



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

MĚŘENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ SYSTÉMŮ TZB A VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV

MEASUREMENTS OF SELECTED PARAMETERS OF THE BUILDING SERVICES SYSTEMS
AND INDOOR ENVIRONMENT OF BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

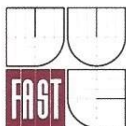
TOMÁŠ MALACH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Tomáš Malach

Název Měření vybraných parametrů systémů TZB a vnitřního prostředí budov

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Platné zákony, vyhlášky, nařízení a normy v oblasti řešené problematiky bakalářské práce. Domácí, evropská a světová literatura, sborníky vědeckých konferencí a odborných akcí v oblasti TZB. Zdroje na internetu. Podrobné podklady a další upřesnění stanoví vedoucí bakalářské práce při konzultacích.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

- a) titulní list,
- b) zadání VŠKP,
- c) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce,
- d) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690,
- e) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora,
- f) poděkování (nepovinné),
- g) obsah,
- h) úvod,
- i) vlastní text práce s touto osnovou:
 - A. Teoretická část – literární rešerše ze zadaného tématu, rozsah 15 až 20 stran
 - B. Experimentální část
 - B1. Metodika měření energetických toků budovy
 - specifikace měřících zařízení
 - analýza měření vybraných parametrů a jejich grafické zpracování
 - B2. Metodika měření kvality vnitřního prostředí budov a klimatických dat
 - specifikace měření tepelně vlhkostního mikroklimatu
 - specifikace měření koncentrací vybraných škodlivin
 - specifikace měření klimatických dat pro energetiku
 - analýza měření vybraných parametrů a jejich grafické zpracování
 - C. Projekt
 - aplikace měření na reálném objektu (schéma, metoda)
 - analýza naměřených dat (porovnání nastavených a reálných průběhů)
 - vyhodnocení chyb a provozních stavů
- o) závěr,
- p) seznam použitých zdrojů,
- q) seznam použitých zkratk a symbolů,
- r) seznam příloh,
- s) přílohy – výkresy, schémata

Vše bude svázáno pevnou vazbou. Volné dokumenty (metadata, prohlášení o shodě, posudky, výsledky obhajoby) budou vloženy do kapsy na přední straně desek, výkresy budou poskládány a uloženy jako příloha v kapse na zadní straně desek.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se v první části zabývá vnitřním prostředím budov, slunečním zářením a termografií. Prezentuji měřicí zařízení pro měření energetických toků budovy, klimatických dat a mikroklimatických veličin. V další části uvádím zásady pro měření termokamerou a vyhodnocuji pořízené termosnímky. Dále specifikuji měření tepelně vlhkostního mikroklimatu, koncentraci oxidu uhličitého a klimatických dat pro energetiku. Současně je provedena analýza měření vybraných parametrů a jejich grafické zpracování. V poslední části aplikuji měření na reálném objektu, analyzuji naměřená data (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého v místnosti) a provádím jejich vyhodnocení. Dále vyhodnocuji exteriérové teploty vzduchu a jejich vliv pro návrh systémů vytápění a chlazení.

ABSTRACT

In the first part, the bachelor thesis deals with indoor environment of buildings, solar irradiance and thermography. The measuring device for measuring the energy flows of the building, climatic data and microclimate variables are presented in this part. In the next part, I mention the principles for the measurement thermal imaging camera and I evaluate thermal images. I specify measurement of the hygrothermal microclimate, carbon dioxide concentration and climate data for power engineering. Analysis of measurement of the selected parameters is performed simultaneously and their graphical processing. In the last part, I apply measurement on the real objects, I analyzes the measured data (air temperature, relative humidity and the concentration of carbon dioxide in the room) and I perform their evaluation. At the end, I evaluate the outdoor air temperature and theirs effect for design heating and cooling systems.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vnitřní prostředí, sluneční záření, termografie, teplota, relativní vlhkost, koncentrace oxidu uhličitého, klimatická data, referenční rok

KEY WORDS

Indoor environment, solar irradiance, thermography, temperature, relative humidity, carbon dioxide concentration, climatic data, reference year

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MALACH, Tomáš. *Měření vybraných parametrů systémů TZB a vnitřního prostředí budov*. Brno, 2016. 115 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jirí Hirš, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23.5. 2016

.....

podpis autora

Tomáš Malach

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jiřímu Hiršovi, CSc. za odborné vedení při zpracování bakalářské práce a za jeho snahu rozdělit se o své odborné znalosti. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům centra AdMaS za poskytnutí dat v rámci projektu Inteligentní regiony (číslo projektu TE02000077) a celé mojí rodině za podporu při mém studiu.

OBSAH

ÚVOD.....	11
A. TEORETICKÁ ČÁST	12
A.1 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	13
A.1.1 KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV	13
A.1.2 FAKTORY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV.....	13
A.1.2.1 TEPELNĚ – VLHKOSTNÍ MIKROKLIMA.....	13
A.1.2.2 PRACH A KVALITA VZDUCHU	14
A.1.2.3 AKUSTIKA	15
A.1.2.4 OSVĚTLENÍ.....	15
A.1.2.5 ELEKTROMAGNETICKÉ MIKROKLIMA.....	15
A.1.2.6 IONIZAČNÍ MIKROKLIMA.....	15
A.2 DEFINICE VELIČIN SOUVISEJÍCÍCH S VNITŘNÍM PROSTŘEDÍM	16
A.2.1 DRUHY TEPLOT.....	16
A.2.2 DRUHY VLHKOSTÍ.....	17
A.2.3 RYCHLOST PROUDĚNÍ VZDUCHU.....	18
A.3 ZDROJE VODNÍ PÁRY V MÍSTNOSTECH.....	18
A.4 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	19
A.4.1 PRŮCHOD SLUNEČNÍCH PAPRSKŮ ATMOSFÉROU	19
A.4.2 INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	20
A.4.2.1 POLOHA SLUNCE NAD OBZOREM.....	21
A.4.2.2 PŘÍMÉ SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	22
A.4.2.3 DIFÚZNÍ SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	23
A.4.2.4 VÝSLEDNÝ ÚČINEK SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	24
A.4.3 VLIV SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V BUDOVÁCH	24
A.4.4 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ JAKO ZDROJ ENERGIE	25
A.5 TERMOGRAFIE	26
A.5.1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ.....	26
A.5.1.1 PLANCKŮV VYZAŘOVACÍ ZÁKON	27
A.5.1.2 STEFAN – BOLTZMANŮV ZÁKON.....	28
A.5.1.3 WIENŮV ZÁKON POSUVU.....	30

A.5.1.4	EMISIVITA	30
A.5.2	VYUŽITÍ TERMOGRAFIE.....	31
A.6	SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ENERGETICKÝCH TOKŮ BUDOVY..	31
A.7	SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ KLIMATICKÝCH DAT	32
A.7.1	METEOROLOGICKÉ STANICE S TRADIČNÍMI PŘÍSTROJI	33
A.7.1.1	MĚŘENÍ TEPLoty A VLHKOSTI VZDUCHU	33
A.7.1.2	MĚŘENÍ SMĚRU A RYCHLOSTI VĚTRU	34
A.7.1.3	MĚŘENÍ TLAKU VZDUCHU	35
A.7.1.4	MĚŘENÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	36
A.7.1.5	MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ SRÁŽEK	37
A.7.2	AUTOMATICKÉ METEOROLOGICKÉ STANICE.....	37
A.8	SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ MIKROKLIMATICKÝCH VELIČIN....	38
A.8.1	MĚŘENÍ TEPLoty	38
A.8.2	MĚŘENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU	41
A.8.3	MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ VZDUCHU	44
B.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
B.1	METODIKA MĚŘENÍ ENERGETICKÝCH TOKŮ BUDOV	46
B.1.1	VYHODNOCENÍ POŘÍZENÝCH TERMOSNÍMKŮ	47
B.2	METODIKA MĚŘENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ A KLIMATICKÝCH DAT	52
B.2.1	SPECIFIKACE MĚŘENÍ TEPELNĚ VLHKOSTNÍHO MIKROKLIMATU	52
B.2.1.1	MĚŘENÍ TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V MÍSTNOSTI.....	55
B.2.1.2	POROVNÁNÍ TEPLoty VZDUCHU A OPERATIVNÍ TEPLoty V KANCELÁŘI	59
B.2.2	SPECIFIKACE MĚŘENÍ KONCENTRACÍ VYBRANÝCH ŠKODLIVIN	62
B.2.2.1	MĚŘENÍ KONCENTRACE CO ₂ V MÍSTNOSTI	62
B.2.3	SPECIFIKACE MĚŘENÍ KLIMATICKÝCH DAT PRO ENERGETIKU	70
B.2.3.1	ZDROJE DAT PRO REFERENČNÍ ROK	70
B.2.3.2	METEOROLOGICKÉ PRVKY OBSAŽENÉ V REFERENČNÍM ROKU	71
C.	PROJEKT	72
C.1	VYHODNOCENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V OBÝVACÍM POKOJI	73
C.1.1	POPIS HODNOCENÉHO OBJEKTU	73

C.1.2	ZÁKLADNÍ PARAMETRY BYTU	75
C.1.3	IDENTIFIKACE MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ (DATALOGGER COMET S3532).....	75
C.1.4	NÁVRHOVÉ HODNOTY PARAMETRŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	76
	C.1.4.1 TEPLOTA A RELATIVNÍ VLHKOST	76
	C.1.4.2 KONCENTRACE CO ₂	77
C.1.5	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT SOUVISEJÍCÍCH S VNITŘNÍM PROSTŘEDÍM ZA CELOU DOBU MĚŘENÍ.....	78
	C.1.5.1 TEPLOTA V INTERIÉRU.....	78
	C.1.5.2 VLHKOST V INTERIÉRU.....	81
	C.1.5.3 KONCENTRACE CO ₂ V MÍSTNOSTI.....	83
C.1.6	VYHODNOCENÍ DAT NAMĚŘENÝCH V OBÝVACÍM POKOJI V TYPICKÉM ZIMNÍM A LETNÍM MĚSÍCI.....	85
	C.1.6.1 ÚNOR 2015.....	85
	C.1.6.2 ČERVENEC 2015	92
C.1.7	VÝSLEDNÉ POSOUZENÍ NAMĚŘENÝCH DAT V OBÝVACÍM POKOJI.....	99
C.2	POROVNÁNÍ EXTERIÉROVÉ TEPLoty S NORMOVÝMI HODNOTAMI TEPLoty, SLOUŽÍCÍ PRO NÁVRH SYSTÉMŮ VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ	101
	ZÁVĚR.....	103

ÚVOD

Cílem bakalářské práce je seznámení s vnitřním prostředím budov, s faktory, které ho ovlivňují a s přístroji sloužící k jeho vyhodnocení. Práce je rozdělena do tří částí.

Teoretická část - zabývá se vnitřním prostředím budov. Dále pak slunečním zářením, stanovením výsledné intenzity slunečního záření a využití slunečního záření v oblasti vnitřního prostředí a energetiky. Obecným úvodem do principu termografie. Na konci této části uvádím měřicí přístroje pro měření energetických toků budovy, klimatických dat a mikroklimatických veličin.

Experimentální část - je rozdělena na dvě části. První část je věnována zásadám pro měření s termokamerou a vyhodnocení pořízených termosnímků. V druhé části je uvedena specifikace měření tepelně vlhkostního mikroklimatu, koncentrace oxidu uhličitého a klimatických dat pro energetiku. Současně je provedeno experimentální měření vybraných parametrů. Výsledkem těchto měření jsou grafy s porovnáním naměřených údajů.

Projekt - zaměřuji se na vyhodnocení kvality vnitřního prostředí v obývacím pokoji. Konkrétně se zabývám teplotou vzduchu, relativní vlhkostí vzduchu a koncentrací oxidu uhličitého v interiéru. Vyhodnocení probíhá z dat naměřených za necelé dva roky. Na konci této části porovnávám teploty vzduchu v exteriéru naměřené také za stejnou dobu s hodnotami, které slouží jako vstupní parametry pro návrh systémů vytápění a chlazení.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

A. TEORETICKÁ ČÁST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ MALACH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2016

A.1 Vnitřní prostředí

Vnitřní prostředí je životní prostředí uvnitř budov, obklopující živé organismy, se kterými je ve vzájemném spolupůsobení. Každý člověk má své požadavky na mikroklimatické podmínky ve svém okolí, kde tráví většinu svého života. Z toho vyplývá, že mohou nastat případy, kdy se jedna osoba bude v obytném prostoru cítit spokojeně, ale druhá bude mít jiné požadavky a spokojeně se cítit nebude.

V současnosti se velmi často diskutuje o zhoršujícím se vnitřním mikroklimatu obytných prostor. Pokud nejsou dodrženy stanovené limity, může dojít ke zhoršení lidského zdraví a to nejen fyzického, ale i psychického. Jelikož trávíme v budovách velkou část svého života, je důležité se o stav vnitřního prostředí zajímat a případně zjištěné nedostatky vyřešit. [1]

A.1.1 Kvalita vnitřního prostředí budov

Hovoříme – li o kvalitě vnitřního prostředí, jedná se především o soubor fyzikálních, chemických a biologických faktorů. Všechny tyto faktory mají vliv na lidské zdraví, proto jsou stanoveny hygienické limity prostřednictvím právně závazných předpisů (zákony, vládní nařízení a vyhlášky) abychom chránili lidské zdraví. Nejvíce ovlivňuje faktory vnitřního prostředí větrání. To je však především v zimním období energeticky náročné. [1]

V poslední době je trendem, že dochází ve velkém množství k výměně starých dřevěných oken za okna plastová, za cílem snížit náklady na vytápění. Stará dřevěná okna nám zajišťovala přirozené větrání pomocí infiltrace netěsnostmi. U plastových oken jsou samozřejmě také kladeny požadavky na přívod vzduchu do místnosti, aniž bychom měli otevřené okno. Tento přívod vzduchu je zajišťován například mikroventilací. Intenzita větrání potřebná k vytvoření optimálních podmínek vnitřního prostředí musí být zachována i po utěsnění obálky budovy.

A.1.2 Faktory vnitřního prostředí budov

A.1.2.1 Tepelně – vlhkostní mikroklima

Jedná se především o tři velmi významné faktory a to jsou teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Tyto tři faktory se navzájem ovlivňují, proto je nutné řešit společně. [1]

Norma ČSN EN 15251: 2011 udává doporučené návrhové hodnoty operativních teplot pro návrh budov a vytápěcích, větracích a klimatizačních zařízení. Například pro obytné budovy - obytné místnosti (ložnice, pracovny atd.) kategorie II (nové budovy a rekonstrukce) je dána minimální operativní teplota v zimním období 20 °C a maximální v období letním 26 °C. [2] Také je vhodné snížit teplotu v místnosti před spaním o jeden až dva stupně. Tímto si zajistíme lepší spánek. Je nutné dodat, že na každého jedince má daná teplota jiný vliv.

Hodnoty relativní vlhkosti se v obytných budovách pohybují okolo 40 %. V zimním období může klesnout i pod 30 % z důvodu vytápění místnosti, proto je vhodné v otopné sezóně využívat zvlhčovač vzduchu. Naopak při nedostatečném větrání dochází vlivem rostoucí relativní vlhkosti z pobytu osob, vaření, sprchování atd. ke zvýšené koncentraci vodní páry, která na chladnějším povrchu zkondenzuje a zvyšuje tak riziko růstu plísní. [1] Norma ČSN 73 0540 - 3 udává, že se v občanských a bytových stavbách, kde nejsou kladeny zvláštní požadavky, uvažuje s hodnotou relativní vlhkosti vzduchu 50 %. Pokud je relativní vlhkost vzduchu větší než 60 %, lze takové prostředí považovat za mokré a vlhké. Jestliže je menší než 35 %, je možné takové prostředí považovat za suché.

Proudění vzduchu je závislé na způsobu větrání. Optimální hodnoty proudění vzduchu se v pásmu pobytu osob pohybují okolo 0,1 až 0,2 m·s⁻¹. Pokud se jedná o přivádění teplého vzduchu, pohybuje se rychlost proudění v těch vyšších hodnotách. Kdežto při přivádění vzduchu studeného bychom měli uvažovat s nižší hodnotou rychlosti proudění.

A.1.2.2 Prach a kvalita vzduchu

Prach je všude kolem nás. Jsou to maličké částice pevného skupenství. Negativní vliv na naše zdraví mají především biologické částice – plísně a jejich spóry, bakterie a viry, roztoči, zvířecí chlupy. Dále nejen od domácích zvířat, ale i od dalších zvířat (myši, potkání, ...) či hmyzu (mouchy, komáři, ...) se kolem nás vyskytují škodlivé částice, které mají negativní vliv na naše zdraví. Ve vnitřním prostředí se vyskytuje řada různých škodlivin. Chemické látky obsahují (i když v malém množství) například různé kosmetické přípravky, úklidové prostředky a osvěžovače vzduchu. Tyto látky mohou působit jako alergeny. [1]

O dalším zmínění také stojí spaliny vznikající při používání plynových spotřebičů. Jedná se především o oxid uhličitý a oxid uhelnatý. Dalším velkým zdrojem

oxidu uhličitého jsou lidé, kteří vydechují vzduch se značnou koncentrací tohoto plynu. Ke zvýšené koncentraci těchto plynů ve vnitřním prostředí také dochází při nedostatečné intenzitě větrání. Při zvýšení koncentrace těchto plynů v ovzduší dochází k únavě, poruše dýchání, bolesti hlavy, ztrátě vědomí a v extrémních případech mohou způsobit smrt. [1]

V budovách využíváme větrání přirozené (otevření okna, mikroventilace) a větrání nucené (vzduchotechnika). Nutno dodat, že každé větrání je energeticky náročné.

A.1.2.3 Akustika

Pokud se bavíme o akustice, většinou jde o kombinaci hluku a vibrací. Tyto faktory působí na člověka rušivě a obtěžují ho. [1] Dochází ke špatnému soustředění při práci či při relaxování. Z toho důvodu je nutné použít při návrhu konstrukcí stěn a podlah správné materiály, které hluk a vibrace utlumí. Návrhové hodnoty hladiny akustického tlaku udává norma ČSN EN 15251: 2011. Jako teplota vzduchu, tak i hluk má jiný vliv na každého jedince.

A.1.2.4 Osvětlení

Denní osvětlení má vliv na kvalitu vidění, zdraví a psychiku člověka. Je důležité věnovat pozornost ke vhodné orientaci místností ke světovým stranám a ke správnému rozmístění prvků umělého osvětlení. Značnou část osvětlení ovlivňuje také barevnost stěn v interiéru, barevnost a rozmístění nábytku. Při tvorbě světelného mikroklimatu se do jisté míry jedná o individuální požadavky každého jednotlivce.

