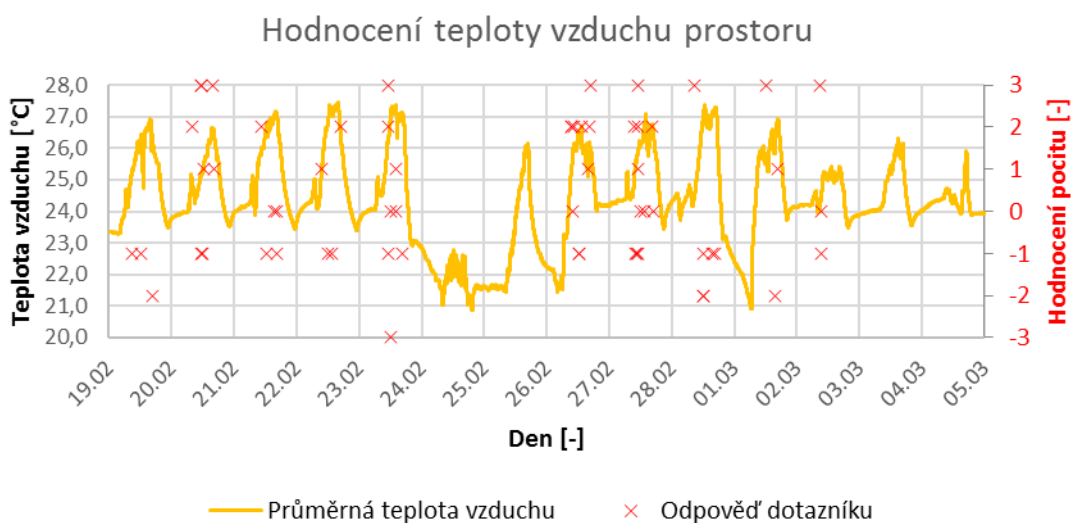
Pro přesnější zobrazení jednotlivých odpovědí byl zvolen výsek dvou dnů na začátku druhého týdne měření. V těchto dnech systémy budovy reagovaly na velmi nízké teploty venkovního vzduchu, a proto lze vysledovat mírně negativní hodnocení tepelného pocitu v prostoru z důvodu nestálosti vnitřního prostředí.



Obr. 69: Výsek dvou dnů z průběhu teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu

14.2 Hodnocení teploty vzduchu

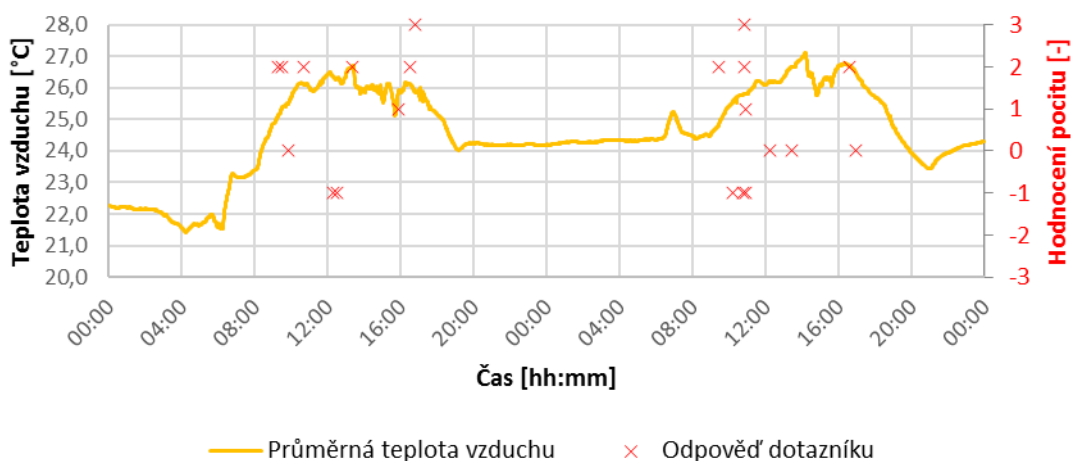
Hodnocení „přijatelnosti“ teploty vnitřního vzduchu z dotazníkového šetření bylo konfrontováno taktéž s průběhem průměrné teploty vzduchu v prostoru.



Obr. 70: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - hodnocení teploty vzduchu

Bližší pohled na konfrontaci odpovědí s průběhem teploty vzduchu zobrazuje Obr. 71. Oproti předchozímu posouzení vnímání teploty (Obr. 69), se odpovědi pohybují převážně v oblasti kladného hodnocení.

Hodnocení teploty vzduchu prostoru 26.-27.2.2018



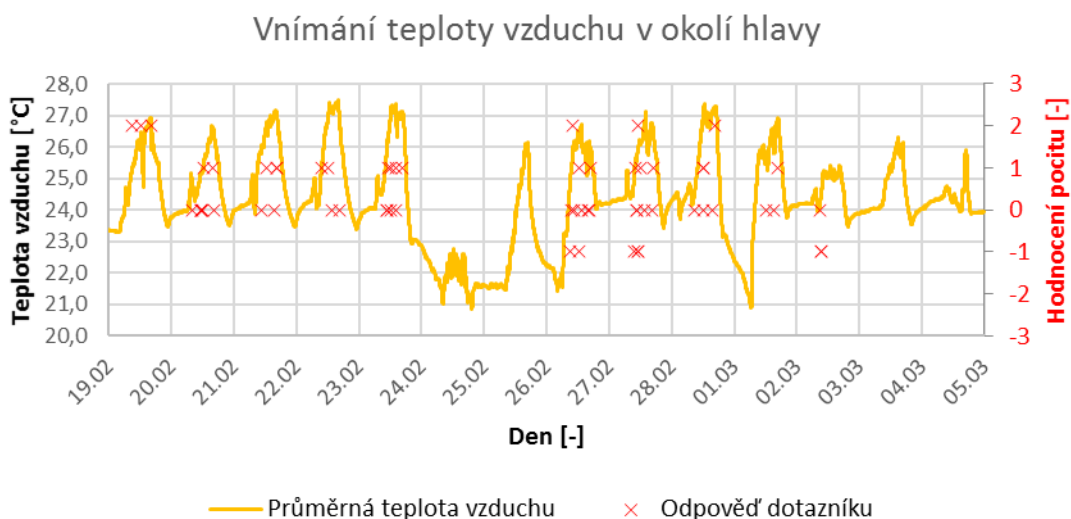
Obr. 71: Výšek dvou dnů z průběhu teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - hodnocení teploty vzduchu

14.3 Vnímání teploty vzduchu pro jednotlivé části těla

Vnímání okolní teploty vzduchu různými částmi těla úzce souvisí s celkovým tepelným komfortem. Zvláště ruce a nohy jsou velmi citlivé na nižší teploty při sedavé administrativní práci.

14.3.1 Vnímání teploty vzduchu v okolí hlavy

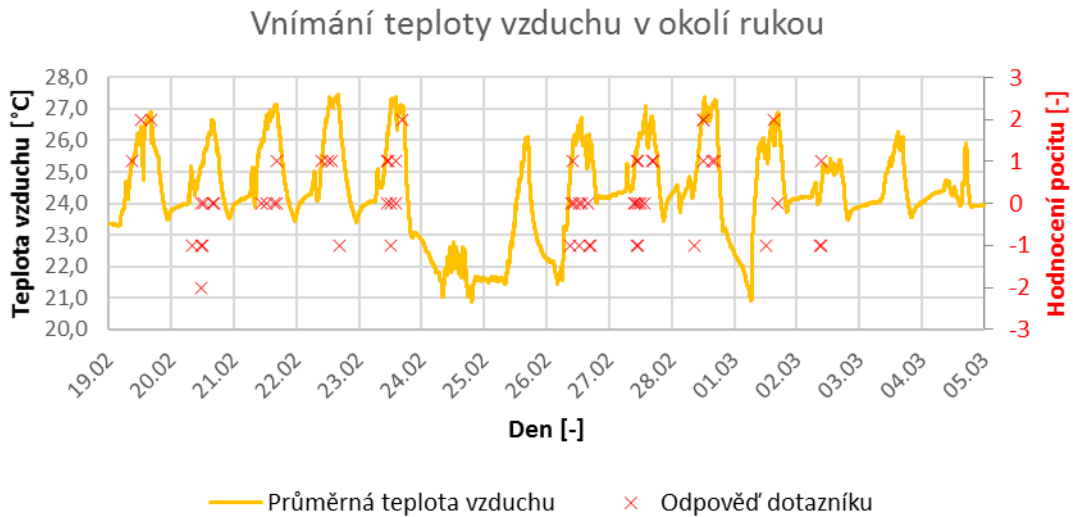
Z Obr. 72 vyplývá převážně neutrální hodnocení teploty vzduchu v okolí hlavy.



Obr. 72: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí hlavy

14.3.2 Vnímání teploty vzduchu v okolí rukou

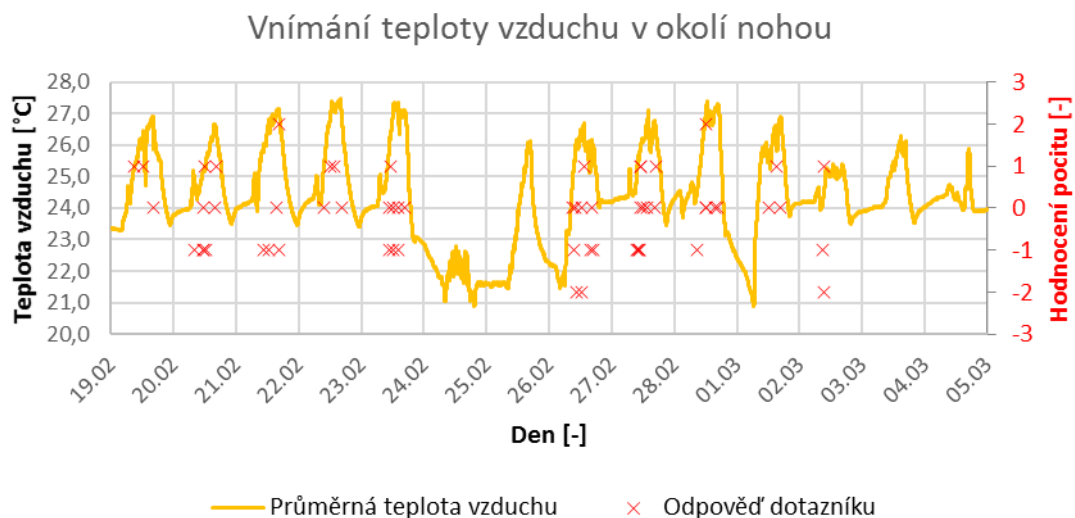
V okolí rukou se vnímání teploty pohybuje v oblasti hodnocení od mírného chladna do mírného tepla. Tento rozptyl může být způsoben různým umístěním jednotlivých pracovišť a tím pádem i odpovědí v celém prostoru, kde například u oken může vzniknout sáláním z chladného povrchu skla oken lokální tepelný diskomfort v oblasti rukou.



Obr. 73: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí rukou

14.3.3 Vnímání teploty vzduchu v okolí nohou

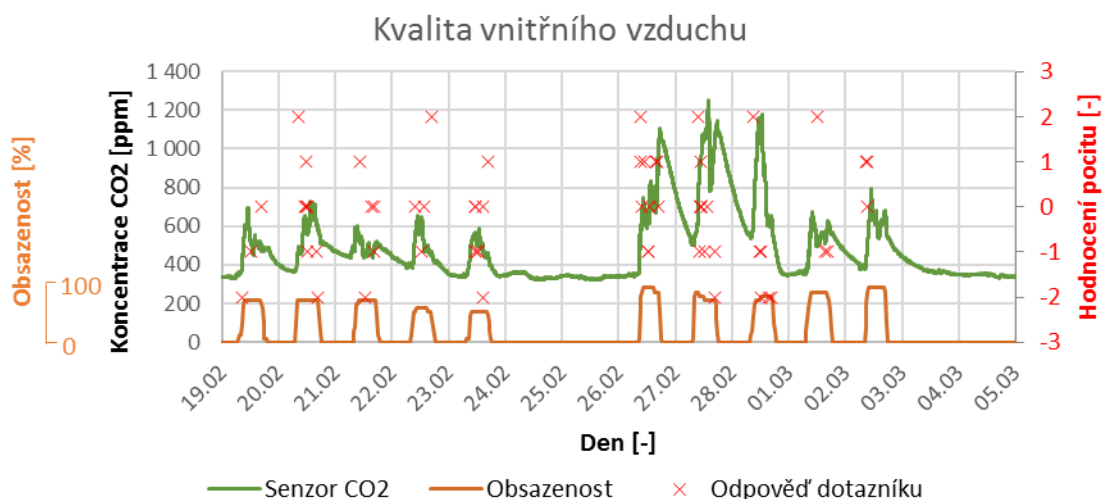
Pro vertikální rozložení vzduchu v prostoru platí, že chladnější vzduch se drží při zemi. Z tohoto důvodu je pravděpodobně vyšší výskyt záporných hodnocení teploty vzduchu v okolí nohou.



Obr. 74: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí nohou

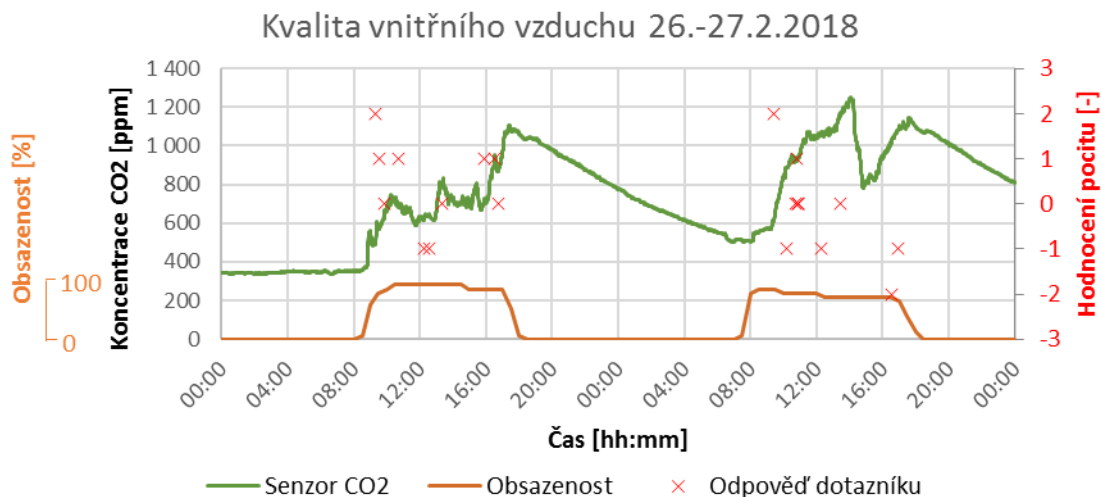
14.4 Hodnocení kvality vnitřního vzduchu