A.1.2.5 Elektromagnetické mikroklima

„Elektromagnetické mikroklima je složka prostředí vytvářená elektromagnetickým střídavým polem elektromagnetických vln o vlnové délce větší než 1 mm (3×10^{11} Hz) v uvažovaném prostoru a ovlivňující celkový stav člověka“. [3]

Zdrojem elektromagnetických vln jsou především mobilní telefony, televize, počítače a mikrovlnné trouby. [3]

A.1.2.6 Ionizační mikroklima

Jedná se o záření, které mohou produkovat přírodní radioaktivní látky i umělé zdroje. [3]

Zdrojem tohoto záření je radon, který vzniká při rozpadu uranu. Je to plyn bez barvy a pachu a je škodlivý pro lidské zdraví. Ve většině případů vniká do budovy prostřednictvím horninového podloží. U novostaveb lze zabránit vnikání radonu do budovy použitím a provedením kvalitní hydroizolace. U stávajících objektů musíme zamezit vnikání radonu do obytných prostorů a prostorům s jeho výskytem zajistit odvětrávání.

A.2 Definice veličin souvisejících s vnitřním prostředím

A.2.1 Druhy teplot

Teplota vzduchu v exteriéru (t_e)

- venkovní teplota vzduchu v letním a zimním období v dané lokalitě
- jednotka: [°C]

Teplota vzduchu v interiéru (t_i)

- interiérová teplota vzduchu v dané místnosti
- jednotka: [°C]

Teplota povrchu konstrukce (t_s)

- teplota povrchu konstrukce na straně interiéru nebo exteriéru
- jednotka: [°C]

Teplota rosného bodu (t_{rb})

- teplota, při které je vzduch plně nasycen vodní párou, při dalším ochlazení začne vodní pára kondenzovat
- jednotka: [°C]

Teplota mokrého teploměru (t_w)

- „je to taková teplota vody, při níž je teplo potřebné k vypařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu, je také označována jako mezní teplota adiabatického chlazení“ [4]
- jednotka: [°C]

Teplota vzduchu (t_a)

- teplota interiérového vzduchu, která není vystavena vlivu sálání z okolních povrchů
- jednotka: [°C]

Výsledná teplota kulového teploměru (t_g)

- jedná se o teplotu určenou kulovým teploměrem, která zahrnuje vliv teploty okolního vzduchu, okolních stěn a rychlosti proudění okolního vzduchu [5]
- jednotka: [°C]

Střední radiační teplota (t_r)

- „je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při které by bylo celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami stejné jako ve skutečnosti“ [6]
- jednotka: [°C]

Operativní teplota (t_o)

- „vypočtená veličina, která je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru (tj. prostoru o stejné teplotě vzduchu i stejné střední radiální teplotě), černého z hlediska radiace, ve kterém by tělo sdílelo konvekcí i sáláním stejné množství tepla, jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí“ [7]
- jednotka: [°C]

Rovnocenná sluneční teplota vzduchu (t_{rs})

- „teplota vzduchu, při níž je přestup tepla konvekcí mezi vzduchem a stěnou stejný, jako je konvekcí při skutečné teplotě vzduchu a sluneční radiaci dohromady“ [8]
- jednotka: [°C]

A.2.2 Druhy vlhkostí

Absolutní vlhkost (ϕ)

- hmotnost vodní páry v 1 m³ vzduchu
- jednotka: [kg·m⁻³]

Relativní vlhkost (φ)

- udává míru nasycení vzduchu vodní párou
- jednotka: [%]

Měrná vlhkost (x)

- udává hmotnost vodní páry v gramech, připadající na 1 kg suchého vzduchu
- jednotka: [g·kg⁻¹ s. v.]

A.2.3 Rychlost proudění vzduchu (v_a)

- veličina udávající pohyb vzduchu v prostoru (směr a rychlost)
- jednotka: [m·s⁻¹]

A.3 Zdroje vodní páry v místnostech

Stavební vlhkost

- vzniká při mokřém procesu výstavby
- v průběhu let po dokončení stavby tato vlhkost vyschne

Zemní vlhkost

- vzniká při styku stavební konstrukce a zeminy
- lze jí zabránit kvalitní a správně provedenou hydroizolací

Srážková vlhkost

- vzniká při dešťových srážkách nebo sněžení

Kondenzovaná vlhkost

- může se vyskytovat na povrchu i uvnitř konstrukce
- k této vlhkosti dochází především v zimním období v oblasti tepelných mostů

Provozní vlhkost

- zdrojem této vlhkosti je především člověk nebo technologický proces (vaření, praní, sprchování, ...)

Sorpční vlhkost

- vniká do konstrukce na základě hydroskopických vlastností materiálů

A.4 Sluneční záření

Sluneční záření vzniká v důsledku termojaderných procesů na Slunci. Povrchová teplota Slunce se pohybuje kolem 6 000 K. Slunce vyzařuje paprsky o vlnové délce od 10^{-10} m do 10^3 m. Pro přenos energie jsou podstatné paprsky o vlnové délce $0,2 \cdot 10^{-6}$ m až $3 \cdot 10^{-6}$ m. Většina energie, kterou Slunce vyvíjí, uniká do mezihvězdného a mezigalaktického prostoru. Jen nepatrnou část zachycují okolní planety včetně planety Země. Hodnota intenzity slunečního záření se na hranici atmosféry naší planety pohybuje v průměru $1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jedná se o tzv. sluneční konstantu značenou I_0 . [9]

A.4.1 Průchod slunečních paprsků atmosférou

Při pronikání slunečních paprsků atmosférou dochází ke snížení intenzity slunečního záření. Část paprsků je rozptýlena při odrazu o molekuly plynů a částice prachu, obsaženými ve vzduchu. Záření je také pohlcováno víceatomovými plyny (ozón, oxid uhličitý a vodní pára), které jsou také obsaženy ve vzduchu. Hodnotu této snížené intenzity slunečního záření udává součinitel znečištění atmosféry Z . Definice součinitele znečištění atmosféry je dána Linkeho vztahem (1.1). [9]

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_c} \quad [-] \quad (1.1)$$

I_0 sluneční konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_n intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_c intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Součinitel Z nabírá různých hodnot. Nízkou hodnotu má na vesnicích a v horských oblastech, kde je vzduch čistější. Ve větších městech se naopak ve vzduchu vyskytuje určitá koncentrace exhalací a z toho důvodu má součinitel Z hodnotu vyšší.

Hodnoty průměrného měsíčního součinitele znečištění atmosféry pro daný měsíc a danou oblast jsou uvedeny v **Tab. 1**.

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou vzduchu			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
I.	1,5	2,1	3,1	4,1
II.	1,6	2,2	3,2	4,3
III.	1,8	2,5	3,5	4,7
IV.	1,9	2,9	4,0	5,3
V.	2,0	3,2	4,2	5,5
VI.	2,3	3,4	4,3	5,7
VII.	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII.	2,3	3,3	4,3	5,7
IX.	2,1	2,9	4,0	5,3
X.	1,8	2,6	3,6	4,9
XI.	1,6	2,3	3,3	4,5
XII.	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,9	2,75	3,75	5,0

Tab. 1 Průměrný měsíční součinitel znečištění atmosféry [9]

A.4.2 Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření dopadajícího na plochu pod vrstvou atmosféry je menší, než na hranici atmosféry, protože při prostupu záření se část rozptýlí a pohltí. Snížená intenzita slunečního záření závisí na součiniteli znečištění atmosféry a na tloušťce vrstvy vzduchu, přes kterou musí paprsky pronikat. [9]

Intenzita slunečního záření se skládá ze dvou složek a to z přímého a difúzního záření. Pro určení těchto dvou složek je nutno znát parametry určující polohu slunce nad obzorem.



Obr. 1 Přímé a difúzní záření

A.4.2.1 Poloha slunce nad obzorem

Poloha slunce nad obzorem se mění v závislosti s časem a je dána v jakémkoliv okamžiku jeho výškou nad obzorem h a jeho azimutem a . Stanovení těchto dvou parametrů vyjadřují vztahy (1.2) a (1.3). [9]

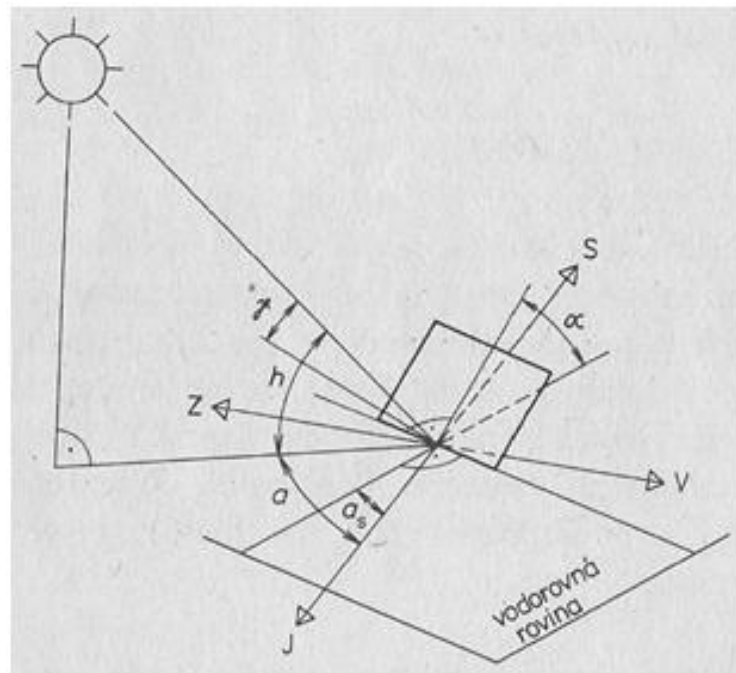
$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (1.2)$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\sin h} \sin \tau \quad (1.3)$$

δ sluneční deklinace, tj. zeměpisná šířka, kde v daný den ve 12 hodin odpoledne je slunce kolmo nad obzorem [°]

φ zeměpisná šířka [°]

τ čas (časový úhel) v obloukových stupních, měřený od 12. hodiny v poledne (jedné hodině odpovídá úhel 15°) [°]



Obr. 2 Schéma pro výpočet intenzity slunečního záření [9]
 h – výška slunce nad obzorem; a – azimut slunce; a_s – azimut osluněné plochy;
 α – sklon plochy od vodorovné roviny; γ – úhel dopadu slunečních paprsků

Hodnota sluneční deklinace je pro každý den v roce jiná. Lze ji vypočítat ze vzorce (1.4). [9]

$$\delta = 23,45^\circ \sin(0,98^\circ D + 29,7^\circ M - 109^\circ) \quad (1.4)$$

D den v měsíci

M číslo měsíce

Úhel dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu můžeme stanovit ze vztahu (1.5). [9]

$$\cos \gamma = \sin h \cos \alpha + \cos h \sin \alpha \cos(a - a_s) \quad (1.5)$$

h výška slunce nad obzorem [m]

α úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny [°]

a azimut slunce [°]

a_s azimutový úhel normály osluněné plochy [°]

A.4.2.2 Přímé sluneční záření

Pokud je obloha jasná a bez mraků, dopadá sluneční záření na povrch Země aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé. Má daleko vyšší intenzitu než difúzní záření.

Intenzitu přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků můžeme určit ze vzorce (1.6). [9]

$$I_{pn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.6)$$

I_0 sluneční konstanta [$W \cdot m^{-2}$]

Z součinitel znečištění atmosféry [-]

ε součinitel, který závisí na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa [-]

Pro určení součinitele ε platí vztah (1.7). [9]

$$\varepsilon = \frac{9,38076[\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-] \quad (1.7)$$

h výška slunce nad obzorem [m]

H nadmořská výška daného místa [m]

Intenzitu přímého slunečního záření na obecně položenou plochu lze určit vztahem (1.8). [9]

$$I_p = I_{pn} \cos \gamma \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.8)$$

I_{pn} intenzita přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků [$W \cdot m^{-2}$]

γ úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu [°]

A.4.2.3 Difúzní sluneční záření

Jedná se o záření, které se rozptyluje při průchodu atmosférou o částičky prachu, molekuly plynů obsažených ve vzduchu a především o mraky. Na rozdíl od záření přímého se rozptyluje do všech směrů.

Část přímého záření se odráží od okolních ploch. Toto záření patří k difúznímu záření. Intenzitu difúzního záření lze přibližně vypočítat ze vzorce (1.9). [9]

$$I_D = 0,5(1 + \cos \alpha)I_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha)(I_{ph} + I_{Dh}) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.9)$$

α úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny [°]

r reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky ($r = 0,15$ až $0,25$) [-]

I_{ph} intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]

I_{Dh} intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]

Hodnotu intenzity záření I_{Ph} a I_{Dh} získáme ze vztahu (1.10) a (1.11). [9]

$$I_{Ph} = I_{Pn} \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.10)$$

$$I_{Dh} = 0,33(I_0 - I_{Pn}) \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.11)$$

A.4.2.4 Výsledný účinek slunečního záření

Celková intenzita slunečního záření je dána součtem přímého a difúzního záření (1.12).

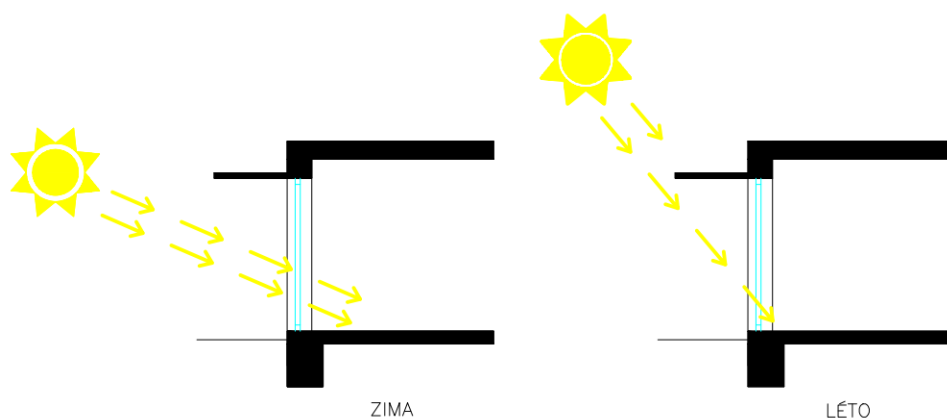
$$I = I_p + I_D \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.12)$$

A.4.3 Vliv slunečního záření na vnitřní prostředí v budovách

Sluneční záření blízce souvisí s tvorbou vnitřního prostředí. Má pozitivní i negativní vliv. Mezi pozitiva patří například přirozené osvětlení místnosti, což má výrazný vliv na lidské zdraví. Mezi napůl pozitivní a negativní vlastnosti patří tepelné zisky slunečním zářením okny a obvodovým zdivem.

Tepelné zisky přináší pozitivní vliv v chladném období, kdy je teplo v interiéru podstatné a pomáhají nám místnost vytápět a zlepšují nám pocit pohody. Naopak negativní vliv má v období teplém, kdy se snažíme udržovat v interiéru spíše chladnější prostředí. V tomto případě je vhodné na nejvíce osluněné plochy pořídit stínící konstrukce. Největší tepelné zisky vznikají v létě, jelikož bývá ve většině období jasná obloha a slunce osluňuje plochy nejdéle, naopak v zimě slunce nesvítí příliš dlouho a obloha je spíše zatažená.

Nicméně je nutno dodat, že v zimním období je poloha slunce nad obzorem nižší než v létě (**Obr.3**). Z toho vyplývá, že v zimě dopadají sluneční paprsky nejvíce na vertikální části budovy (obvodové zdivo, okna v obvodovém zdivu) a v létě dopadají spíše na horizontální části budovy (plochá střecha, střešní světlík).



Obr. 3 Dopad slunečních paprsků do interiéru v zimě a létě

A.4.4 Sluneční záření jako zdroj energie

V oblasti obnovitelných zdrojů se sluneční záření řadí mezi tzv. nevyčerpatelné zdroje energie. Využití slunečního záření na výrobu energie je v dnešní době na vzrůstu a počítá se s tím, že bude růst pokračovat i v následujících rocích.

V energetice má uplatnění ve dvou případech. Prvním je solární systém, který slouží k ohřevu teplé vody nebo částečně k vytápění, případně ke kombinaci obou případů. V druhém případě se jedná o fotovoltaiku.

Solární systém je charakterizován svojí účinností. Tato účinnost je definována jako poměr tepelného výkonu odváděného teplotnosnou látkou z kolektoru k příkonu (dopadající sluneční záření na kolektor). [10] Při provozu solárního systému je dobré redukovat průtok teplotnosné látky takovým způsobem, že v době nízké intenzity slunečního záření nastavit průtok nižší (teplotnosná látka se bude v kolektorech déle ohřívat) a v době vysoké intenzity slunečního záření průtok zvýšit (není nutné, aby se teplotnosná látka v kolektoru dlouho ohřívala). Tento systém má vyšší účinnost především v letním období kdy nevyužívá jen tepelnou energii ze slunečních paprsků, ale také z okolního prostředí.

Fotovoltaika slouží k výrobě elektrické energie. Fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný proud a napětí 12 V nebo 24 V. Pokud využíváme domácí spotřebiče na toto napětí, musí obsahovat regulátor napětí. Při využívání spotřebičů s napětím 230 V musí být v systému zapojen invertor. Nadbytečnou vyrobenou elektrickou energii lze uložit do zásobníku teplé vody (ohřátí vody) nebo do akumulátoru. Jestliže elektrickou energii využijeme na výrobu teplé vody, nemůžeme získat zpět elektrickou energii z teplé vody. Problém je i na straně akumulátoru, který je omezen svojí kapacitou pro

uskladnění elektrické energie a také svojí životností. Nedostatky z hlediska uskladnění elektrické energie jsou však v dnešní době předmětem zájmu a do budoucna budou určitě vyřešeny. Fotovoltaické panely mají oproti solárnímu systému v letním období nižší účinnost. Tyto panely využívají pouze zářivou složku sluneční energie nikoliv energii tepelnou.

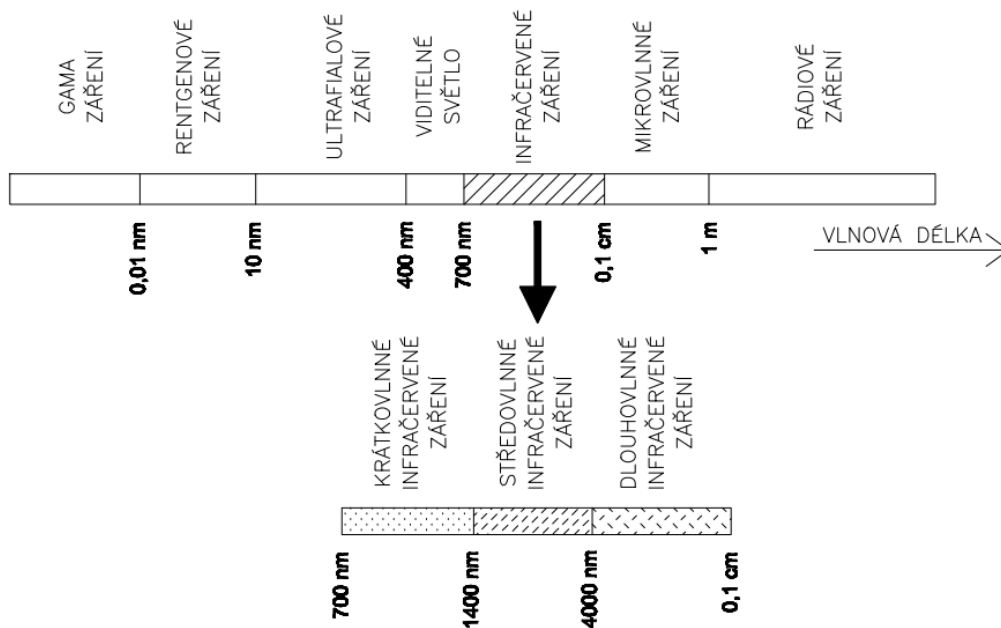
Při návrhu solárního systému i fotovoltaiky je nutné posoudit na jakém místě budou umístěny. Důležité je umístění na slunném místě. Dále také záleží na orientaci ke světovým stranám a na úhlu sklonu od vodorovné roviny. V našich podmínkách je nejlepší orientace na jih a optimální sklon od vodorovné roviny se pohybuje v rozmezí 30 ° až 45 °.