Pro hodnocení kvality vnitřního vzduchu byla jako ukazatel zvolena koncentrace CO₂ v prostoru. Pro konfrontaci naměřené koncentrace CO₂ ve vzduchu s odpověďmi dotazníku byla dále použita i obsazenost prostoru. Plná obsazenost (100%) odpovídá obsazenosti všech 18 pracovních míst v kanceláři. Průběh koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí je ovlivněn obsazeností prostoru a také venkovní teplotou vzduchu. Zatímco v prvním týdnu, kdy teploty oscilovaly od cca -4°C do ca +4°C, se koncentrace CO₂ výrazně neodlišovala pro jednotlivé dny, tak druhý týden tomu bylo naopak. Venkovní teploty vzduchu klesly hlouběji do mínusových hodnot a tím se pravděpodobně podepsaly na odlišném chování (pravděpodobně i odstávce) systému vzduchotechniky, či chování zaměstnanců v interiéru, kdy koncentrace CO₂ výrazně vzrostla v pracovní době.



Obr. 75: Průběh koncentrace CO₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - kvalita vnitřního vzduchu

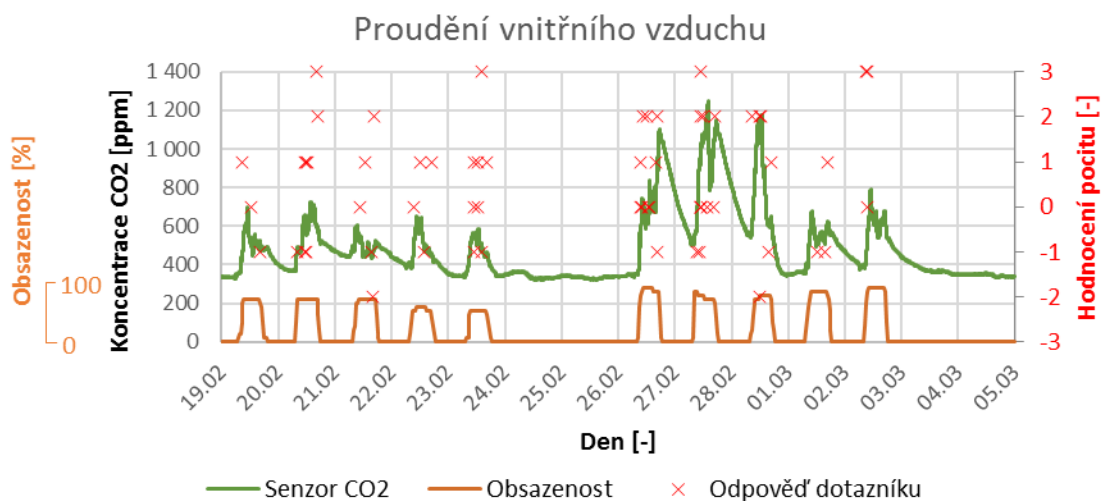
Detailnější pohled na průběh koncentrace CO₂ a hodnocení kvality vnitřního vzduchu v prostoru ukazuje Obr. 76. Druhý den cca po 14 hodině lze vyzorovat rapidní pokles koncentrace CO₂, kdy došlo pravděpodobně k otevření oken a vyvětrání prostoru (VZT systém byl pravděpodobně odstaven). I při nefunkčním systému vzduchotechniky se hodnocení kvality vnitřního vzduchu pohybuje vesměs v poli neutrálních hodnot.



Obr. 76: Výšek dvou dnů z průběhu koncentrace CO₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - kvalita vnitřního vzduchu

14.5 Vnímání proudění vzduchu v prostoru

Vnímání proudění vzduchu je velmi ovlivněno sepnutím vzduchotechnického systému. Negativní odpovědi (mínusové hodnocení - průvan) většinou kopírují sestupné tendence koncentrace CO₂ v prostoru, kdy dochází k větrání.



Obr. 77: Průběh koncentrace CO₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - proudění vnitřního vzduchu

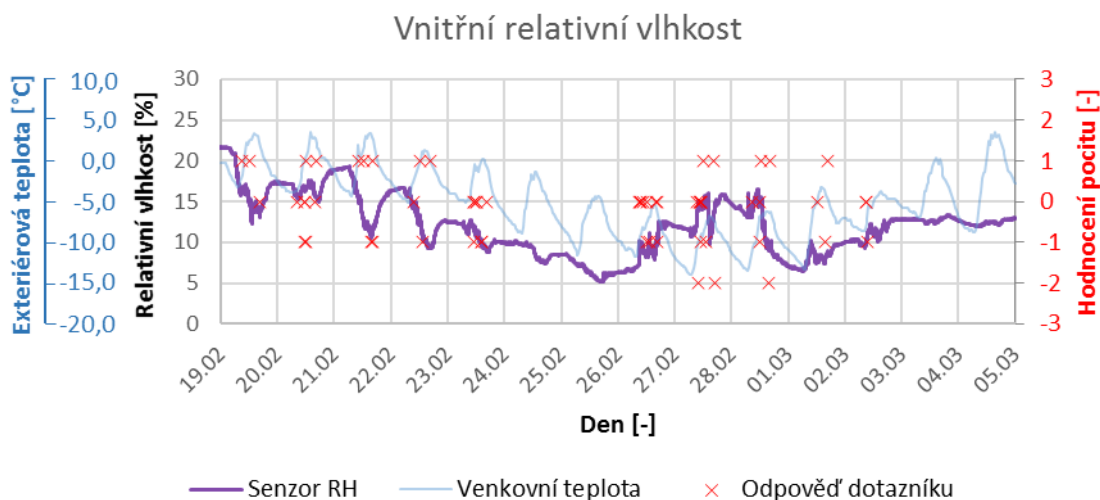
Detailnější pohled na hodnocení proudění vzduchu v prostoru a obsazenosti v průběhu dne, poskytuje výšek dvou pracovních dní na Obr. 78. Při pravděpodobně vypnutém systému nuceného větrání nastává pohyb vzduchu pouze přirozeným větráním, což se podepisuje na nižším hodnocení rychlosti proudění vzduchu (kladné hodnoty = nižší rychlosti proudění).