A.5 Termografie

A.5.1 Infračervené záření

Infračervené záření je jen část spektra elektromagnetického záření, jehož vlnové délky jsou větší než u viditelného světla a menší než u mikrovlnného záření (**Obr. 4**).

Infračervené záření dále dělíme na krátkovlnné, středovlnné a dlouhovlnné. Spektrální citlivost infrakamery se pohybuje v části dlouhovlnného záření 7500 nm až 13 000 nm. [11]



Obr. 4 Elektromagnetické spektrum

Tělesa, která mají teplotu vyšší než je absolutní nula (0 K) jsou zdrojem infračerveného záření, jedná se v podstatě o veškerá tělesa kolem nás. Při infračerveném záření je přenášén výkon, který lze také nazvat jako zářivý tok M_e a je definován ve vzorci (1.13). [12]

$$M_e = \frac{dE_e}{dt} \quad [W] \quad (1.13)$$

dE_e zářivá energie [J]

dt čas [s]

Když zářivý tok M_e dopadá na těleso, je část zářivého toku pohlcena, odražena a propuštěna. Z toho vyplývá, že celkový zářivý tok je roven součtu těchto tří složek (1.14). [12]

$$M_e = M_\alpha + M_\rho + M_\tau \quad [W] \quad (1.14)$$

M_α část pohlceného zářivého toku [W]

M_ρ část odraženého zářivého toku [W]

M_τ část propuštěného zářivého toku [W]

Pokud těleso pohltní veškeré záření, jedná se o absolutně černé těleso (AČT). Existence takového tělesa však není možná, jelikož povrch tělesa vždy malé množství záření odrazí. [12]

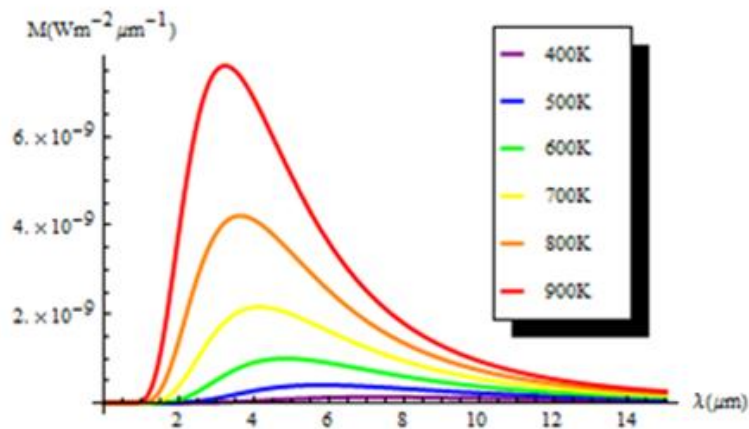
A.5.1.1 Planckův vyzařovací zákon

Max Planck vyslovil roku 1900 domněnku, že vyzařování a pohlcování zářivé energie může probíhat pouze po celistvých množstvích. Touto myšlenkou formuloval tzv. Planckův vyzařovací zákon, který vyjadřuje intenzitu vyzařování AČT vztahující se k vlnové délce záření a absolutní teplotě. [12]

Matematické vyjádření Planckova vyzařovacího zákona je uvedeno ve vzorci (1.15). [11]

$$M_{e,\lambda}(\lambda, T) = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\pi \varepsilon h c^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right)} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}] \quad (1.15)$$

- ε emisivita povrchu tělesa [-]
- λ vlnová délka emitovaného záření [m]
- T absolutní teplota tělesa [K]
- h $6,6256 \cdot 10^{-34}$ [J·s] (Planckova konstanta)
- c $2,9979 \cdot 10^8$ [m·s⁻¹] (rychlost světla ve vakuu)
- k $1,3805 \cdot 10^{-24}$ [J·K⁻¹] (Boltzmannova konstanta)



Obr. 5 Planckův vyzařovací zákon [13]

A.5.1.2 Stefan – Boltzmanův zákon

Vyjadřuje celkový zářivý tok na jednotku plochy pro danou teplotu tělesa přes celé spektrum vlnových délek (1.16). [11]

$$M_e(T) = \int_0^{\infty} M_{e,\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = \sigma_e T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.16)$$

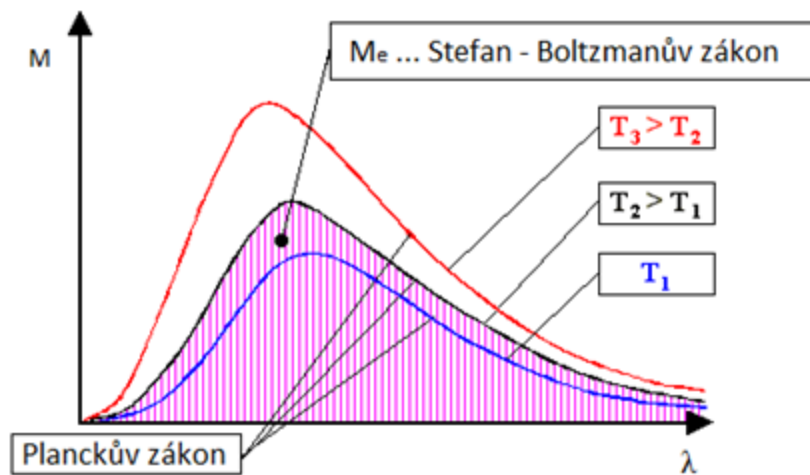
Pro vyjádření vyzářované energie černým tělesem uvažujeme za hodnotu emisivity 1. Z toho důvodu není ve vzorci (1.17) uvažována.

$$M_e(T) = \sigma_e T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.17)$$

U šedého tělesa nelze uvažovat s hodnotou emisivity 1, ale s hodnotou nižší, proto je ve vzorci (1.18) emisivita uvažována.

$$M_e(T) = \varepsilon \sigma_e T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.18)$$

- λ vlnová délka emitovaného záření [m]
- T absolutní teplota tělesa [K]
- h $6,6256 \cdot 10^{-34}$ [J·s] (Planckova konstanta)
- c $2,9979 \cdot 10^8$ [m·s⁻¹] (rychlost světla ve vakuu)
- k $1,3805 \cdot 10^{-24}$ [J·K⁻¹] (Boltzmannova konstanta)
- σ_e $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W·m⁻²·K⁻⁴] (Stefan – Boltzmanova konstanta)
- ε emisivita povrchu tělesa [-]



Obr. 6 Stefan – Boltzmanův zákon [14]

A.5.1.3 Wienův zákon posuvu

Tento zákon říká, že při rostoucí teplotě se maximální intenzita vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám (1.19). [13]

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \quad [m] \quad (1.19)$$

T absolutní teplota tělesa [K]

A.5.1.4 Emisivita

Stanovení emisivity ε [-] pro tělesa, která nejsou AČT, je složité a záleží na mnoha faktorech. Mezi hlavní patří [11]:

- druh stavebního materiálu (kámen, beton, cihla, ...)
- povrch materiálu (hladký, lesklý, matný, ...)
- vlnová délka
- teplota materiálu
- směr vyzařování

Emisivita se pohybuje v intervalu 0 až 1. Hodnotu 1 má AČT, které pohlcuje veškeré záření, jež na něj dopadá. V praxi se však setkáváme především s tělesy mající vždy emisivitu menší než 1, což znamená, že se část záření pohltí, část se odrazí a část je propuštěna.

Příklady hodnoty emisivity některých materiálu jsou uvedeny v **Tab. 2**.

Hodnoty emisivity běžných materiálů	
Materiál	Emisivita*
Hliník, leštěný	0,05
Cihla, běžná	0,85
Cihla, pálená, hrubá	0,94
Litina	0,81
Beton	0,54
Měď, leštěná	0,01
Měď, zoxidovaná do černa	0,88
Elektrikářská páska, černá plastová	0,95
Sklo	0,92
Lak nebo Bakelit	0,93
Barva, průměrná olejová	0,94
Papír, černý, matný	0,94
Porcelán, malovaný	0,92
Guma	0,93
Ocel, galvanizovaná	0,28
Ocel, silně zoxidovaná	0,88
Asfaltový papír	0,92
Voda	0,98

* Hodnoty emisivity všech materiálů se měří při teplotě 0 °C (32 °F), ale o mnoho se neliší od hodnot naměřených při pokojové teplotě.

Tab. 2 Hodnoty emisivity vybraných materiálů [15]

A.5.2 Využití termografie

Termografie slouží k zobrazování teplotních polí různých těles a ploch. Díky ní dokážeme bezkontaktně měřit povrchové teploty těles. Její uplatnění je například v průmyslu, stavebnictví, lékařství, a v mnoha dalších oborech. [16]

Co se týče stavebnictví, využití je například k nalezení tepelných mostů, pro kontrolu správného provedení kontaktního zateplovacího systému, ke kontrole správně zaizolovaných potrubních rozvodů.

V oblasti energetického hodnocení a vnitřního prostředí využijeme termografii k identifikaci úniků tepla, těsnosti obálky budovy, stanovení nejnižších povrchových teplot a k lokalizaci míst, kde může dojít ke kondenzaci vodní páry a následnému vzniku plísní.

A.6 Specifikace měřících zařízení pro měření energetických toků budovy

Pro měření energetických toků se ve stavebnictví nejvíce využívá termokamera. Slouží pro jednoduchou a přehlednou analýzu povrchů budovy, k nalezení tepelných mostů a problematických částí konstrukce. Některé pořizují pouze termosnímek, nebo termosnímek i fotografii. Existují také termokamery pořizující záznam videa. Mezi výrobce termokamer patří FLUKE a FLIR.

Uvádím příklady dvou ručních termokamer od výrobce FLUKE.



Obr. 7 Termokamera Fluke TIS20 [17]



Obr. 8 Termokamera Fluke TIX520 [18]

A.7 Specifikace měřících zařízení pro měření klimatických dat

Pro měření klimatických dat slouží meteorologické stanice. Rozdělujeme je na základní a srážkoměrné nebo na amatérské a profesionální. Jejich umístění musí být takové, aby vystihovaly stav počasí v širším okolí a nebyly nijak ovlivňovány okolními poměry. Stanice měří základní meteorologické veličiny, kterými jsou teplota a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, atmosférický tlak, sluneční záření a pro techniku prostředí méně důležité - množství srážek. [19]

V dnešní době jsou nejvíce využívány automatické meteorologické stanice, kde většina přístrojů využívá elektrickou energii. Existuje však spousta meteorologických stanic s tradičními přístroji. [20]

Referenční rok, který slouží k posouzení průměrné roční energie pro vytápění a chlazení, případně pro vyhodnocení efektivnosti solárních systémů by měl obsahovat hodinová data těchto meteorologických veličin [21]:

- teplota vzduchu
- přímé a difúzní sluneční záření
- relativní a absolutní vlhkost vzduchu
- tlak vodních par nebo teplota rosného bodu
- rychlost větru

A.7.1 Meteorologické stanice s tradičními přístroji

A.7.1.1 Měření teploty a vlhkosti vzduchu

Přístroje, jež měří hodnoty teplot vzduchu jsou umístěny dva metry nad zemí v meteorologické budce s žaluziemi, která je chrání před vlivem slunečního záření a proti dešťovým a sněhovým srážkám. Budka je natřena na bílou barvu, aby nepohlcovala sluneční záření a nedocházelo k ovlivňování přístrojů uvnitř. [19]

Staniční (suchý) teploměr

- základní teploměr v meteorologické stanici
- slouží pro měření suché teploty vzduchu

Mokrý teploměr

- slouží pro měření mokré teploty
- jeho teploměrná nádobka je obalena např. tkaninou, která je smáčená v nádobce s destilovanou vodou

Teploměr měřící maximální teplotu

- určuje maximální denní teplotu
- je umístěn s mírným sklonem teploměrnou nádobkou dolů [19]

Teploměr měřící minimální teplotu

- určuje minimální denní teplotu
- je umístěn ve vodorovné poloze [19]

Vlasový vlhkoměr

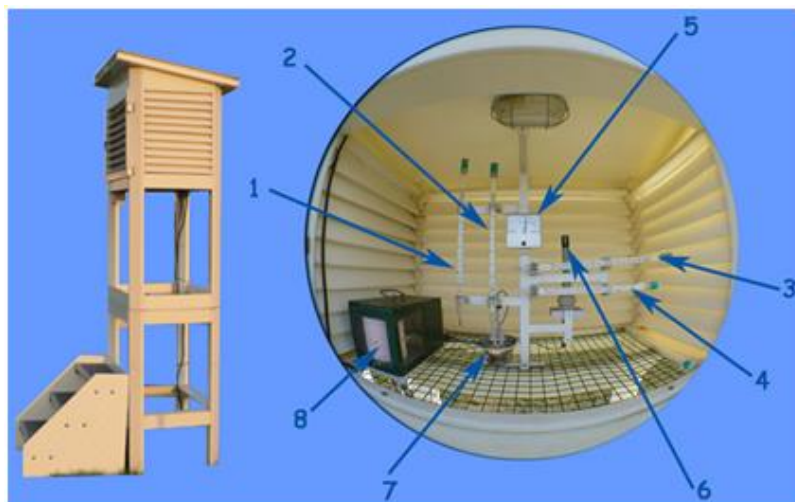
- slouží k měření relativní vlhkosti vzduchu

Záznamník teploty

- slouží k zapisování teplot v průběhu času

Půdní teploměr

- slouží pro měření teploty půdy v různých hloubkách



Obr. 9 Meteorologická budka a její vybavení [22]

1 – staniční (suchý) teploměr; 2 – vlhký tepoměr; 3 – teploměr měřící maximální teplotu; 4 – teploměr měřící minimální teplotu; 5 – vlasový vlhkoměr; 6 – teplotně vlhkosní sonda; 7 – nádobka na destilovanou vodu; 8 – záznamník teploty

A.7.1.2 Měření směru a rychlosti větru

Přístroje, jenž měří směr a rychlost větru se umísťují na meteorologický stožár do výšky 10 až 12 metrů. [19]

Směrovka větru

- udává směr větru



Obr. 10 Směrovka větru [22]

■ Miskový anemometr

- měří rychlost větru v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

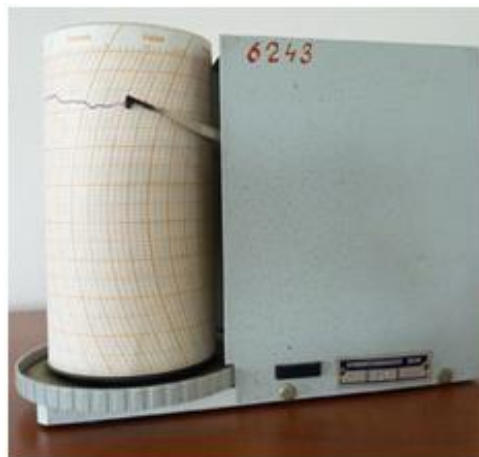


Obr. 11 Miskový anemometr [22]

A.7.1.3 Měření tlaku vzduchu

Mikrobarograf

- v dnešní době je jeho využití nízké a je nahrazen digitálním tlakoměrem
- jeho výhoda ale spočívá v tom, že k jeho provozu není nutný elektrický proud a při pohledu na něj, lze okamžitě zjistit, zda tlak stoupá, klesá nebo je vyrovnaný [22]



Obr. 12 Mikrobarograf [22]

A.7.1.4 Měření slunečního záření

Pyranometr

- je nejčastěji používaným přístrojem pro měření slunečního záření
- slouží k měření celkového slunečního záření (přímého a difúzního)



Obr. 13 Pyranometr [22]

Pyranometr se stínícím prstencem

- stínící prstenec vrhá na pyranometr stín, proto měří pouze hodnotu difúzního záření



Obr. 14 Pyranometr se stínícím prstencem [22]

A.7.1.5 Měření množství srážek

Srážkoměr

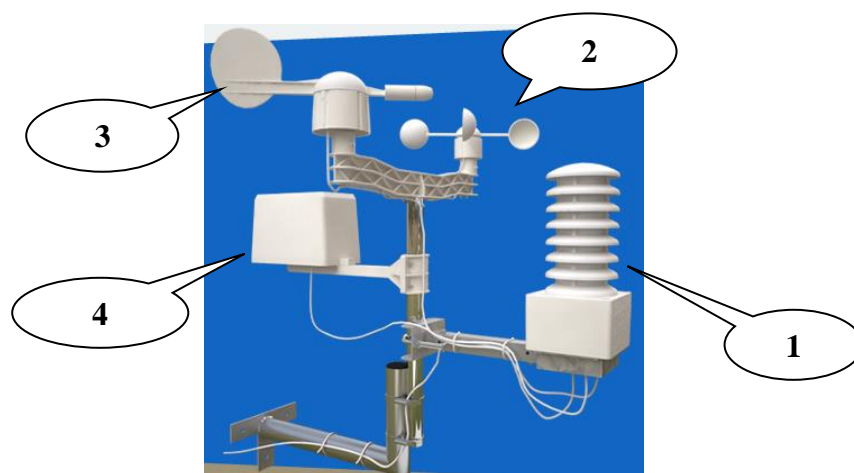
- musí být umístěn na volném prostranství a na nevětrném místě
- za srážky považujeme vodu v kapalném (déšť, mrholení) a pevném (sníh, ledové kroupy) skupenství



Obr. 15 Srážkoměr [22]

A.7.2 Automatické meteorologické stanice

Automatické meteorologické stanice (**Obr. 16**) většinou obsahují multifunkční meteo - snímač (1), anemometr (2), větrnou směrovku (3) a srážkoměr (4). Multifunkční meteo - snímač měří například teplotu a vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a intenzitu slunečního záření.



Obr. 16 Automatická meteorologická stanice [23]

A.8 Specifikace měřících zařízení pro měření mikroklimatických veličin

Mezi měřené mikroklimatické veličiny patří především veličiny ovlivňující pocit pohody člověka v prostoru. Jedná se o teplotu, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu.