Obr. 78: Výšek dvou dnů z průběhu koncentrace CO₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - proudění vnitřního vzduchu

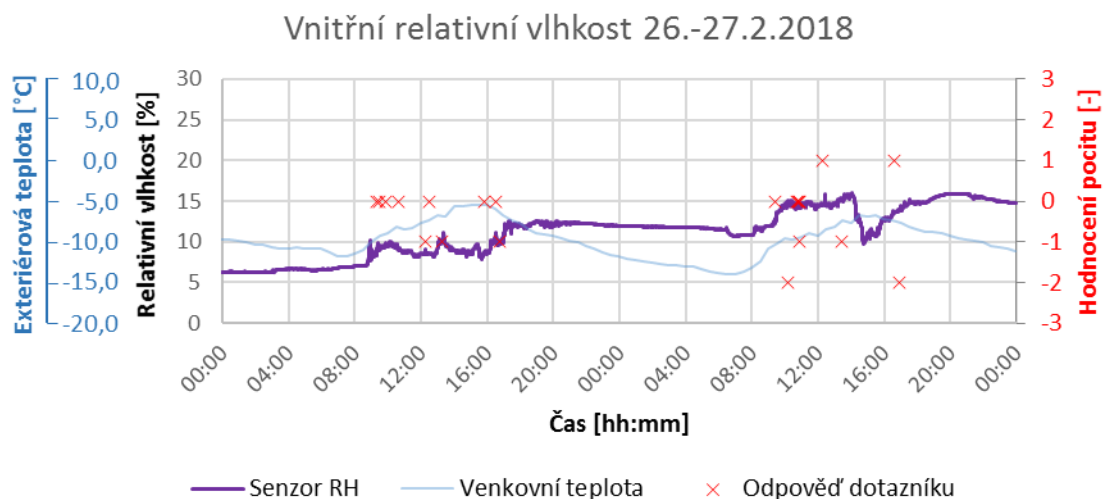
14.6 Hodnocení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu

Při neobsazenosti kanceláře kopíruje relativní vlhkost vnitřního vzduchu průběh venkovní teploty vzduchu, jak je patrné z Obr. 79. Během pracovní doby je zvýšená relativní vlhkost produkována osobami v kanceláři. Hodnocení vlhkosti vzduchu v prostoru se drží v neutrálních mezích



Obr. 79: Průběh relativní vlhkosti a venkovní teploty v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu

Pro názornost hodnocení je na Obr. 80 zobrazen výšek dvou pracovních dnů. I přes velmi nízkou naměřenou relativní vlhkost v prostoru, jsou hodnocení vesměs neutrální.



Obr. 80: Výsek dvou dnů z průběhu vnitřní relativní vlhkosti a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu

15 Hodnocení výsledků měření a dotazníkového průzkumu

Rozložení teploty vzduchu výpočtového modelu na Obr. 26 znázorňuje předpokládané hodnoty v prostoru, které přibližně odpovídají průměrné hodnotě vnitřní teploty vzduchu v prostoru na Obr. 56.

Vypočtený střední tepelný pocit z dotazníkového průzkumu je 0,20 dle Tab. 31. Výpočet jsem zvolil na základě váženého průměru jednotlivých odpovědí. Zvýšená teplota vnitřního vzduchu v reálném měření nemá důsledek na zvýšení středního tepelného pocitu, právě naopak, vyšší teplota je v prostoru udržována záměrně kvůli tepelnému komfortu zaměstnanců.

Tab. 31 Výpočet středního tepelného pocitu z dotazníkového průzkumu

Hodnocení	Počet hodnot pro otázku				Celkem hodnot	Vážený průměr	Vypočtený střední tepelný pocit
	3	5	6	7			
-3	0	0	0	0	0	50	0,20
-2	2	0	1	3	6		
-1	11	7	15	19	52		
0	20	29	22	24	95		
1	19	19	17	13	68		
2	9	6	6	2	23		
3	0	0	0	0	0		

Na základě dotazníkového průzkumu bylo vypočítáno procento odpovědí v dotazníku, kde nebyl dotazovaný spokojen s podmínkami vnitřního prostředí prostoru. Procento nespokojených odpovědí z dotazníkového průzkumu vychází na 13% (viz Tab. 32) z celkového počtu odpovědí v kombinaci všech otázek ohledně podmínek vnitřního prostředí.

Tab. 32 Vypočtené procento nespokojených z dotazníkového průzkumu

Hodnocení	Absolutní četnost	Relativní četnost
Počet nespokojených odpovědí	63	13%
Počet neutrálních a spokojených odpovědí	425	87%
Celkem	488	100%

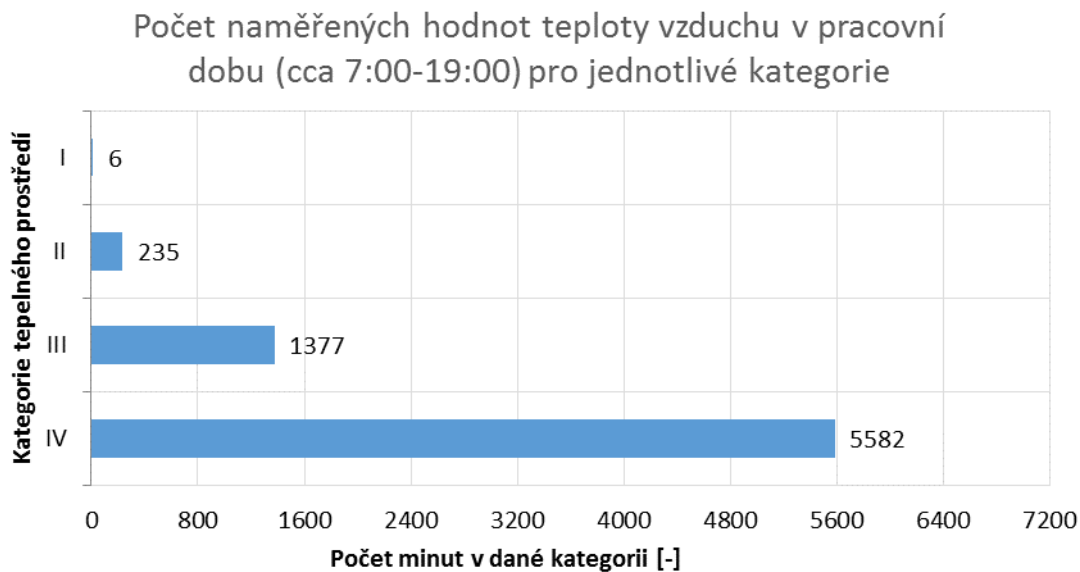
15.1 Zařazení jednotlivých veličin do kategorií vnitřního prostředí

Po změření a definici jednotlivých veličin vnitřního prostředí, je možné použít kritéria normy ČSN EN 15251 pro zatřídění jednotlivých veličin do kategorií vnitřního prostředí.

15.1.1 Zatřídění prostředí pro teplotu vzduchu

Jak již bylo zmíněno, průměrná teplota vzduchu v kanceláři se v pracovní době pohybuje okolo 26°C. Pro zatřídění vnitřního prostředí z hlediska teploty vzduchu je možné použít Tab. 1, kdy je zjednodušeně uvažováno, že operativní teplota = naměřená teplota vzduchu. Z této tabulky plyne hodnocení vnitřního prostředí jako kategorie I, kdy prostor splňuje minimum pro vytápění v zimním období v této kategorii.

Další hodnotící škálou je teplotní rozsah pro vytápění dle Tab. 12. Naměřená teplota vzduchu v tomto případě nesplňuje žádnou uvedenou kategorii, a proto spadá mimo hodnocení do kategorie IV. Obr. 81 znázorňuje jednotlivé počty naměřených hodnot teploty vnitřního vzduchu pro jednotlivé kategorie kvality tepelného prostředí. Drtivá většina hodnot se nachází v kategorii IV.