A.8.1 Měření teploty

Datalogger Comet S3120

- měřidlo obsahuje čidlo pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu
- zaznamenává také teplotu rosného bodu z naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu



Obr. 17 Datalogger Comet S3120 [24]

Dotykový teploměr

- měří povrchovou teplotu materiálu kontaktem
- slouží například k měření teploty povrchu podlah a zdí



Obr. 18 Dotykový teploměr [25]

Infračervený teploměr

- měří povrchovou teplotu materiálů na základě bezdotykového způsobu měření



Obr. 19 Infračervený teploměr [26]

Kulový teploměr

- slouží k měření výsledné teploty kulového teploměru
- v praxi se používá koule o průměru 150 mm, případně 100 mm
- tvoří jej černá koule potažená černým absorpčním materiálem, která má ve středu teplotní čidlo (např. baňka rtuťového teploměru nebo termočlánek)



Obr. 20 Kulový teploměr [27]

Typy teploměrů pro měření výsledné teploty kulového teploměru

- Vernon - Joklův kulový teploměr (kulový tvar)



Obr. 21 Vernon - Joklův kulový teploměr [28]

- Missénárdűv válcov y teploměr (v lcov y tvar)



Obr. 22 Miss n rd v v lcov y teploměr [28]

A.8.2 Měření relativní vlhkosti vzduchu

Datalogger Comet S3120

- j z specifikován v kapitole A.8.1 - Měření teploty

Elektrolytick  vlhkoměr

- umožňuje měřit relativní vlhkost vzduchu pomocí dvou teplot, jsou to teplota okolního vzduchu a teplota elektrolytu
- jsou relativní p esn , je nutn  často obnovovat elektrolyt a kalibrovat



Obr. 23 Elektrolytick  vlhkoměr [29]

Vlasový vlhkoměr

- tento vlhkoměr funguje na principu prodloužení nebo deformaci organického materiálu - lidského vlasu



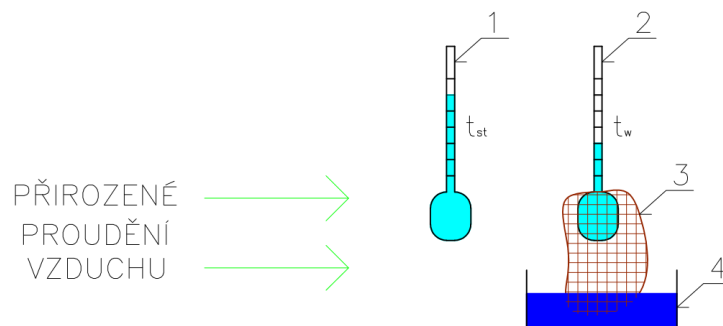
Obr. 24 Vlasový vlhkoměr [30]

Psychrometr

- je tvořen suchým a mokrým teploměrem
- teplota suchého teploměru je měřena volně v prostředí
- teplota mokrého teploměru je stanovena tak, že při odpařování destilované vody ze tkaniny je odebíráno teplo teploměrné nádobce mokrého teploměru, rychlost odběru tepla je závislá na relativní vlhkosti vzduchu
- po zjištění teplot na obou teploměrech můžeme stanovit hodnotu relativní vlhkosti početně nebo graficky v Mollierově $h - x$ diagramu

1. Augustův psychrometr

- proudění vzduchu je zajištěno přirozeným způsobem
- z důvodu nízké přesnosti měření jej nelze použít pro přesná měření



Obr. 25 Princip Augustova psychrometru

1 – suchý teploměr; 2 – mokrý teploměr; 3 - smáčená tkanina; 4 – nádobka s destilovanou vodou;
 t_{st} – teplota suchého teploměru; t_w – teplota mokrého teploměru



Obr. 26 Augustův psychrometr [31]

2. Assmanův aspirační psychrometr

- v praxi je nejpoužívanější
- proudění vzduchu je zajištěno pomocí ventilátorku, který je poháněn buď hodinovým strojkem, nebo elektrickým proudem



Obr. 27 Assmanův aspirační psychrometr [32]

A.8.3 Měření rychlosti proudění vzduchu

Všesměrová čidla

- (např. anemometr se zahřívanou kuličkou, termistorový anemometr, ultrazvukový anemometr) [33]



Obr. 28 Anemometr se zahřívanou kuličkou [33]

Směrová čidla

- lze je použít tam, kde známe převládající směr proudění vzduchu
- například lopatkové anemometry, anemometr se žhaveným vláknem [33]



Obr. 29 Lopatkový anemometr [33]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ MALACH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2016

B.1 Metodika měření energetických toků budov

Při každém měření se lze dopustit určitých chyb a práce s termokamerou není výjimkou. Chyby vedou ke špatně naměřeným hodnotám a nesprávně stanoveným závěrům. Aby byly naměřené hodnoty co nepřesnější, je důležité dodržet následující zásady.

Vlastní chyba termokamery

- jedná se o chybu, kterou nemůžeme během měření ovlivnit
- je udávána výrobcem dané termokamery
- o přesnosti vypovídá také její vyšší pořizovací cena
- většina termokamer má přesnost $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ nebo 2 %

Nastavení emisivity

- správné nastavení emisivity ovlivňuje výsledek měření
- pokud nastavíme hodnotu emisivity vyšší než je ve skutečnosti, termokamera bude očekávat více tepelného záření, ale jelikož naměří menší hodnotu tepelného záření, určí, že je povrchová teplota nižší [34]
- naopak, pokud nastavíme hodnotu emisivity menší než je ve skutečnosti, termokamera určí, že je povrchová teplota vyšší [34]

Vliv tepelného záření

- ohřáté povrchy těles vlivem tepelného záření dosahují vyšší hodnoty povrchové teploty
- mezi zdroje tepelného záření patří například sluneční záření, v hutním průmyslu vysoká pec a v domácnosti otopná tělesa
- pokud měříme termokamerou v oblasti zdrojů tepelného záření je nutno uvést, že naměřené hodnoty jsou do jisté míry ovlivněny právě tímto tepelným zářením

Mezi další faktory, které ovlivňují přesnost měření patří okolní teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu.

Dodržením správného postupu během měření dospějeme ke stanovení co nejvíce přesných výsledků.

B.1.1 Vyhodnocení pořízených termosnímků

Měření termokamerou probíhalo 26. 1. 2016 přibližně v době od 7:53 do 8:15. Jedná se o rodinný dům v Brně na ulici Fialová. Veškeré termosnímký byly pořízeny z exteriéru.

Klimatická data v době měření

Klimatická data byla pořízena na meteorologické stanici Centra AdMaS v Brně na ulici Purkyňova. Meteorologická stanice je vzdálená od místa měření přibližně 1,2 km vzdušnou čarou.



Obr. 30 Vzdálenost meteorologické stanice a místa měření

- teplota vzduchu + 2,08 °C až + 2,62 °C
- relativní vlhkost vzduchu 94,57 % až 94,63 %
- rychlost větru 0 m·s⁻¹
- dopad slunečního záření 14,2 W·m⁻² až 40,9 W·m⁻²

Pro pořízení termosnímků byla použita termokamera FLUKE Ti45 a pro pozdější úpravu a vyhodnocení byl použit program SmartView 3.6, v němž je možné zjistit informace o termosnímku, měnit hodnotu emisivity, určit maximální a minimální hodnotu povrchové teploty, zjistit povrchovou teplotu v jakékoliv části konstrukce, označit danou oblast a také lze zobrazit termosnímek ve 3D.

Termokamera FLUKE Ti45

- kalibrovaný rozsah měření teploty - 20 °C až + 100 °C
- přesnost měření ± 2 °C nebo 2 %



Obr. 31 Termokamera FLUKE Ti45 [35]

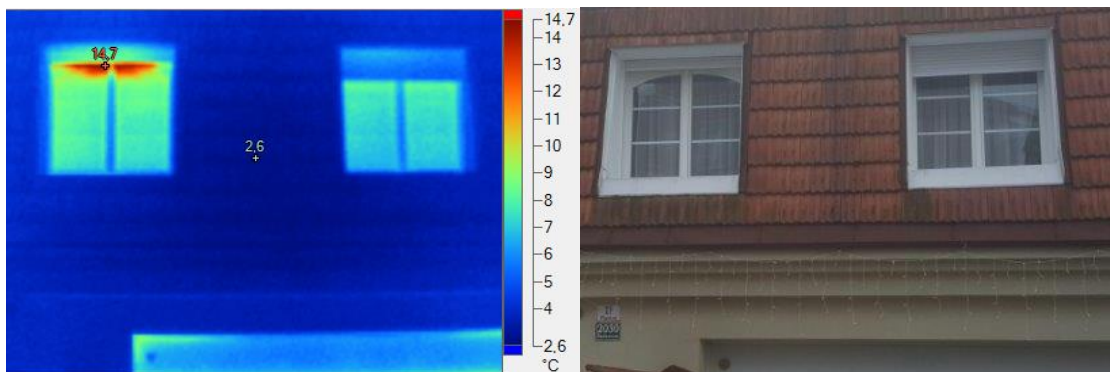
Rodinný dům na ulici Fialová v Brně



Obr. 32 Pohled na dům z ulice Fialová

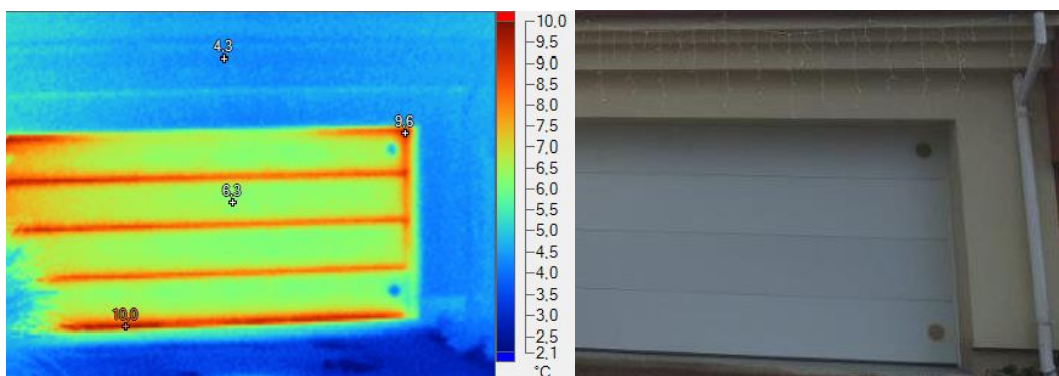


Obr. 33 Pohled na dům ze zahrady



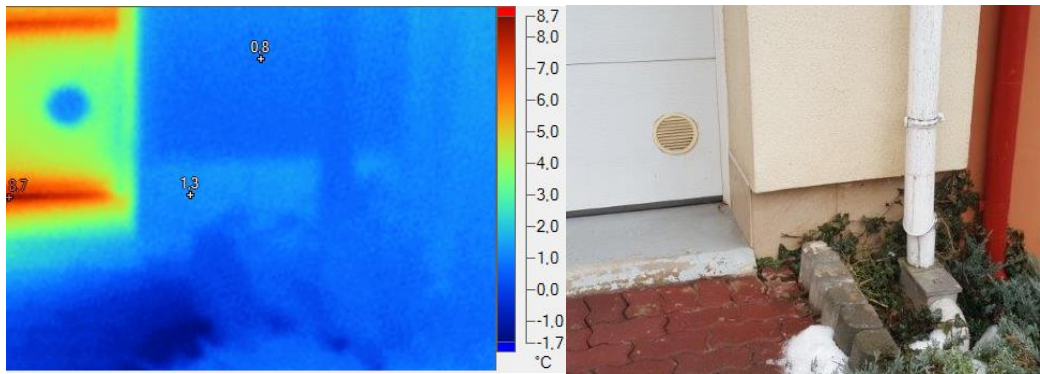
Obr. 34 Pohled na obvodový plášť z ulice

- větší tepelné ztráty jsou viditelné pouze u okna vlevo, kterým se právě větralo, případně bylo nedovřené



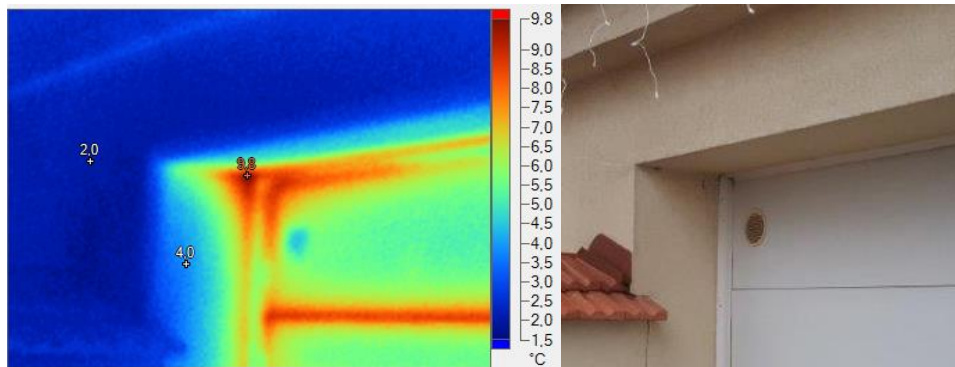
Obr. 35 Garážová vrata

- větší tepelné ztráty jsou viditelné ve spárách jednotlivých dílců, tvořící garážová vrata
- zamezení úniků tepla mezi spárami jednotlivých dílců garážových vrat nelze během montáže nijak ovlivnit
- jelikož je ve většině případů garáž řešena jako temperovaný, případně nevytápěný prostor, nejsou tepelné ztráty příliš vysoké



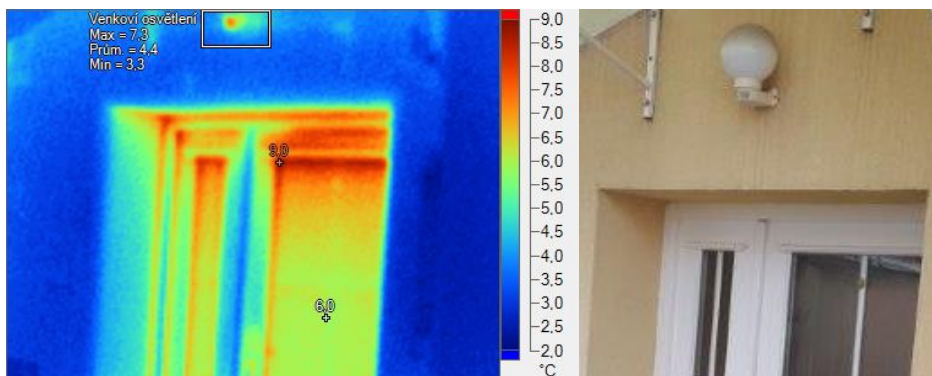
Obr. 36 Sokl

- v části soklu je povrchová teplota o 0,5 °C vyšší, než je povrchová teplota okolního zdiva
- nemusí se jednat o tepelný most
- sokl je obložen keramickým obkladem, pro který je nutno nastavit jinou emisivitu než pro okolní zdivo



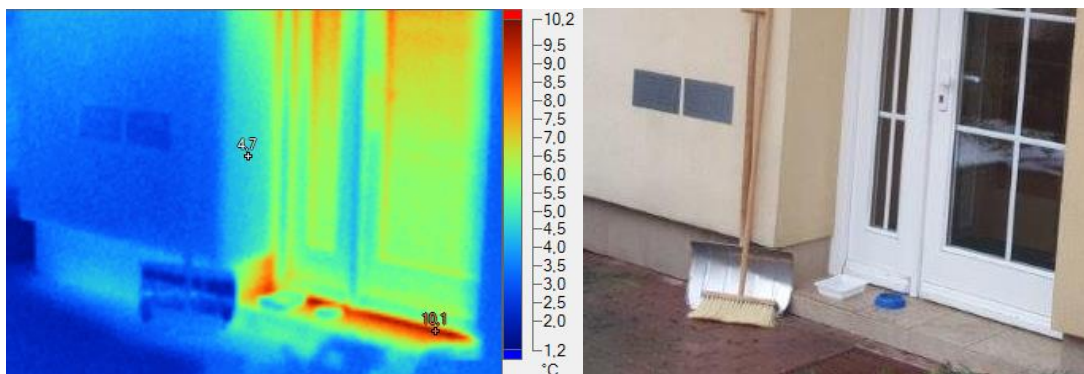
Obr. 37 Horní kout garážových vrat

- v oblasti napojení rámu výplně otvorů k obvodovému zdivu vznikají problematické zóny
- je viditelný větší únik tepla a tím i vysoká hodnota povrchové teploty



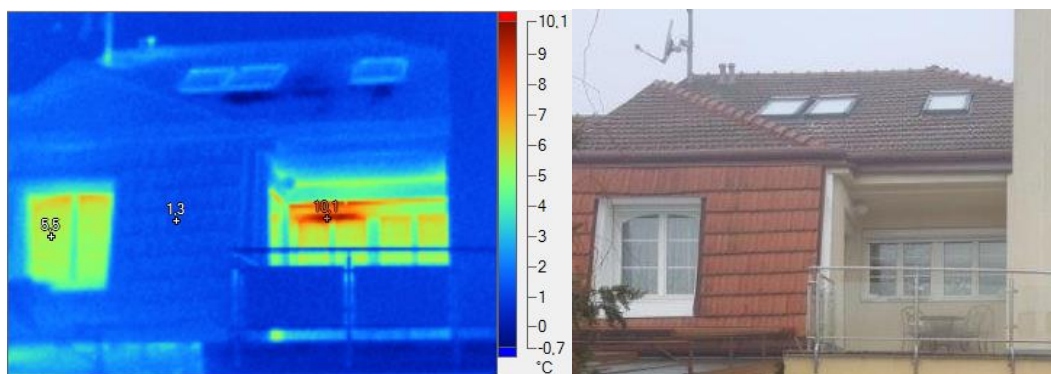
Obr. 38 Vstupní dveře

- v horní části termosnímku se nejedná o problematickou část v konstrukci, ale o venkovní osvětlení
- elektrický proud vyvíjí také značné teplo, proto jej termokamera detekuje
- bleděmodré flíčky v okolí osvětlení taktéž neupozorňují na problematiku v konstrukci, ale jde o kovové konzolky nesoucí přístřešek nad vstupními dveřmi
- celkem velká je povrchová teplota v oblasti mezi rámem dveří a skleněnou výplní dveří



Obr. 39 Spodní část vstupních dveří

- větší tepelný únik je vlivem netěsnosti mezi dveřním křídlem a prahovou lištou



Obr. 40 Pohled na rodinný dům ze zahrady

- okno v levé části je zavřené, kdežto oknem vpravo se větrá
- teplý vzduch unikající z místnosti ohřívá také část konstrukce nad oknem

Cílem experimentálního měření bylo seznámit se s měřením termokamerou, poříditi termosnímky a provést jejich vyhodnocení.

B.2 Metodika měření kvality vnitřního prostředí a klimatických dat

B.2.1 Specifikace měření tepelně vlhkostního mikroklimatu

Teplotu a relativní vlhkost vzduchu uvnitř budov měříme teploměrem a vlhkoměrem. Existuje celá řada těchto přístrojů. Ve většině případů se využívají měřidla, která zároveň měří teplotu i relativní vlhkost vzduchu. Pro stanovení operativní teploty je nutno měřit nejen teplotu vzduchu, ale také výslednou teplotu kulového teploměru (naměřená pomocí kulového teploměru) a rychlost proudění vzduchu.

Měřidlo je nutné umístit v místnosti tak, aby nedocházelo k ovlivňování měřené veličiny okolními vlivy, proto měřidlo neumísťujeme například k oknům, pod vyústky vzduchotechniky nebo ke zdrojům tepla (otopná tělesa, prvky umělého osvětlení). Nejvhodnější místo pro umístění těchto měřidel je ve středu místnosti. Pro zajištění přesnosti naměřených údajů je dobré umístit do místnosti dvě stejná měřidla vedle sebe a naměřená data mezi sebou porovnat.

Kromě teploty vzduchu se také měří výsledná teplota kulového teploměru. Tuto teplotu získáme z měření pomocí kulového teploměru. Tato teplota zahrnuje vliv teploty okolního vzduchu, okolních stěn a rychlosti proudění okolního vzduchu. Většinou se používá koule potažená černým absorpčním materiálem o průměru 100 mm nebo 150 mm.

Norma ČSN EN ISO 7726 udává doporučené výšky nad zemí pro umístění měřidla. Doporučené hodnoty jsou uvedeny v **Tab. 3**

Oblast měření	Doporučené výšky pro umístění čidla daného měřidla při měření [m]	
	Sedící osoba	Stojící osoba
Úroveň hlavy	1,1	1,7
Úroveň břicha	0,6	1,1
Úroveň kotníků	0,1	0,1

Tab. 3 Doporučené měřicí výšky pro měření veličin ve vnitřním prostředí [36]

Umístěné měřidlo neměří ihned přesnou hodnotu. Je potřeba uvažovat s určitou dobou pro dosažení rovnovážného stavu.

Pokud je naším cílem stanovit teplotu operativní, musíme znát také střední radiační teplotu. Tu lze stanovit na základě měření kulovým teploměrem dle vzorce (1.20) pro kulový teploměr o průměru 100 mm a dle vzorce (1.21) pro kulový teploměr o průměru 150 mm. [37]

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.20)$$

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.21)$$

t_g výsledná teplota kulového teploměru [°C]

v_a rychlost proudění vzduchu [m·s]

t_a teplota vzduchu [°C]

Jestliže známe veškeré potřebné veličiny pro stanovení operativní teploty, můžeme ji vypočítat ze vzorce (1.22). [38]

$$t_o = t_r + A(t_a - t_r) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.22)$$

t_r střední radiační teplota [$^\circ\text{C}$]

t_a teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$]

A hodnota závislá na rychlosti proudění vzduchu [-] (pokud je rychlost proudění vzduchu menší než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je $A = 0,5$); hodnoty jsou uvedeny v **Tab. 4**

$v_a \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
$A \text{ [-]}$	0,50	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75

Tab. 4 Závislost hodnoty A na rychlosti proudění vzduchu [38]

Pokud je rychlost proudění vzduchu menší než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lze uvažovat za hodnotu operativní teploty (t_o) výslednou teplotu kulového teploměru (t_g). [38]

$$t_o = t_g \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.23)$$

t_g výsledná teplota kulového teploměru [$^\circ\text{C}$]

B.2.1.1 Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu v místnosti

Základní informace o měření:

- jedná se o byt v Rájci – Jestřebí
- typ bytu je 3 + 1 a obývají jej 3 osoby
- obytná plocha bytu: 64,47 m²
- plocha obývacího pokoje: 15,98 m²
- světlá výška: 2,6 m
- měřicí období: 10. 3. 2016 18:00 až 15. 3. 2016 6:00
- časový krok měření: 10 minut

Identifikace měřícího zařízení (Datalogger Comet S3120)

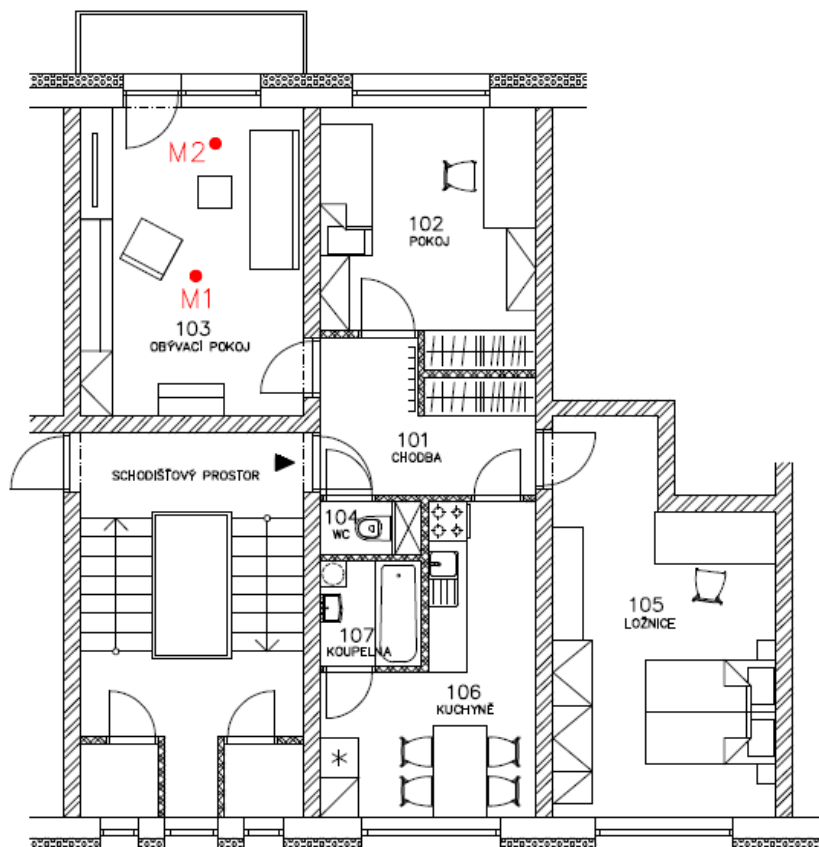
- provozní teplota - 30 °C až + 70°C
- rozsah měření teploty - 30 °C až + 70°C s přesností ± 0,4 °C
- rozsah měření relativní vlhkosti 0 % až 100 % s přesností ± 2,5 %
- rozsah výpočtu teploty rosného bodu - 60 °C až +70 °C s přesností ± 1,5 °C

Teplota rosného bodu je vypočtená veličina na základě naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu.

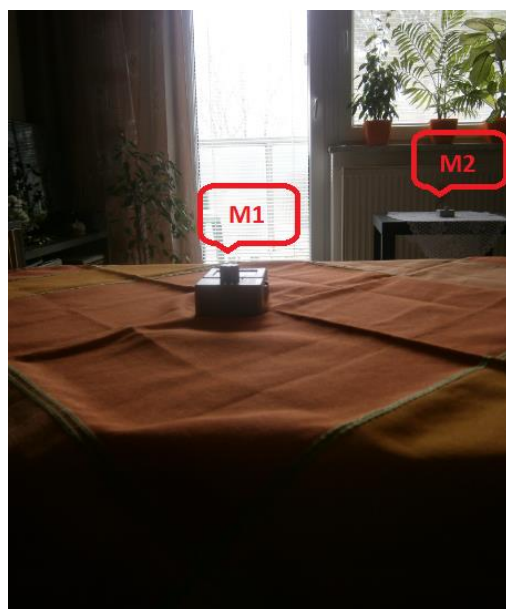


Obr. 41 Datalogger Comet S3120

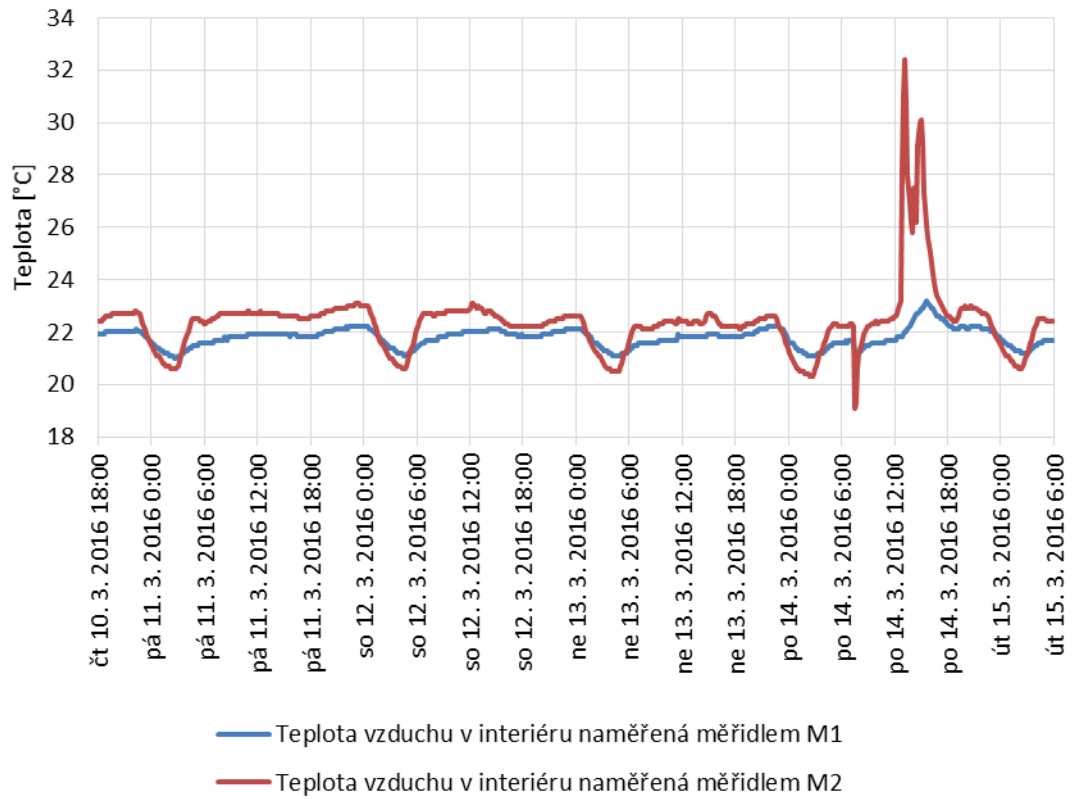
Do obývacího pokoje byly umístěny dva stejné typy dataloggerů Comet S3120. Správně umístěný datalogger má označení M1 a datalogger umístěný na nevhodném místě má označení M2. Detail umístění je označen na (Obr. 42).



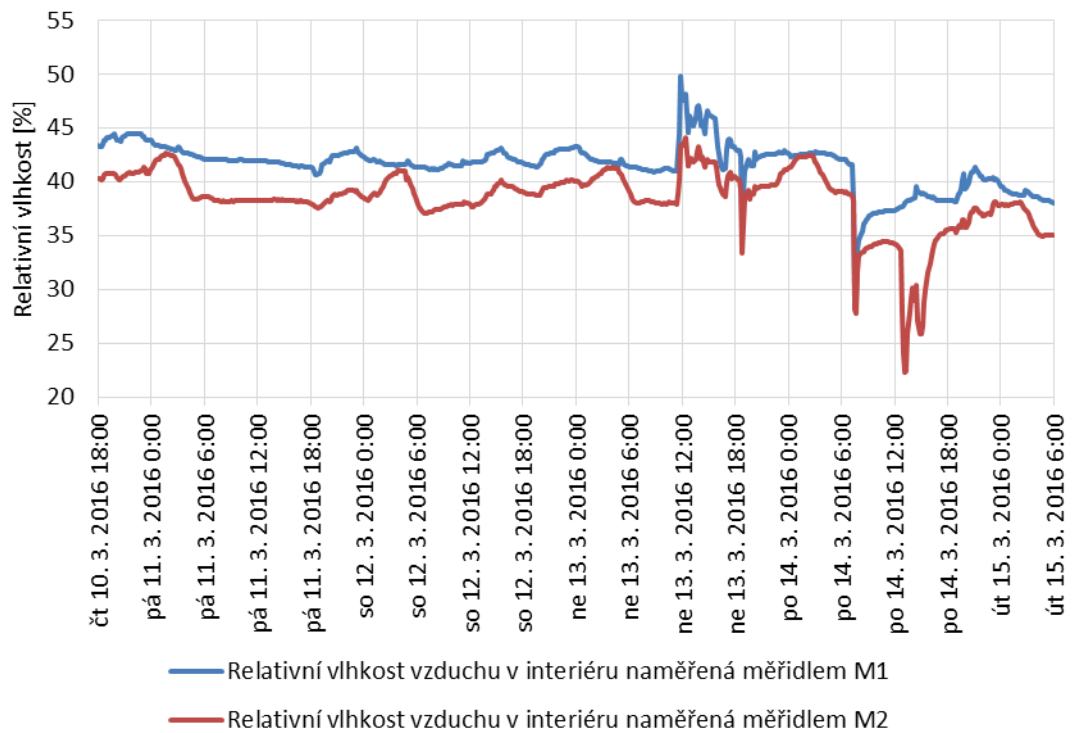
Obr. 42 Půdorys bytu a označení polohy měřidel



Obr. 43 Poloha měřidel v místnosti



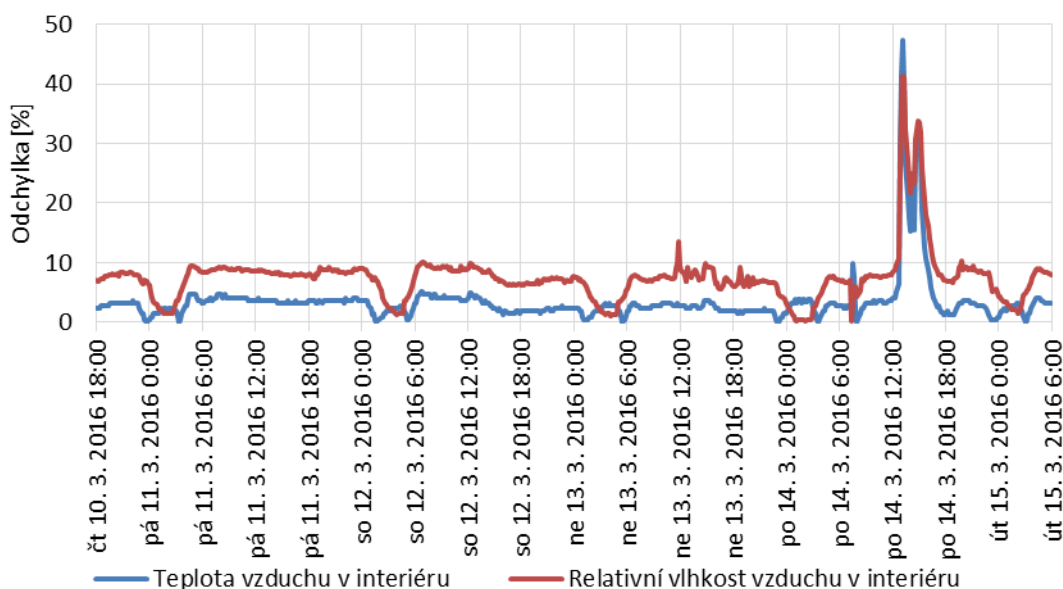
Graf 1 - Průběh teploty vzduchu v obývacím pokoji



Graf 2 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v obývacím pokoji

Z **Grafu 1** a **Grafu 2** je patrné, že měřidlo M1, které bylo umístěno na správném místě naměřilo nižší hodnoty teploty vzduchu a vyšší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu. Měřidlo M2 naměřilo vyšší hodnoty teploty vzduchu a nižší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu z toho důvodu, že bylo vystaveno těsné blízkosti otopného tělesa. Křivky znázorňující průběh teplot a relativní vlhkosti se ve většině případů kopírují, akorát mají jiné hodnoty. Velký rozdíl teplot a relativní vlhkosti byl zaznamenán 14.3. 2016 od 12:00 do 15:00. Teplota vzduchu na měřidle M2 vystoupala až nad 32 °C a relativní vlhkost vzduchu klesla téměř na 20 %. Příčinou bylo sluneční záření, které začalo v tomto časovém intervalu osluňovat měřidlo M2.

Průběh odchylky teploty a relativní vlhkosti vzduchu měřidla M2 od měřidla M1 je znázorněn v **Grafu 3**. V době, kdy na měřidlo M2 svítilo slunce, se odchylka naměřených veličin pohybovala přes 40 %.



Graf 3 - Průběh odchylky měřidla M2 od měřidla M1

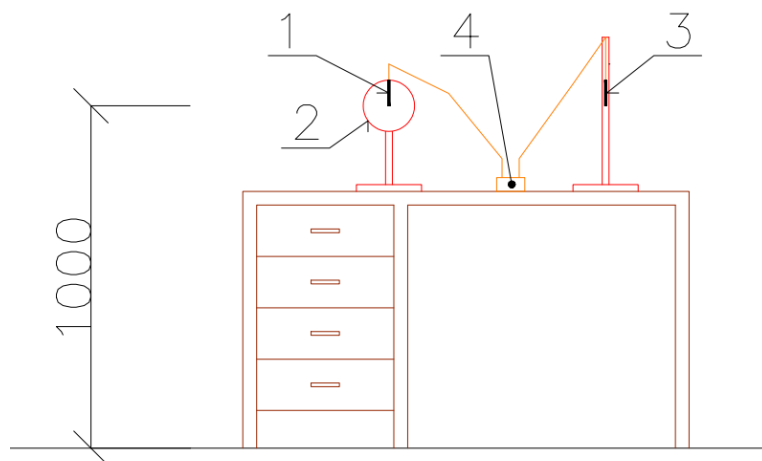
Cílem tohoto experimentálního měření bylo zaznamenání teploty a relativní vlhkosti vzduchu na dvou místech v dané místnosti. Měřidlo M1 bylo správně umístěné, proto jsou data naměřená tímto měřidlem uznána jako správná. Měřidlo M2 bylo umístěné na nevhodném místě, kde bylo po celou dobu měření ovlivňováno otopným tělesem a v jednu chvíli i slunečním zářením. Z těchto důvodů jsou data naměřená měřidlem M2 uznána jako nesprávná.