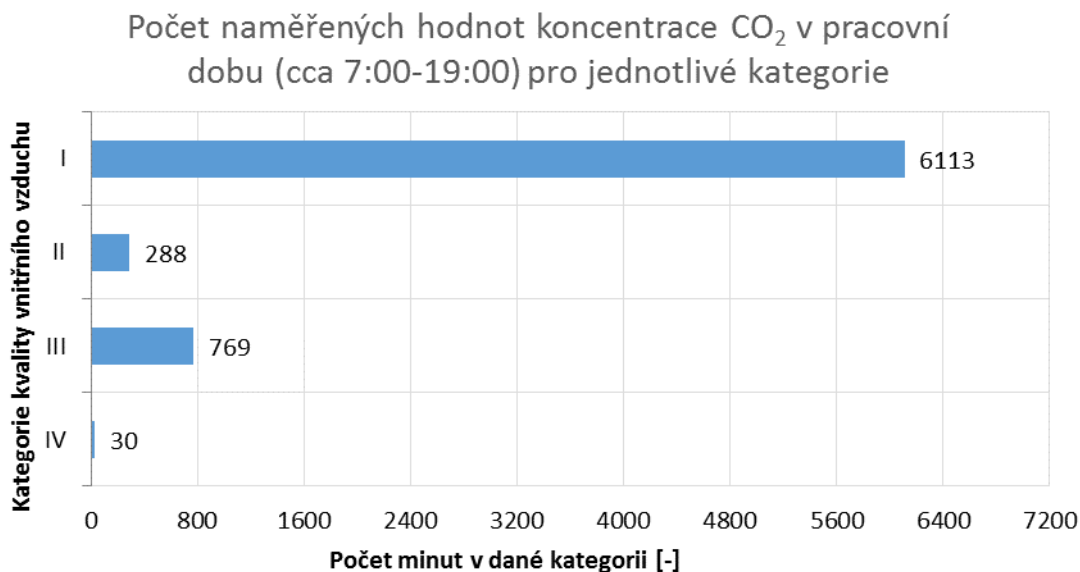


Obr. 81: Počet naměřených hodnoty teploty vzduchu v pracovní době pro jednotlivé kategorie tepelného prostředí

15.1.2 Zatížení prostředí pro hodnoty koncentrace CO₂

Hodnocení koncentrace CO₂ z Tab. 6 uvažuje hodnoty zvýšené nad venkovní koncentraci. Koncentrace oxidu uhličitého v běžném venkovním prostoru se pohybuje okolo 400 ppm. [21]

Z výše naměřených údajů vyplývá koncentrace CO₂ v kanceláři, při běžném provozu, v rozmezí 500 až 700 ppm v pracovní době. Při odečtení oněch 400 ppm vychází hodnocený prostor v kategorii I, kdy splňuje limit koncentrace CO₂ do 350 ppm nad venkovní koncentrací CO₂. Obr. 82 znázorňuje jednotlivé počty naměřených hodnot koncentrace CO₂ pro jednotlivé kategorie kvality vnitřního vzduchu.



Obr. 82: Počet naměřených hodnoty koncentrace CO₂ v pracovní době pro jednotlivé kategorie kvality vnitřního vzduchu

15.1.3 Zatřídění vypočtených parametrů tepelného komfortu

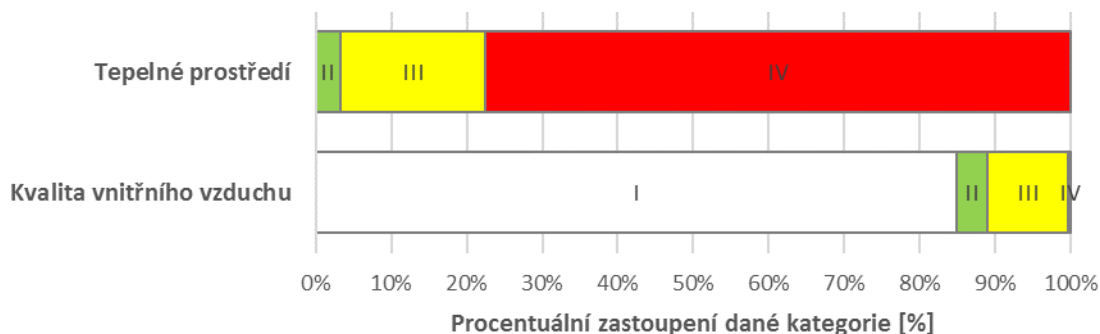
Při zjednodušeném výpočtu parametrů tepelného komfortu lze tak uvažovat o zatřídění do určité kategorie vnitřního prostředí. Střední tepelný pocit v prostoru byl vypočten na 0,2, tedy téměř neutrální. Dle Tab. 7 lze zatřídít, z pohledu středního tepelného pocitu, posuzovaný prostor do kategorie I. Vypočtené procento nespokojených odpovědí v tomto prostoru dosahuje až rozmezí pro kategorii III.

15.2 Souhrnné zatřídění do kategorie vnitřního prostředí

Zatřídění jednotlivých změřených a vypočtených veličin do kategorií je velmi rozdílné, a proto se výsledná kategorie určuje s obtížemi.

Pokud uvážím skutečnost, že i při velmi vysoké teplotě vzduchu v prostoru vychází střední tepelný pocit zaměstnanců téměř neutrální, lze považovat tepelný komfort v kanceláři v kategorii I. Co se týče procentuální výše nespokojených odpovědí, zde mohlo hrát roli mnoho dalších faktorů, které nejsou součástí této práce, například psychická či fyzická pohoda, hluk, vysoké proudění vzduchu atd. Z hlediska kvality vnitřního vzduchu je prostor jednoznačně v kategorii I.

Kvalita vnitřního prostředí v % času ve čtyřech kategoriích



Obr. 83: Klasifikace tepelného prostředí a kvality vnitřního vzduchu

Po uvážení jednotlivých naměřených a vypočtených veličin tepelného komfortu a kvality vnitřního vzduchu lze posuzovaný kancelářský prostor zařadit do kategorie I - Vysoká úroveň očekávání dle ČSN EN 15251, z čehož vyplývá i vysoká spokojenost zaměstnanců s vnitřním prostředím v kanceláři.

16 Diskuze

16.1 Nejistoty měření

Každé měření může obsahovat určité nejistoty a odchylky od skutečného stavu. Na jednu stranu může být chyba v přístroji, ať již špatná konstrukce nebo určité stárnutí měřícího přístroje a zanedbaná údržba. Na stranu druhou mohou odchylky vznikat již při přenosu signálu ze senzoru do měřící ústředny, například úbytkem napětí při velmi dlouhých přenosových kabelech.

Druhou kapitolou chyb jsou odchylky způsobené exteriérovými podmínkami v době měření. Zejména sluneční záření může výrazně ovlivnit měření teploty vzduchu v interiéru i exteriéru, kdy dojde k dopadu slunečního záření na plochu senzoru, k jeho zahřátí a následnému přenosu chybné hodnoty teploty vzduchu. Naopak vítr či průvan v interiéru, mohou způsobit nežádoucí ochlazení teplotního senzoru a odesílat tak nižší teploty vzduchu než ve skutečnosti jsou v prostoru. Také technické systémy budov mohou výrazně ovlivnit výsledky měření. Například umístění senzoru CO₂ pod vyústku vzduchotechnického systému nepřinese kýžený pohled na reálné hodnoty v prostoru. Při spuštění VZT jednotky bude vidět na datech velmi rychlý skok z vysoké koncentrace CO₂ do nízké, což se ve zbytku prostoru bude

měnit výrazně pomaleji. Vhodné umístění všech senzorů v měřeném prostoru je klíčové pro správné měření všech potřebných dat.