B.2.1.2 Porovnání teploty vzduchu a operativní teploty v kanceláři

Základní informace o měření:

- měřicí období: od 30. 7. 2013 0:00 do 31. 7. 2013 0:00
- časový krok měření: 10 minut
- rychlost proudění vzduchu se v kanceláři pohybovala v hodnotách menších než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

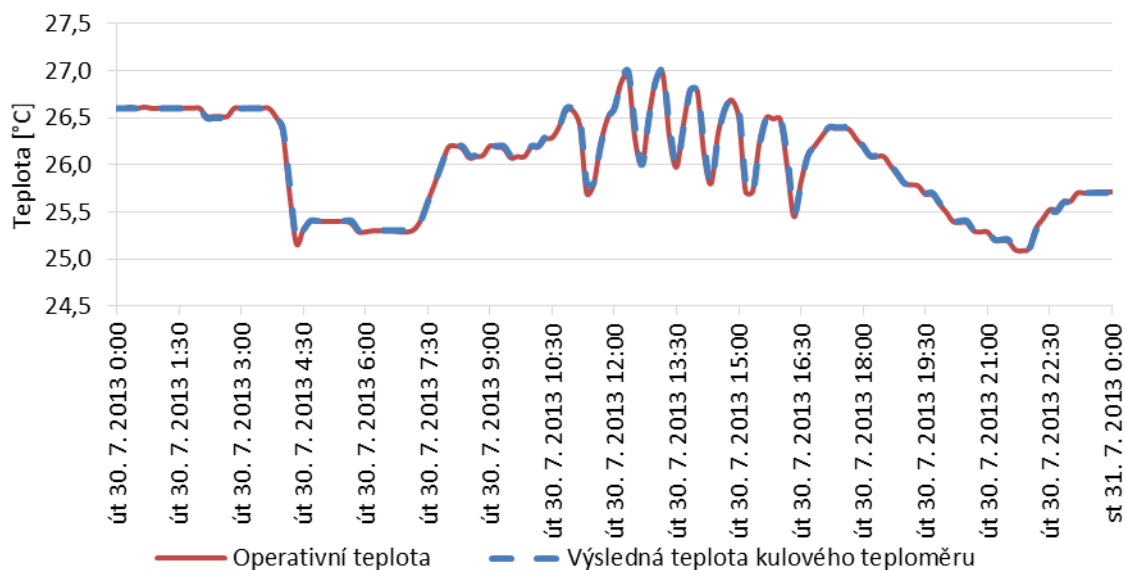
Pro měření výsledné teploty kulového teploměru byl použit kulový teploměr o průměru 150 mm umístěný ve výšce 1,0 m nad zemí a teplotní čidlo dataloggeru Comet umístěné uvnitř kulového teploměru. Teplota vzduchu byla měřena teplotním čidlem dataloggeru Comet taktéž umístěném ve výšce 1,0 m nad zemí.



Obr. 44 Schéma rozmístění měřidel

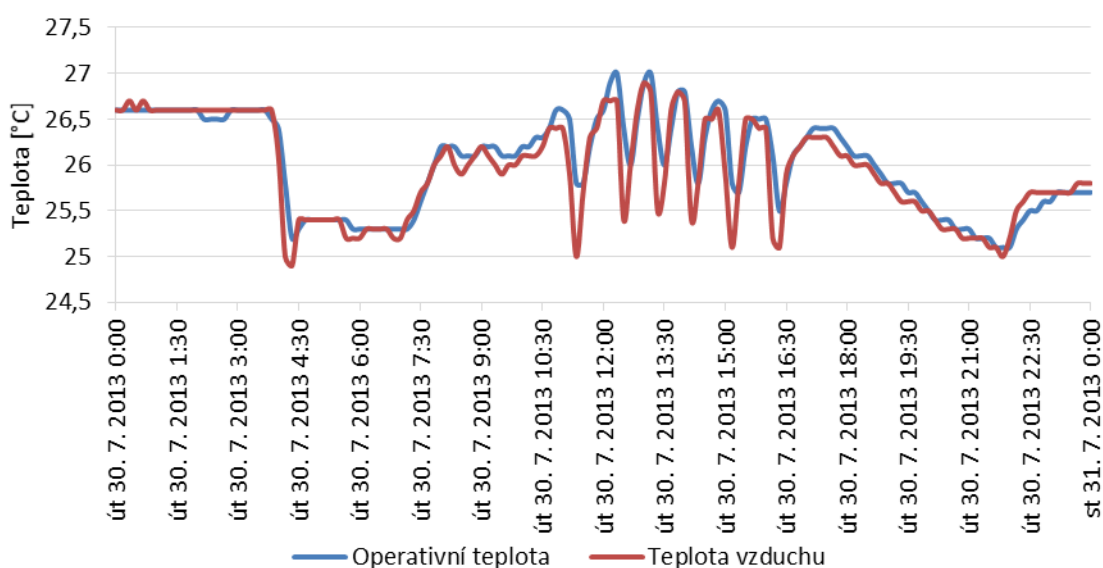
1 - teplotní čidlo umístěné uvnitř kulového teploměru, 2 - kulový teploměr o průměru 150 mm, 3 - teplotní čidlo volně zavěšené ve výšce 1 000 mm nad zemí, 4 - datalogger s teplotními čidly

Pro výpočet operativní teploty do **grafu 4** uvažuji vzorec (1.22) uvedený v kapitole **B.2.1**. Nejprve je však nutné určit střední radiační teplotu, kterou lze vypočítat pomocí vzorce (1.21) - vzorec pro kulový teploměr o průměru 150 mm, který je taktéž uvedený v kapitole **B.2.1**.



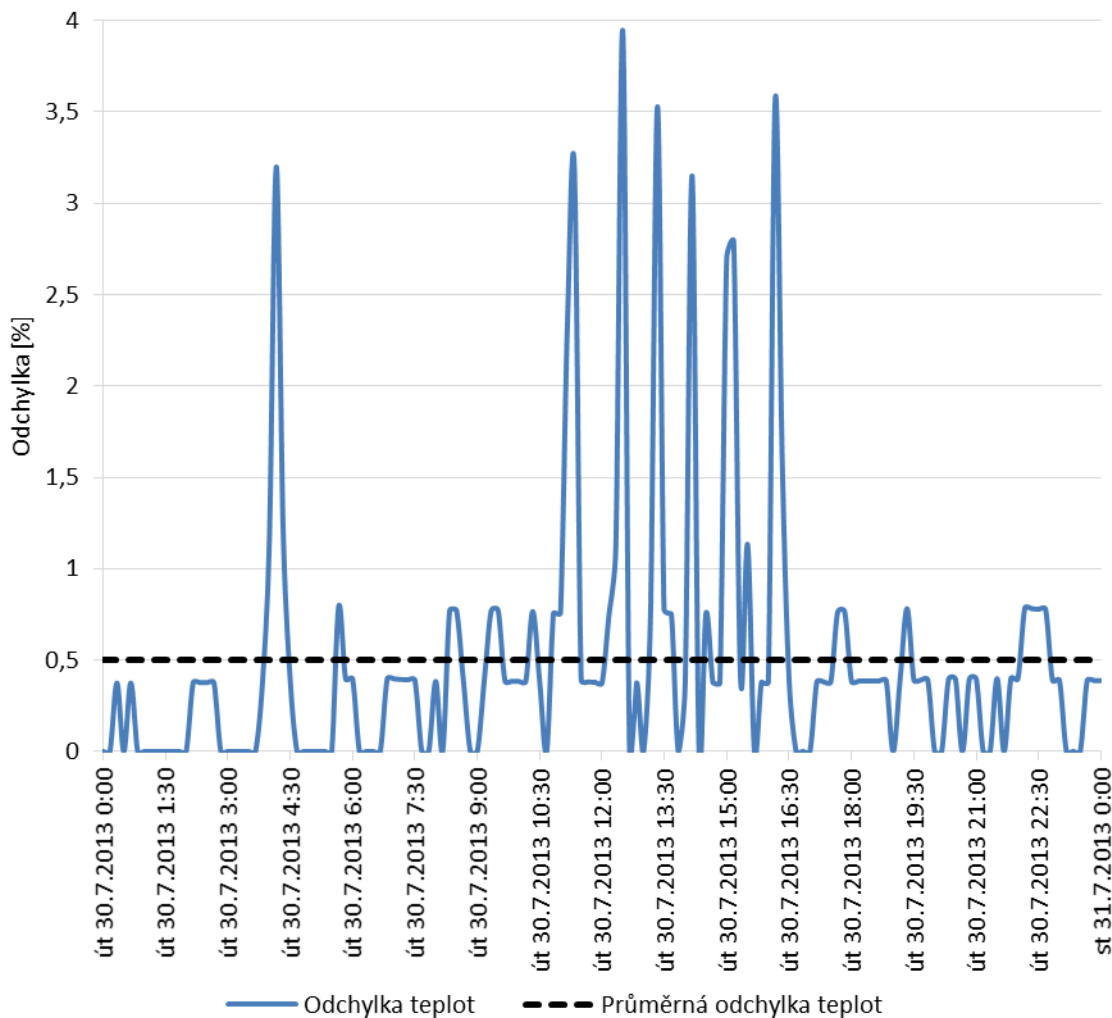
Graf 4 - Porovnání výsledné teploty kulového teploměru a teploty operativní

V **grafu 4** jsou znázorněny průběhy výsledné teploty kulového teploměru (naměřené kulovým teploměrem o průměru 150 mm) a teploty operativní (vypočtené). Průběhy jsou téměř v celém intervalu totožné. Z toho vyplývá, že pokud je rychlost proudění vzduchu v posuzované místnosti menší než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, není nutné počítat operativní teplotu a můžeme použít výslednou teplotu kulového teploměru - vzorec (1.23) uvedený v kapitole **B.2.1**. Ukázka výpočtu pro jeden bod v **grafu 4** je uvedena v příloze **P1**. V **grafu 5** je tedy použita jako hodnota operativní teploty výsledná teplota kulového teploměru.



Graf 5 - Průběh operativní teploty a teploty vzduchu

Z **grafu 5** je patrné, že teplota operativní a teplota vzduchu mají jinou hodnotu. Odchytky těchto hodnot nejsou příliš veliké. Procentuální vyjádření odchytky operativní teploty od teploty vzduchu znázorňuje **graf 6**. Odchytky se pohybuje ve většině časového intervalu na hodnotě do 1 %. V některých případech dosahuje odchytky hodnot nad 3 %, ale i tak se průměrná odchytky rovná hodnotě 0,5 %, což není příliš velké číslo.



Graf 6 - průběh odchytky operativní teploty od teploty vzduchu

Cílem tohoto experimentálního měření bylo zjistit, zda je nutné počítat hodnotu operativní teploty, pokud je rychlost proudění vzduchu v místnosti menší než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo postačí výsledná teplota kulového teploměru (hodnota naměřená kulovým teploměrem) a jaké jsou rozdíly mezi hodnotami operativní teploty a teploty vzduchu.

B.2.2 Specifikace měření koncentrací vybraných škodlivin

Mezi škodliviny, které se nejčastěji hodnotí ve vnitřním prostředí, patří oxid uhličitý. Jeho množství v místnosti se měří přístrojem určeným pro záznam koncentrace oxidu uhličitého. Na trhu se pohybuje spousta těchto měřících zařízení. Jako u měřidel teploty a relativní vlhkosti vzduchu mohou tyto měřidla také měřit více veličin najednou. Jednotka, ve které se udává koncentrace CO₂ je ppm (parts per milion).

Umístění měřidla v místnosti je obdobné jako při měření teploty a vlhkosti vzduchu. Nejlépe je umístit uprostřed místnosti a ve výšce 1,1 m (v oblasti hlavy sedící osoby) nebo ve výšce 1,7 m (v oblasti hlavy stojící osoby). Nevhodné umístění je u oken a pod vyústkami vzduchotechniky. Dále také v oblasti kde může dojít k těsnému kontaktu vydechovaného vzduchu člověkem a čidlem měřidla.

B.2.2.1 Měření koncentrace CO₂ v místnosti

Měření probíhalo dvěma druhy přístrojů ve dvou místnostech. Proto bude toto měření rozděleno na dvě části.

Identifikace měřícího zařízení N1 (Datalogger Comet S3532)

- provozní teplota -30 °C až +70 °C
- rozsah měření teploty - 30 °C až + 70°C s přesností ± 0,4 °C
- rozsah měření relativní vlhkosti 0 % až 100 % s přesností ± 2,5 %
- rozsah výpočtu teploty rosného bodu - 60 °C až +70 °C s přesností ± 1,5 °C
- rozsah měření CO₂ 0 ppm až 10 000 ppm s přesností ±100 ppm

Teplota rosného bodu je vypočtená veličina na základě naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 45 Datalogger Comet S3532

Identifikace měřicího zařízení N2 (EASYCON AirStation CHM - AK - 02)

- provozní teplota 0 °C až + 50 °C
- rozsah měření CO₂ 0 ppm až 5 000 ppm s přesností ± 30 ppm
- rozsah měření teploty - 40 °C až + 80 °C s přesností ± 0,5 °C
- rozsah měření relativní vlhkosti 0 % až 100 % s přesností ± 2 % až 5 %
- rozsah měření osvětlení 0,1 lux až 40 000 lux



Obr. 46 EASYCON AirStation CHM - AK - 02

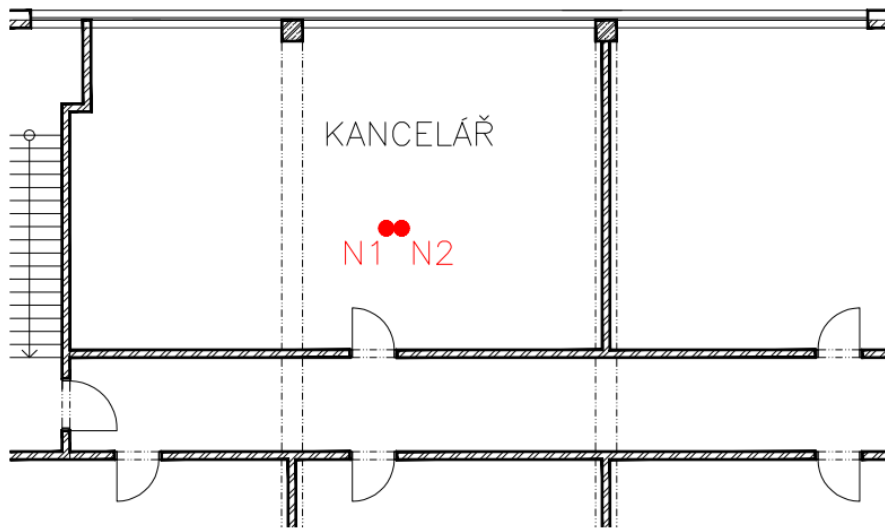
ČÁST I.

POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT ZE DVOU RŮZNÝCH TYPŮ MĚŘIDEL UMÍSTĚNÝCH VEDLE SEBE

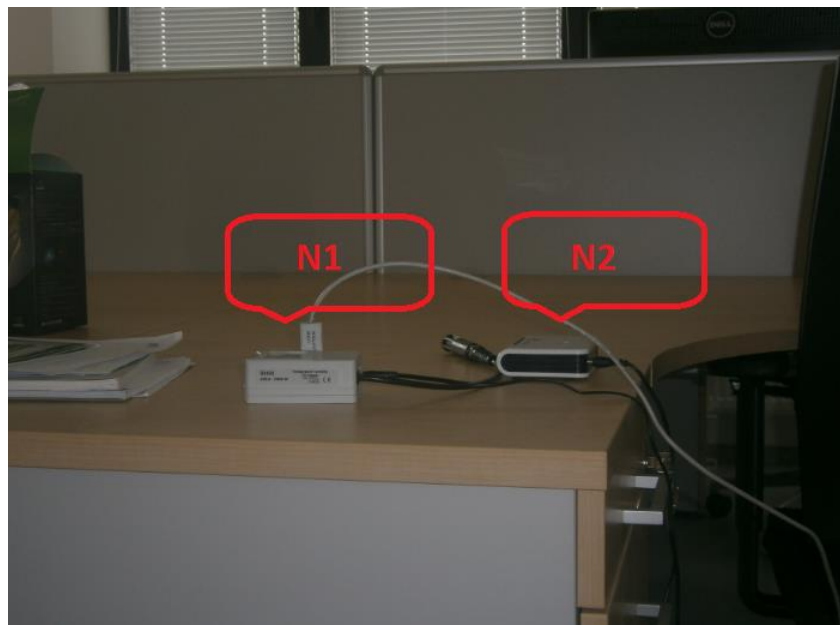
Základní informace o měření

- jedná se o měření v kanceláři v Centru AdMaS v Brně
- plocha místnosti je 62,16 m²
- světlá výška: 2,75 m
- orientace oken v kanceláři: jihozápad
- měřicí období: 7. 4. 2016 13:00 až 15. 4. 2016 0:00
- časový krok měření: 1 minuta

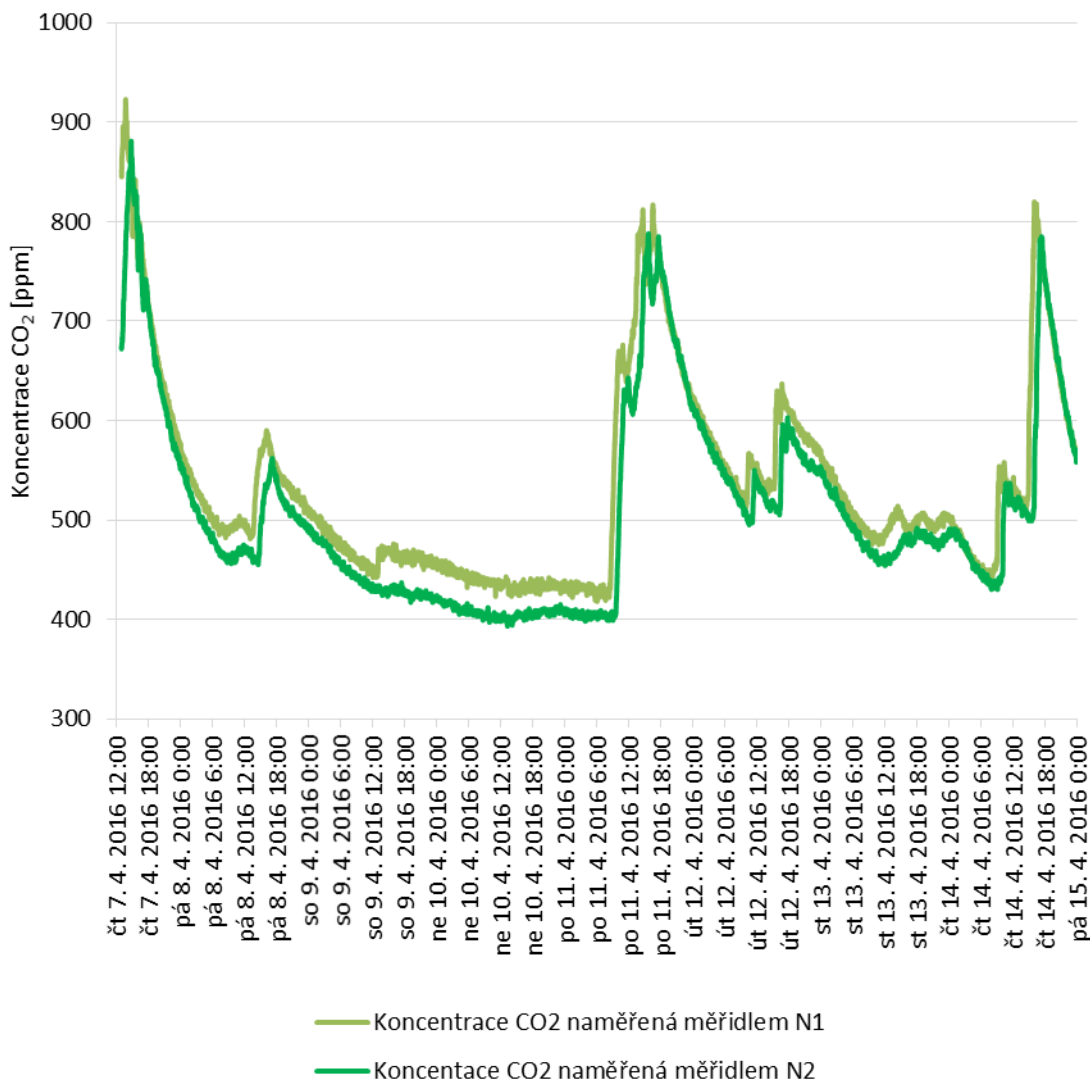
Do kanceláře byly umístěny dva typy měřidel s označením N1 a N2. Jejich poloha je znázorněná na (Obr. 47).



Obr. 47 Půdorys kanceláře a označení polohy měřidel

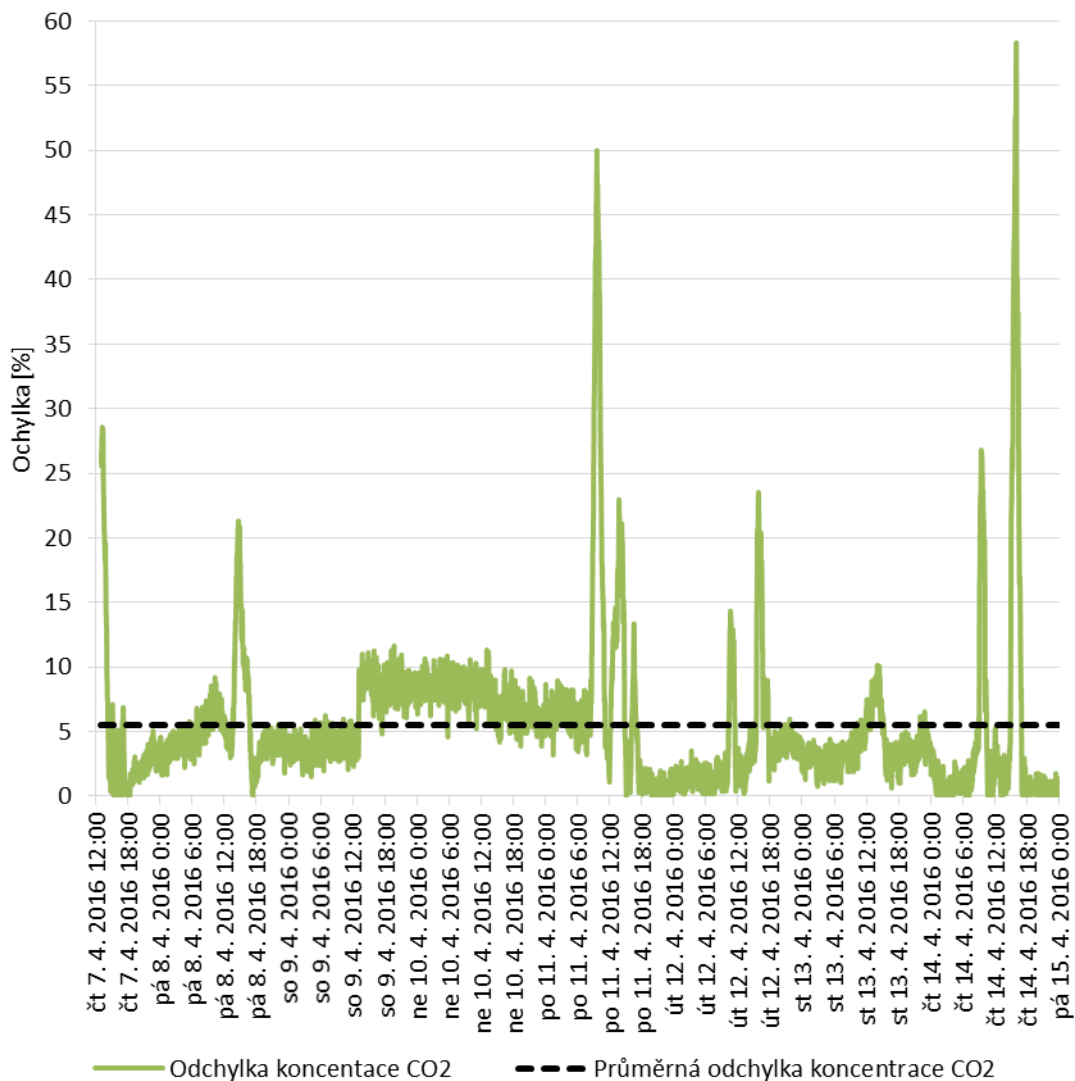


Obr. 48 Poloha měřidel v kanceláři



Graf 7 - Průběh naměřených koncentrací CO₂ na měřidle N1 a N2

Průběhy koncentrace CO₂ znázorněné v **grafu 7** jsou téměř shodné, akorát mají částečně odlišné hodnoty. Tyto nepřesnosti jsou dány přesností daného měřidla. Přesnost měřidla N1 je ± 100 ppm a měřidla N2 je ± 30 ppm. Z toho lze usoudit, že přesnější hodnoty naměřilo měřidlo N2. Je nutno dodat, že ani dvě stejná měřidla umístěná těsně vedle sebe nikdy neměří stejnou hodnotu.



Graf 8 - Průběh odchylky měřidla N1 od N2

Po většinu měřeného období se odchylka naměřených hodnot měřidlem N1 od hodnot naměřených měřidlem N2 liší o 10 % a méně. Tuto odchylku lze přirovnat k přesnosti měřidla. Průměrná odchylka se pohybuje kolem 5,2 %. Vzniklé vyšší krátkodobé i nižší dlouhodobé odchyly měření mohly také vzniknout vlivem pobytu osob v místnosti (těsný kontakt měřidla s vydechovaným vzduchem člověka, otevření dveří v místnosti, aj.).

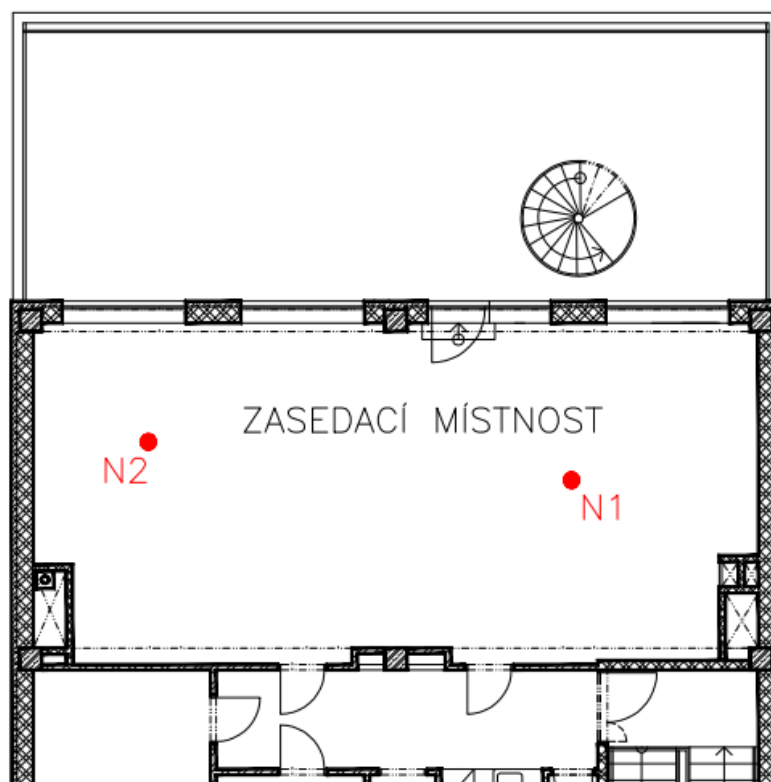
ČÁST II.

POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT ZE DVOU RŮZNÝCH TYPŮ MĚŘIDEL UMÍSTĚNÝCH NA DVOU RŮZNÝCH MÍSTECH V MÍSTNOSTI

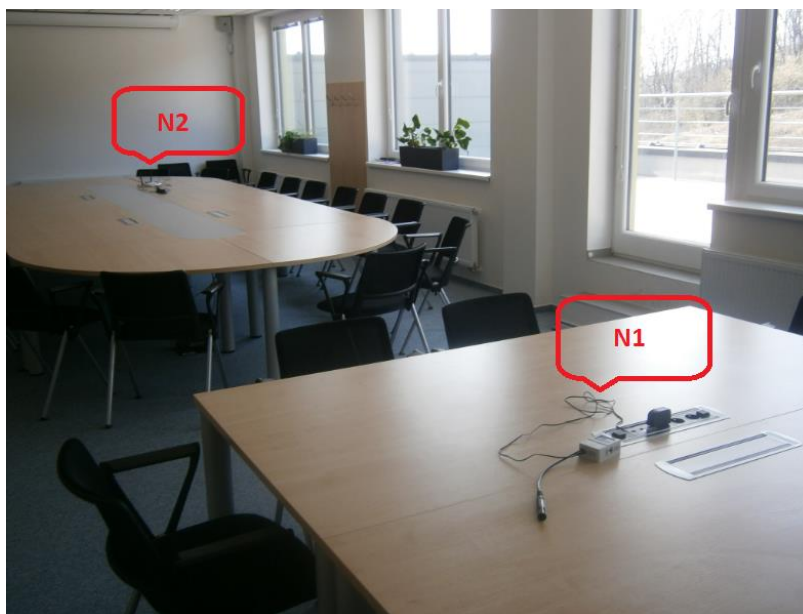
Základní informace o měření

- měření probíhalo v zasedací místnosti v Centru AdMaS v Brně
- plocha místnosti je 62,16 m²
- světlá výška: 2,75 m
- orientace oken v zasedací místnosti: jihozápad
- měřicí období: 11. 4. 2016 13:00 až 18. 4. 2016 0:00
- časový krok měření: 1 minuta

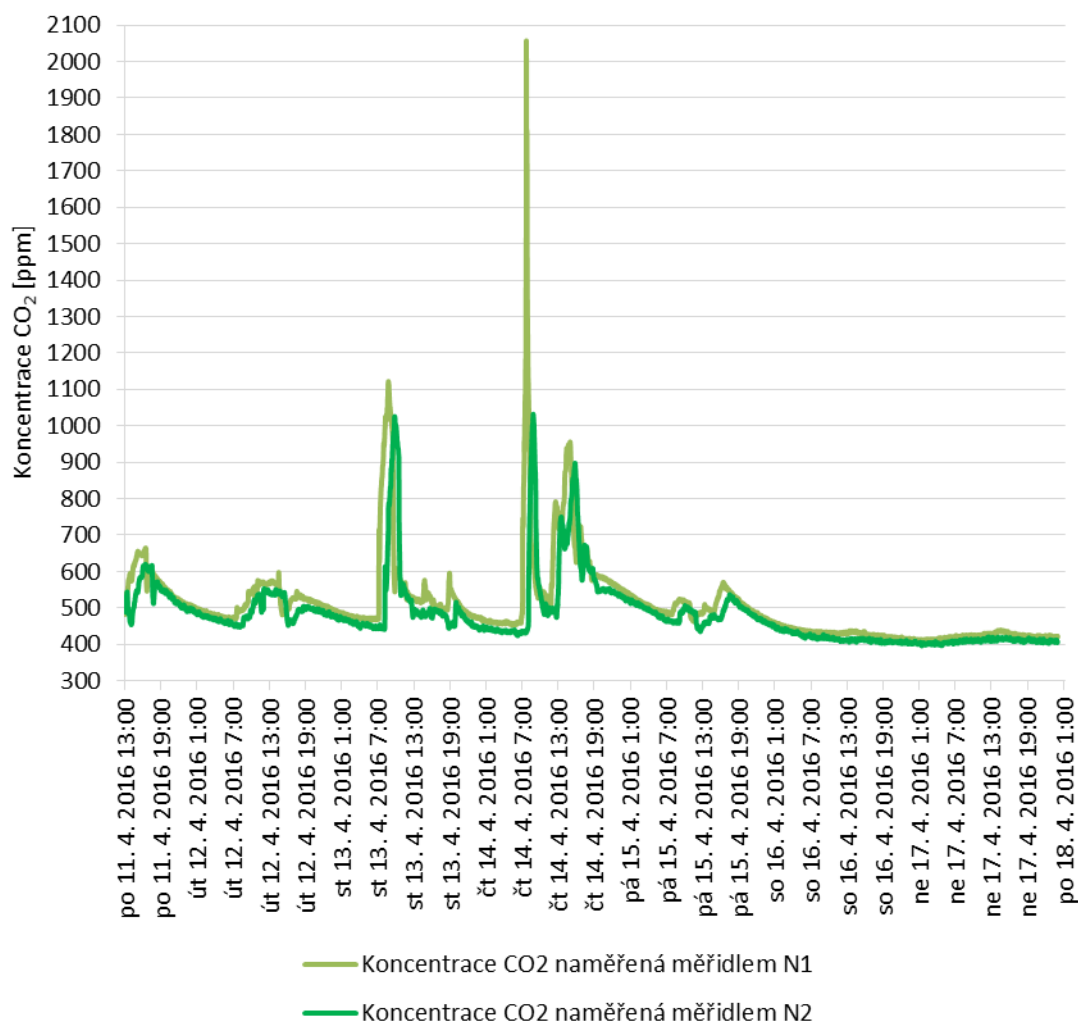
V zasedací místnosti byly umístěny dva typy měřidel s označením N1 a N2. Jejich poloha je znázorněná na (**Obr. 49**).



Obr. 49 Půdorys zasedací místnosti a označení polohy měřidel

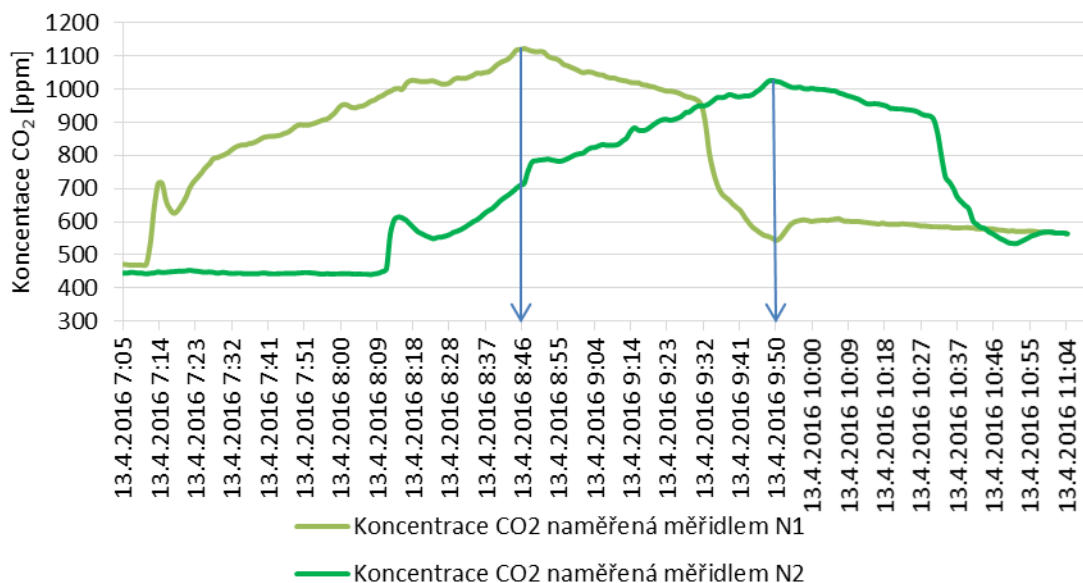


Obr. 50 Poloha měřidel v zasedací místnosti



Graf 9 - Průběh naměřené koncentrace CO₂ měřidlem N1 a N2

Z **grafu 9** je patrné, že měřidlo N1 bylo během obsazenosti v místnosti s vydechujícím vzduchem od přítomných osob v bližším kontaktu a měřidlo N2 bylo umístěno v místě, kde nedocházelo ke shromažďování osob a nebylo tak v blízkém kontaktu s vydechujícím vzduchem od přítomných osob. Lze usoudit, že 14. 4. 2016 v čase 7:00 až 8:00 bylo měřidlo N1 v těsném kontaktu s vydechovaným vzduchem od lidí. Hodnota vystoupala až k necelým 2 100 ppm.



Graf 10 - Čas za který naměří měřidla přibližně stejnou hodnotu při obsazení místnosti lidmi

Graf 10 znázorňuje čas, za který naměří měřidlo N2 přibližně stejnou hodnotu jako měřidlo N1. V tomto případě se jedná o cca jednu hodinu. Naměřená hodnota je také o něco nižší z důvodu promísení koncentrovaného vzduchu oxidem uhličitým se vzduchem čistým za dobu jedné hodiny. Odchyłka naměřené hodnoty a doba trvání závisí na počtu osob v místnosti, rychlosti proudění vzduchu a na vzdálenosti měřidel mezi sebou.

Cílem tohoto měření bylo v první části posoudit naměřené hodnoty koncentrace CO₂ v ovzduší dvěma různými měřidly umístěnými vedle sebe. Výsledkem je, že měřidla umístěná vedle sebe nenaměřila stejné hodnoty, a to buď vlivem přesnosti měřidla nebo provozem v místnosti. V druhé části byly posouzeny naměřené hodnoty ze dvou částí zasedací místnosti. Měřidlo, které bylo více vzdáleno od zdroje CO₂ (dýchající osoby) zaznamenalo po určitém čase menší hodnotu koncentrace CO₂ v místnosti a to vlivem promísení čistého vzduchu se vzduchem s určitou koncentrací CO₂.