Nejvýraznější a nejhůře předvídatelnou odchylku v měření však působí samotní uživatelé prostoru. Ať již pro měřicí aparaturu vybereme nejvhodnější místo, bez výše popsaných možných nežádoucích vnějších vlivů, pořád zůstává faktor přítomnosti a pohybu člověka v prostoru velkou neznámou.

16.2 Nejistoty dotazníkového průzkumu

Dotazníkový průzkum vypovídá o pocitech osob zdržujících se v daném prostoru. Při porovnání odpovědí s naměřenými daty lze jednoduše vyvodit určité závěry ohledně vnitřního prostředí prostoru. Data z dotazníků mohou ovšem skrývat mnoho odchylek, mezi které patří například momentální psychický a fyzický stav jedince nebo pečlivost při vyplňování. V některých případech může být na škodu i přílišné přemýšlení nad odpovědí, kdy dotazovaný nedá na tzv. „první pocit“ (obvykle žádoucí).

V neposlední řadě ovlivňuje výslednou odpověď také formulace otázky. Každý uvažujeme jinak, a proto i ty zdánlivě nejzákladnější otázky mohou skrývat více úhlů pohledu na daný problém a tím ovlivnit výsledné hodnocení.

16.3 Hodnocení výpočetního modelu versus hodnocení získaných dat

Pomocí výpočetního softwaru a CFD simulace byl posuzovaný prostor zařazen do druhé kategorie vnitřního prostředí. Naopak z naměřených hodnot a dopočtených parametrů z dotazníkového průzkumu, bylo vnitřní prostředí zhodnoceno kategorií I. Hlavní rozdíl vidím v komplexním hodnocení simulačního nástroje, který vzal potaz nejen tepelný komfort, ale také proudění vzduchu a další aspekty vnitřního prostředí. Dalším faktorem může být vysoká teplota vzduchu v prostoru, která je simulačním softwarem brána negativně, avšak z dotazníkového průzkumu vyplývá většinová spokojenost s vyššími teplotami vzduchu.

Samotné hodnocení však není výsledkem předepsané metodiky, nýbrž výsledkem racionálního uvážení všech hodnocených parametrů.

16.4 Úsporná opatření

Z naměřených dat lze doporučit určitá úsporná opatření v oblasti spotřeby energií. Naměřená teplota v prostoru se pohybovala okolo 25-27°C během pracovní doby a mimo pracovní dobu neklesla pod 23°C (vyjma skokového poklesu venkovní teploty vzduchu, na který pravděpodobně nestihla otopná soustava včas reagovat). Hlavní úspory energií by tedy mohly vzniknout při regulaci teploty v prostoru mimo pracovní dobu.

16.5 Certifikace vnitřního prostředí

Nejjednodušší hodnocení vnitřního prostředí v sobě zahrnuje průkaz energetické náročnosti budovy. Parametry vnitřního prostředí jsou zde zahrnuty pouze povrchově – např. průměrná teplota v budově, průtok vzduchu ve vzduchotechnické jednotce, případně velké tepelné zisky od specifických spotřebičů. Podrobnější parametry nejsou vzhledem k požadavkům na průkaz ENB zkoumány.

Detailní hodnocení vnitřního prostředí se zabývá parametry jako tepelná kritéria pro zimu, tepelná kritéria pro léto, kritéria kvality vzduchu a větrání, kritéria osvětlení, či akustická kritéria. Souhrnným posouzením těchto parametrů dostaneme velmi přesnou představu o fungování posuzovaného prostoru v závislosti na různých podmínkách v exteriéru. Vnitřní prostředí lze klasifikovat z hlediska návrhových kritérií pro každý parametr, výpočtů ve specializovaných softwarech nebo přímým měřením (týdenní, měsíční, roční) jednotlivých ukazatelů.

V současné době neexistuje jednotná metodika pro certifikaci vnitřního prostředí jako celku. Použitím vhodných počítačových simulací a nastavením smysluplných okrajových podmínek, by bylo možno takovou certifikaci zavést, například stupnicí podobnou stupnici hodnocení u průkazu ENB. Ve výstupech by samozřejmě bylo vhodné zohlednit nereálnost dosažení ideálních podmínek v celém hodnoceném prostoru a určit tak jistou míru tolerance vztáženou například na plochu či objem.

17 Závěr

Práce přibližuje problematiku hodnocení tepelného komfortu v administrativních prostorách podle postupů uvedených v dostupných technických normách za pomoci simulačního softwaru, měření na místě a dotazníkového průzkumu. Vyčíslením parametrů celkového tepelného pocitu a stupně diskomfortu na základě Fangerova modelu lze interpretovat tepelný komfort pomocí výpočtu indexu PMV a indexu PPD. Dále lze stanovit kritéria místního tepelného komfortu určující environmentální podmínky, považované za přijatelné, pro celkový tepelný komfort nebo představující místní diskomfort.

Na základě výsledků z výpočtového modelu, naměřených dat a vypočtených parametrů pro posouzení tepelného komfortu lze zhodnotit dané prostředí velkoprostorové kanceláře administrativní budovy jako plně vyhovující, dosahující běžné až vysoké úrovně kvality vnitřního prostředí.

Seznam literatury a podkladů

- [1] ČSN EN ISO 7730. *Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] ČSN EN 15251. *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0928-0.
- [4] JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov*. Praha: České vysoké učení technické, 1986.
- [5] *Vnitřní prostředí budov: (stavební kniha)*. Brno: EXPO DATA, 2001. ISBN 80-7293-023-0.
- [6] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [7] RUBINOVÁ, Olga. *Proudění vzduchu - Nucené větrání [přednáška]*. In: Brno, 2012 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/A_VZT%2008_09.pdf
- [8] *Mapy.cz [online]*. Mapy.cz [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4038998&y=50.0158861&z=18&base=ophoto>
- [9] BOCHŇÁK, Miroslav. *Projektová dokumentace 2N Modřany*. Praha, 2005.
- [10] *Průkaz energetické náročnosti budovy dle vyhl. 78/2013 Sb.: Administrativní budova Pod Vinicí 2028/20, 143 00 Praha 4 - Modřany*. Praha, 2015.
- [11] Český hydrometeorologický ústav [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>
- [12] *Hluková mapa Prahy*. Geoportal Praha [online]. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2013 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://mpp.praha.eu/app/map/atlas-zivotniho-prostredi/cs/hlukova-mapa>
- [13] DesignBuilder Software Ltd. *DesignBuilder 4.6.0.015 [software]*. [Licence: EnergySim s.r.o]. Dostupné z: www.designbuilder.co.uk. Požadavky na systém: PC Windows 2000, XP, Vista, 7; 1000 MHz procesor, 1 GB RAM; 200MB místa na disku, grafická karta s podporou OpenGL a 32-bit barev.
- [14] DUŠKA, M., DRKAL, F., LAIN, M. *Tepelné zisky z vnitřních vybavení administrativních budov*. In *Klimatizace a větrání - sborník přednášek*, Praha 2004, s.7 - 1
- [15] *Nařízení vlády č. 93/2012 Sb.: Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.* In: Praha: Parlament České republiky, 2012, ročník 2012, číslo 93.

- [16] *Měřicí, záznamová a řídicí ústředna MS5D. Comet System s.r.o.. Technický list výrobku.*
- [17] *Čidlo oxidu uhličitého. Protronix s.r.o.. Katalogový list výrobku.*
- [18] *Logger S3541. Záznamník teploty a relativní vlhkosti. Comet System s.r.o.. Technický list výrobku.*
- [19] *Meteostanice - Praha 5, Velká Chuchle. In-počasí [online]. c2017 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=praha_ch*
- [20] *Stanice - Praha - Libuš. In-počasí [online]. c2017 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_libus*
- [21] *Globally Averaged CO2 Levels Reach 400 parts per million in 2015. In: World Meteorological Organization [online]. World Meteorological Organization (WMO), 2016 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/globally-averaged-co2-levels-reach-400-parts-million-2015>*

Seznam obrázků

Obr. 1: Subjektivní pocit lidí při pobytu v prostoru s klimatizací a bez klimatizace [3]	12
Obr. 2: PPD jako funkce PMV [1]	15
Obr. 3: Rychlost proudění vzduchu pro vyrovnání zvýšené teploty vzduchu [1]	23
Obr. 4: Limitní rychlosti proudění vzduchu v prostoru pro zajištění tepelného komfortu [7]	23
Obr. 5: Místní diskomfort způsobený vertikálním rozdílem teploty vzduchu [1]	27
Obr. 6: Místní tepelný diskomfort způsobený teplými nebo chladnými podlahami [1]	28
Obr. 7: Asymetrie radiační teploty [5]	29
Obr. 8: Místní tepelný diskomfort způsobený asymetrií radiační teploty [1]	30
Obr. 9: Budova C s vyznačenou posuzovanou kancelář [8]	31
Obr. 10: Poloha objektu [8]	31
Obr. 11: Schéma půdorysu hodnocené kanceláře.....	33
Obr. 12: Průměr minimálních denních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]	33
Obr. 13: Histogram průměrných denních minimálních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]	34
Obr. 14: Průměr maximálních denních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]	34
Obr. 15: Histogram průměrných denních maximálních teplot vzduchu pro roky 2015-2017 [11]	35
Obr. 16: Hluková mapa oblasti – den (6:00 – 22:00) [12].....	35
Obr. 17: Výpočtový model vybrané kanceláře [13]	36
Obr. 18: Porovnání teplotních dat naměřených meteostanicí ve Velké Chuchli a databází z programu DesignBuilder [11, 13]	38
Obr. 19: Teplotní data z databáze softwaru DesignBuilder pro Prahu-Libuš pro typický rok [13]	39
Obr. 20: Zvolený výpočtový týden pro simulaci CFD [13].....	39
Obr. 21: Výsledky hodinové simulace [13]	41
Obr. 22: Okrajové podmínky CFD simulace - průtoky vzduchu [13].....	42
Obr. 23: Okrajové podmínky CFD simulace - teploty povrchů [13]	43
Obr. 24: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – příčné řezy [13]	44
Obr. 25: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – podélné řezy [13]	44
Obr. 26: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – rovina hlavy sedící osoby [13].....	45
Obr. 27: Výpočet CFD - rozložení teploty vzduchu – pohled shora na 3D kontury [13]	45
Obr. 28: Výpočet CFD - rozložení střední radiační teploty – příčné řezy [13]	46
Obr. 29: Výpočet CFD - rozložení střední radiační teploty – podélné řezy [13]	47
Obr. 30: Výpočet CFD - rozložení střední radiační teploty – rovina hlavy sedící osoby [13]	47
Obr. 31: Výpočet CFD - rozložení střední radiační teploty – pohled shora na 3D kontury [13]	48
Obr. 32: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – příčné řezy [13]	49
Obr. 33: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – podélné řezy [13]	49
Obr. 34: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – rovina hlavy sedící osoby [13].....	50
Obr. 35 Výpočet CFD - rozložení operativní teploty – pohled shora na 3D kontury [13]	50
Obr. 36: Výpočet CFD - rozložení operativní teploty v úrovni kotníků [13].....	52
Obr. 37: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – příčné řezy [13]	53
Obr. 38: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – podélné řezy [13]	53
Obr. 39: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – rovina hlavy sedící osoby [13].....	54
Obr. 40: Výpočet CFD - rychlost proudění vzduchu v interiéru – rovina hlavy stojící osoby [13]	54
Obr. 41: Výpočet CFD – rychlost proudění vzduchu v interiéru – pohled shora na 3D kontury [13]	55
Obr. 42: Výpočet CFD - ukazatel PMV – příčné řezy [13]	56
Obr. 43: Výpočet CFD - ukazatel PMV – podélné řezy [13]	56
Obr. 44: Výpočet CFD - ukazatel PMV – rovina hlavy sedící osoby [13]	57
Obr. 45: Výpočet CFD – ukazatel PMV – pohled shora na 3D kontury [13].....	57
Obr. 46: Výpočet CFD - ukazatel PPD – příčné řezy [13].....	58
Obr. 47: Výpočet CFD - ukazatel PPD – podélné řezy [13]	59
Obr. 48: Výpočet CFD - ukazatel PPD – rovina krku sedící osoby [13].....	59
Obr. 49: Výpočet CFD – ukazatel PPD – pohled shora na 3D kontury [13].....	60
Obr. 50: Porovnání průběhů měření jednotlivých čidel pro teploty vzduchu	63
Obr. 51: Znázornění odchylky jednotlivých čidel pro měření.....	63
Obr. 52: Průběh venkovní teploty vzduchu v době provádění měření [19]	64
Obr. 53: Doba slunečního svitu - meteorologická stanice Praha - Libuš [20].....	65

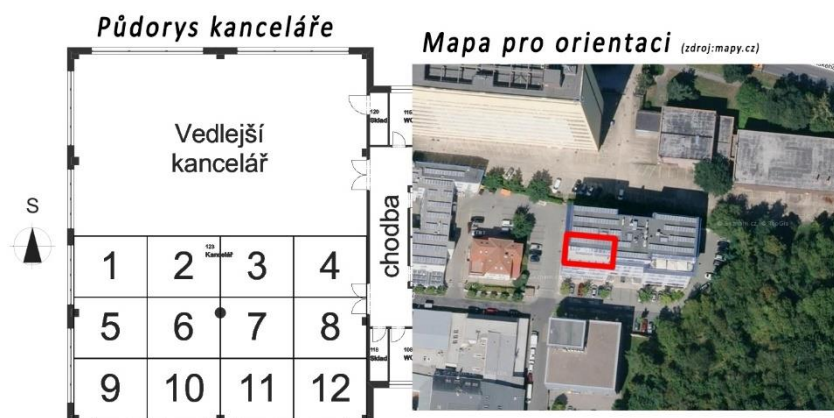
Obr. 54: Průběh naměřených teplot vnitřního vzduchu v kanceláři	65
Obr. 55: Upravené průběhy naměřených teplot vnitřního vzduchu v kanceláři	66
Obr. 56: Průběh průměrné teploty vzduchu z naměřených a upravených hodnot.....	66
Obr. 57: Počty jednotlivých teplot v pracovní době po dobu dvou pracovních týdnů.....	67
Obr. 58: Průběh naměřených hodnot koncentrace CO ₂	68
Obr. 59: Průběh naměřených hodnot relativní vnitřní vlhkosti.....	69
Obr. 60: Průběh obsazenosti kanceláře.....	69
Obr. 61: Půdorys hodnocené kanceláře - rozdělení na jednotlivé zóny	70
Obr. 62: Odpovědi dotazníkového šetření – vnímání teploty vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu	72
Obr. 63: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení teploty vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu	73
Obr. 64: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení teploty vzduchu v prostoru pro dílčí části těla při určité teplotě vzduchu	75
Obr. 65: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení kvality vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu ..	76
Obr. 66: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení proudění vzduchu v prostoru při určité teplotě vzduchu	77
Obr. 67: Odpovědi dotazníkového šetření – hodnocení relativní vlhkosti v prostoru při určité teplotě vzduchu ..	78
Obr. 68: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu	79
Obr. 69: Výsek dvou dnů z průběhu teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu	80
Obr. 70: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - hodnocení teploty vzduchu	80
Obr. 71: Výsek dvou dnů z průběhu teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - hodnocení teploty vzduchu	81
Obr. 72: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí hlavy	81
Obr. 73: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí rukou	82
Obr. 74: Průběh průměrné teploty vzduchu v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - vnímání teploty vzduchu v okolí nohou	82
Obr. 75: Průběh koncentrace CO ₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - kvalita vnitřního vzduchu	83
Obr. 76: Výsek dvou dnů z průběhu koncentrace CO ₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - kvalita vnitřního vzduchu	84
Obr. 77: Průběh koncentrace CO ₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - proudění vnitřního vzduchu	84
Obr. 78: Výsek dvou dnů z průběhu koncentrace CO ₂ a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu - proudění vnitřního vzduchu	85
Obr. 79: Průběh relativní vlhkosti a venkovní teploty v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu	85
Obr. 80: Výsek dvou dnů z průběhu vnitřní relativní vlhkosti a obsazenosti prostoru v konfrontaci s odpověďmi dotazníkového průzkumu.....	86
Obr. 81: Počet naměřených hodnoty teploty vzduchu v pracovní době pro jednotlivé kategorie tepelného prostředí.....	88
Obr. 82: Počet naměřených hodnoty koncentrace CO ₂ v pracovní době pro jednotlivé kategorie kvality vnitřního vzduchu	89
Obr. 83: Klasifikace tepelného prostředí a kvality vnitřního vzduchu	90

Seznam tabulek

Tab. 1 Doporučené návrhové hodnoty operativní teploty pro návrh budov a vytápěcích, větracích a klimatizačních zařízení [1]	13
Tab. 2 Sedmibodová stupnice tepelných pocitů [1]	14
Tab. 3 Rozložení hodnocení individuálního tepelného pocitu pro různé hodnoty středního tepelného pocitu [1]	15
Tab. 4 Příklady návrhových úrovní osvětlenosti [6].....	18
Tab. 5 Návrhové hodnoty hladiny akustického tlaku A [2].....	19
Tab. 6 Doporučené koncentrace CO ₂ nad koncentrací CO ₂ ve venkovním vzduchu [2].....	20
Tab. 7 Kategorie tepelného prostředí [2]	21
Tab. 8 Požadované průtoky větracího vzduchu pro ředění emisí od osob pro různé kategorie [2].....	21
Tab. 9 Průtoky větracího vzduchu pro odvod emisí z budovy [2].....	21
Tab. 10 Doporučené průtoky větracího vzduchu pro nebytové budovy pro standardní obsazenost a tři kategorie znečištění budovy [2].....	22
Tab. 11 Hodnoty tepelné izolace při kombinaci typických částí oděvu [1]	24
Tab. 12 Teplotní rozsah pro hodinové výpočty energie na vytápění a chlazení pro tři kategorie vnitřního prostředí [2]	25
Tab. 13: Okrajové podmínky výpočtového modelu [14]	40
Tab. 14: Přípustná zátěž teplem na pracovišti [15]	51
Tab. 15: Přípustný horizontální rozdíl teploty na úrovni hlavy a na úrovni kotníků [15]	51
Tab. 16 Kategorie tepelného prostředí [1]	61
Tab. 17 Hodnocení místního diskomfortu	61
Tab. 18 Základní technické parametry mařic a záznamové ústředny MS5D [16].....	62
Tab. 19 Základní technické parametry senzoru koncentrace CO ₂ [17].....	62
Tab. 20 Základní technické parametry čidla relativní vlhkosti [18]	62
Tab. 21: Počet vyplnění dotazníku v jednotlivé zóně	71
Tab. 22 Stupnice hodnocení středního tepelného pocitu	71
Tab. 23 Tabulka četností pro otázku č. 3	71
Tab. 24 Tabulka četností pro otázku č. 4	72
Tab. 25 Tabulka četností pro otázku č. 5	73
Tab. 26 Tabulka četností pro otázku č. 6	74
Tab. 27 Tabulka četností pro otázku č. 7	74
Tab. 28 Tabulka četností pro otázku č. 8	76
Tab. 29 Tabulka četností pro otázku č. 9	77
Tab. 30 Tabulka četností pro otázku č. 10	78
Tab. 31 Výpočet středního tepelného pocitu z dotazníkového průzkumu.....	86
Tab. 32 Vypočtené procento nespokojených z dotazníkového průzkumu.....	87

Příloha č. 1: Dotazník

- 1) Pohlaví – muž x žena
- 2) Prosím vyberte číslo oblasti, ve které se právě nacházíte



- 3) Jak vnímáte teplotu ve Vaší oblasti:

- 3 Zima
- 2 Chladno
- 1 Mírné chladno
- 0 Neutrální
- 1 Mírné teplo
- 2 Teplo
- 3 Horko

- 4) Tato teplota je pro Vás:

- 3 Zcela nepříjemná
- 2
- 1
- 0 Neutrální
- 1
- 2
- 3 Zcela příjemná

- 5) Jak vnímáte teplotu v okolí hlavy:

- 3 Zima
- 2 Chladno
- 1 Mírné chladno
- 0 Neutrální
- 1 Mírné teplo
- 2 Teplo
- 3 Horko

- 6) Jak vnímáte teplotu v okolí rukou:
- 3 Zima
 - 2 Chladno
 - 1 Mírné chladno
 - 0 Neutrální
 - 1 Mírné teplo
 - 2 Teplo
 - 3 Horko
- 7) Jak vnímáte teplotu v okolí nohou:
- 3 Zima
 - 2 Chladno
 - 1 Mírné chladno
 - 0 Neutrální
 - 1 Mírné teplo
 - 2 Teplo
 - 3 Horko
- 8) Jak hodnotíte kvalitu okolního vzduchu:
- 3 Těžký, vydýchaný
 - 2
 - 1
 - 0 Neutrální
 - 1
 - 2
 - 3 Svěží, čerstvý
- 9) Jaká se Vám zdá rychlost proudění vzduchu ve Vaší oblasti:
- 3 Velký průvan
 - 2
 - 1
 - 0 Neutrální
 - 1
 - 2
 - 3 Žádné proudění vzduchu
- 10) Jak hodnotíte vlhkost vzduchu
- 3 Extrémně suchý
 - 2
 - 1
 - 0 Neutrální
 - 1
 - 2
 - 3 Extrémně vlhký