B.2.3 Specifikace měření klimatických dat pro energetiku

Pro posouzení potřeby energie pro vytápění a chlazení v budovách pro delší časový úsek slouží klimatická hodinová data ve formátu referenčního roku. Tyto data slouží také pro návrh vytápění i chlazení v budovách, případně k vyhodnocení efektivnosti solárních systémů. [21]

B.2.3.1 Zdroje dat pro referenční rok

Referenční rok se skládá z hodinových dat určitých meteorologických prvků. Data jsou měřena na sedmi páteřních meteorologických stanicích (**Tab. 5**) a na pěti doplňkových meteorologických stanicích (**Tab. 6**). Meteorologické stanice byly vybrány na základě zeměpisné polohy v naší zemi a kvalitě naměřených dat. Zpracování meteorologických dat se řídí metodami, které doporučuje Světová meteorologická organizace, dále pak postupy Českého hydrometeorologického ústavu. [21]

Páteřní stanice	Nadmořská výška [m]	Zeměpisná šířka s. š.	Zeměpisná délka v. d.
Brno - Tuřany	241	49° 10'	16° 42'
Hradec Králové	278	50° 11'	15° 50'
Kocelovice	519	49° 28'	13° 50'
Mošnov	250	49° 42'	18° 07'
Praha - Ruzyně	364	50° 06'	14° 15'
Ústí n. Labem	375	50° 41'	14° 02'
Příbrav	530	49° 35'	15° 46'

Tab. 5 Páteřní meteorologické stanice [21]

Doplňková stanice	Nadmořská výška [m]	Zeměpisná šířka s. š.	Zeměpisná délka v. d.	Příslušnost k páteřní stanici
Churáňov	1118	49° 04'	13° 37'	Kocelovice
Kuchařovice	334	48° 53'	16° 05'	Brno - Tuřany
Luká	510	49° 39'	16° 57'	Brno - Tuřany
Praha - Karlov	254	50° 04'	14° 25'	Praha - Ruzyně
Tušimice	322	50° 23'	13° 20'	Ústí n. Labem

Tab. 6 Doplňkové meteorologické stanice [21]

B.2.3.2 Meteorologické prvky obsažené v referenčním roku

Mezi základní meteorologické prvky důležité pro vytvoření referenčního roku patří [21]:

- teplota vzduchu
- tlak vodní páry
- globální záření
- rychlost větru

Kromě základních meteorologických prvků obsahuje referenční rok také další prvky ve vybraných měsících pro určité místo. V tomto případě tedy referenční rok obsahuje tyto meteorologické prvky [21]:

- teplotu vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu
- tlak vodních par
- teplotu rosného bodu
- absolutní vlhkost
- přímé sluneční záření
- difúzní sluneční záření
- globální sluneční záření
- směr a rychlost větru
- tlak vzduchu



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

C.PROJEKT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ MALACH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2016

C.1 Vyhodnocení vnitřního prostředí v obývacím pokoji

C.1.1 Popis hodnoceného objektu

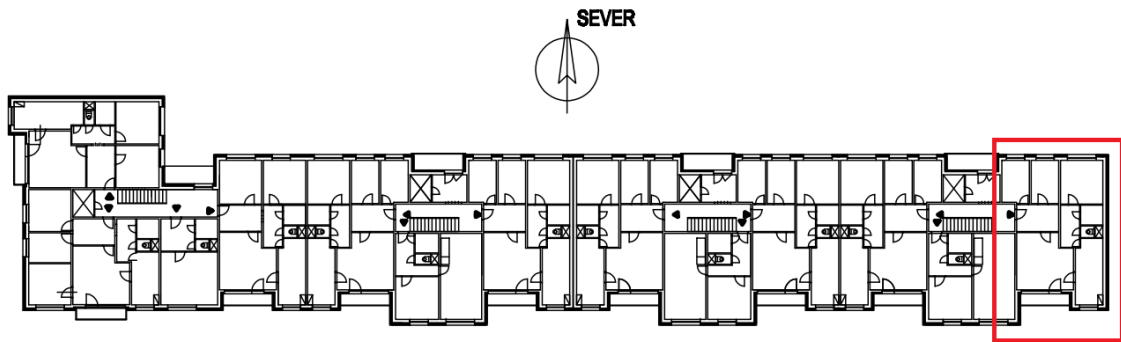
Předmětem vyhodnocení kvality vnitřního prostředí je obývací pokoj, který spolu s ostatními místnostmi tvoří byt 4 + 1 v bytovém domě. Nachází se v lokalitě Brno – Nový Lískovec na ulici Svážná. Bytový dům prošel rekonstrukcí - zateplení obálky budovy a výměna výplní otvorů.



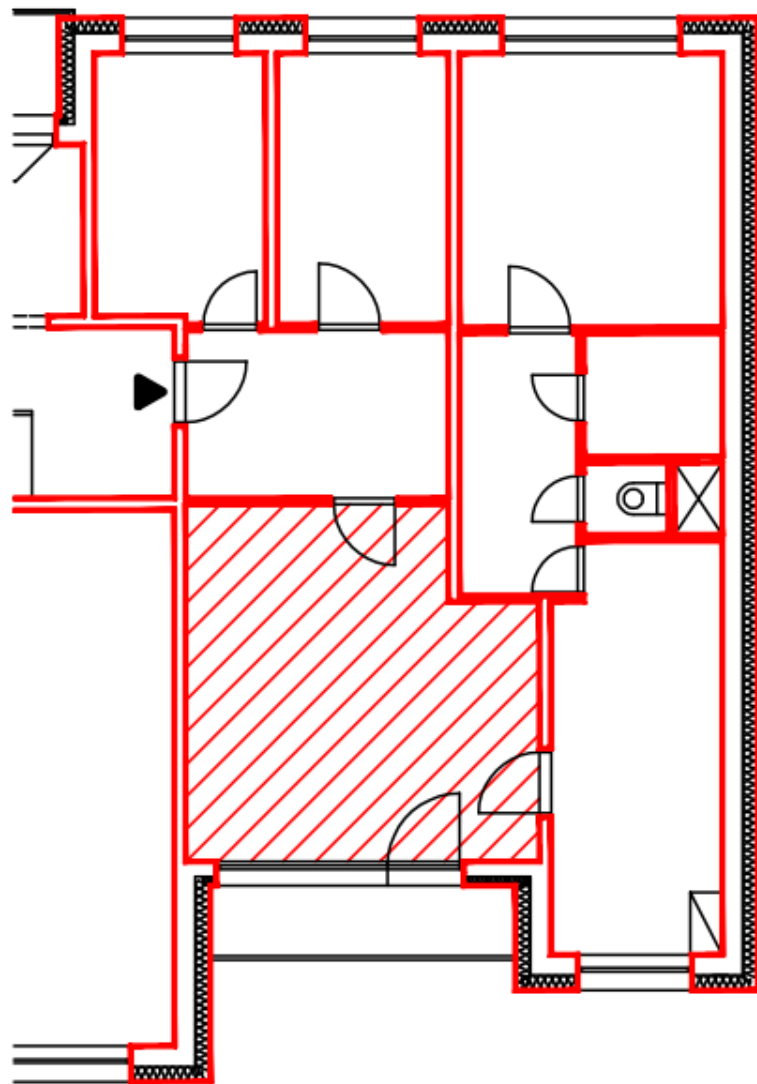
Obr. 51 Mapa s označením polohy řešeného objektu



Obr. 52 Pohled na část bytového domu (vlevo jižní pohled, vpravo severní pohled)



Obr. 53 Půdorys typického podlaží bytového domu



Obr. 54 Půdorys bytu (vyšrafovaná část - obývací pokoj)

C.1.2 Základní parametry bytu

- lokalita: Brno – Nový Lískovec, ulice Svážná
- typ bytu je 4 + 1 a obývají jej 3 osoby
- obytná plocha bytu je 77,13 m²
- plocha obývacího pokoje: 20,3 m²
- světlá výška: 2,6 m
- orientace okna v obývacím pokoji: jih
- vytápění: otopnými tělesy, umístěnými pod okny
- větrání: pouze přirozené větrání - okny
- chlazení: v bytě není instalován žádný systém pro ochlazování místností
- měřící období teploty a relativní vlhkosti vzduchu: 24. 2. 2014 až 19. 12. 2015
- měřící období koncentrace oxidu uhličitého: 9. 1. 2015 až 19. 12. 2015
- v době od 21. 8. 2015 až 28. 8. 2015 bylo měření přerušeno z důvodu vyčerpání kapacity paměti měřícího zařízení
- časový krok měření: 15 minut

Rozdělení měřícího období na začátek a konec otopné sezóny

- KONEC: 19. 5. 2014
- ZAČÁTEK: 30. 9. 2014
- KONEC: 4. 5. 2015
- ZAČÁTEK: 1. 10. 2015

C.1.3 Identifikace měřícího zařízení (Datalogger Comet S3532)

- provozní teplota -30 °C až +70 °C
- rozsah měření teploty - 30 °C až + 70°C s přesností ± 0,4 °C
- rozsah měření relativní vlhkosti 0 % až 100 % s přesností ± 2,5 %
- rozsah výpočtu teploty rosného bodu - 60 °C až +70 °C s přesností ± 1,5 °C
- rozsah měření CO₂ 0 ppm až 10 000 ppm s přesností ±100 ppm

Teplota rosného bodu je vypočtená veličina na základě naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu.

C.1.4 Návrhové hodnoty parametrů vnitřního prostředí

C.1.4.1 Teplota a relativní vlhkost

Pro určení návrhové operativní teploty a relativní vlhkosti vzduchu byly použity následující normy:

- ČSN EN 15251 [2]
- ČSN 73 0540 - 3 [39]

Z normy ČSN EN 15251 jsou použity návrhové operativní teploty pro kategorii II - běžná úroveň očekávání, použití pro novostavby a rekonstrukce.

Druh místnosti	Operativní teplota - kategorie II		Relativní vlhkost vnitřního vzduchu [%]
	Minimální vnitřní teplota pro návrh vytápění (zimní období) [°C]	Maximální vnitřní teplota pro návrh chlazení (letní období) [°C]	
Obývací místnosti (obývací pokoje, ložnice, dětské pokoje, aj.)	20	26	50

Tab. 7 Vnitřní operativní teploty pro návrh systémů vytápění a chlazení a relativní vlhkost vzduchu

I když není v bytě instalován žádný systém, zajišťující ochlazování místností, uvažují, že přijatelná horní mez teploty mimo otopné období v místnosti je 26 °C.

Lokalita	Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období [°C]	Návrhová teplota venkovního vzduchu v letním období [°C]
Brno	-12v	29

Tab. 8 Venkovní teploty pro návrh systémů vytápění a chlazení [40]

C.1.4.2 Koncentrace CO₂

Množství koncentrace CO₂ ve vzduchu a jeho vliv na lidské zdraví zobrazuje

Tab. 9:

Koncentrace CO ₂ ve vzduchu [ppm]	Vliv na lidský organismus
360 - 400	čerstvý vzduch v přírodě
800 – 1 000	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
více než 1 000	nastávající příznaky únavy a snižování koncentrace
5 000	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
35 000 – 50 000	vydechovaný vzduch dospělého člověka

Tab. 9 Vliv koncentrace CO₂ v ovzduší na lidský organismus [41]

Hodnota 1 000 ppm je tzv. Pettenkoferovo kritérium. Jedná se o hodnotu, kdy ještě nenastávají příznaky únavy a snížení koncentrace. Ve vyhlášce 268/2009 Sb. je uvedeno, že hodnota koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí nesmí překročit 1 500 ppm. Já uvažuji na stranu bezpečnou jako mezní kritérium 1 000 ppm.

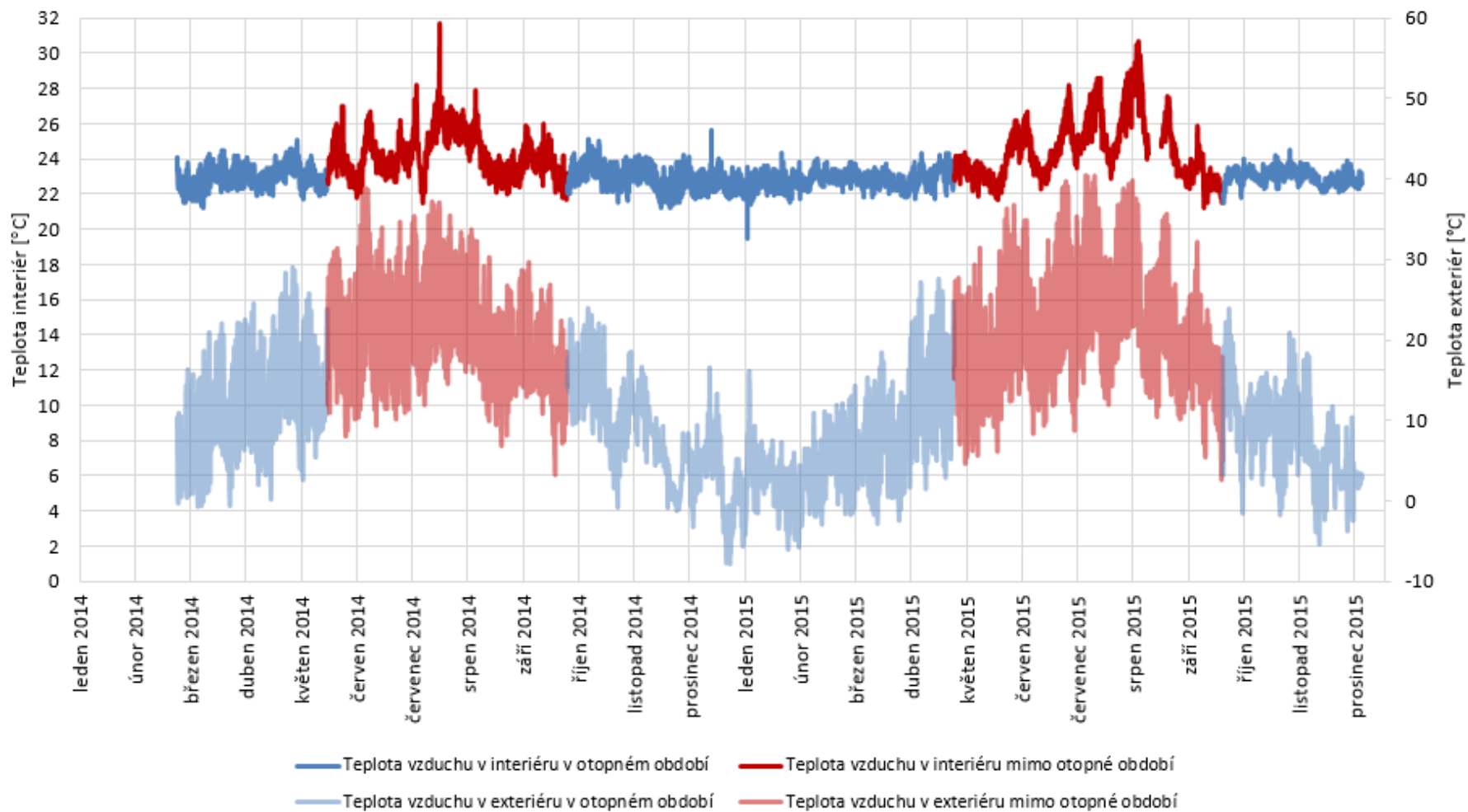
C.1.5 Vyhodnocení naměřených dat souvisejících s vnitřním prostředím za celou dobu měření

C.1.5.1 Teplota v interiéru

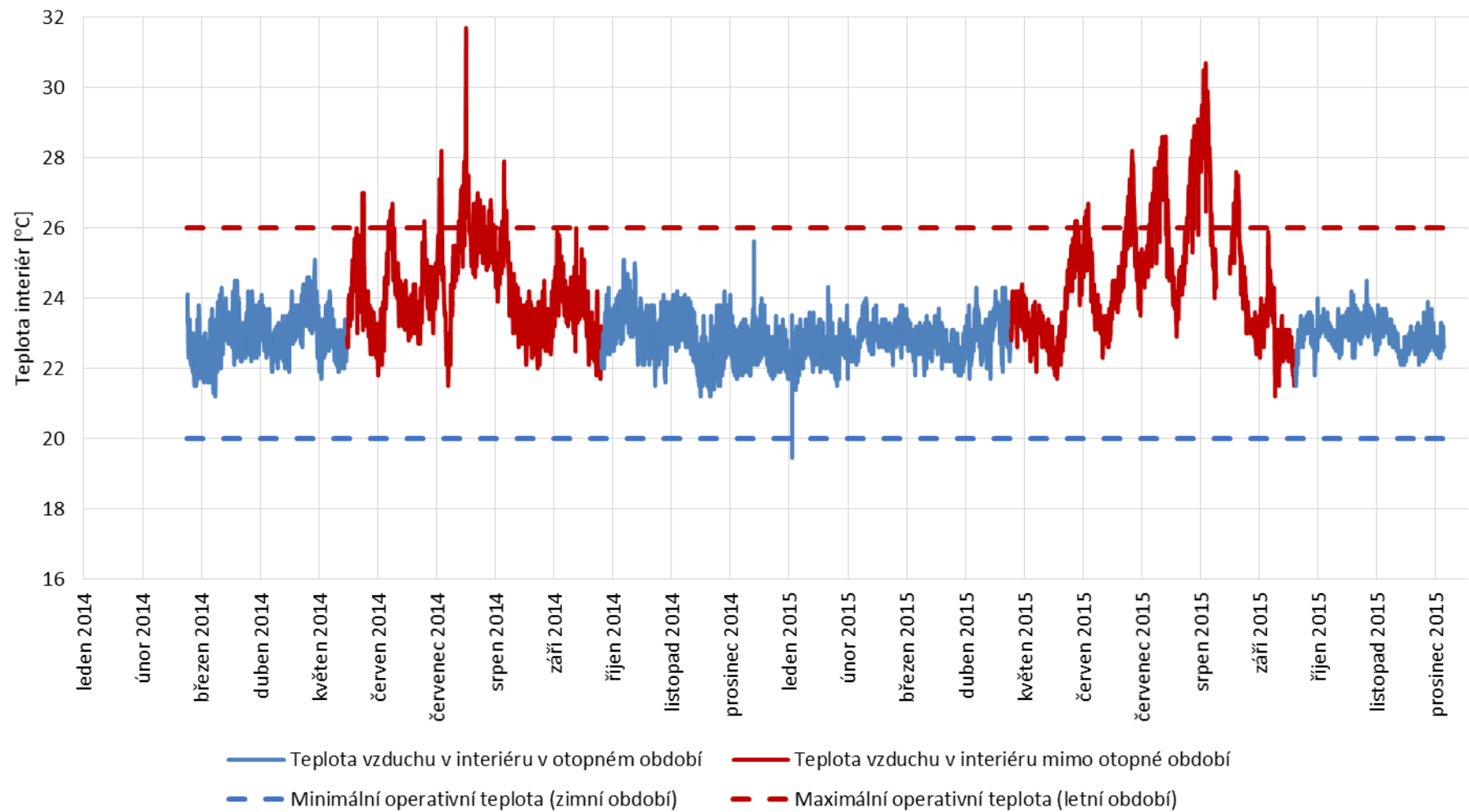
Průběh naměřených teplot vzduchu v interiéru a exteriéru je znázorněn v **grafu 11**. Je rozdělen na otopné období (využívání systému vytápění) a na mimo otopné období (systém vytápění není využíván). Porovnání teplot vzduchu v interiéru s normovými teplotami operativními je zobrazeno v **grafu 12**.

Teplota vzduchu v interiéru v otopném období se pohybuje přibližně mezi 21 °C až 24 °C. Hodnota minimální operativní teploty v otopném období činí 20 °C. Tímto je podmínka vztahující se k minimální operativní teplotě splněna. Z hlediska nákladů na vytápění i na tepelnou pohodu v místnosti je vhodné udržovat teplotu okolo 22 °C.

Teplota vzduchu v interiéru mimo otopné se pohybuje přibližně mezi 22 °C až 28 °C a na přelomu července 2015 a srpna 2015 dokonce dlouhodobě až nad 28 °C. Hodnota maximální operativní teploty je pro toto období 26 °C. V **grafu 12** je vidět, že v letních měsících je několik dní, kdy teplota vzduchu překračovala hodnotu 26 °C a tím není zajištěno dostatečně kvalitní vnitřní prostředí.



Graf 11 - Průběh naměřené teploty vzduchu v interiéru a exteriéru



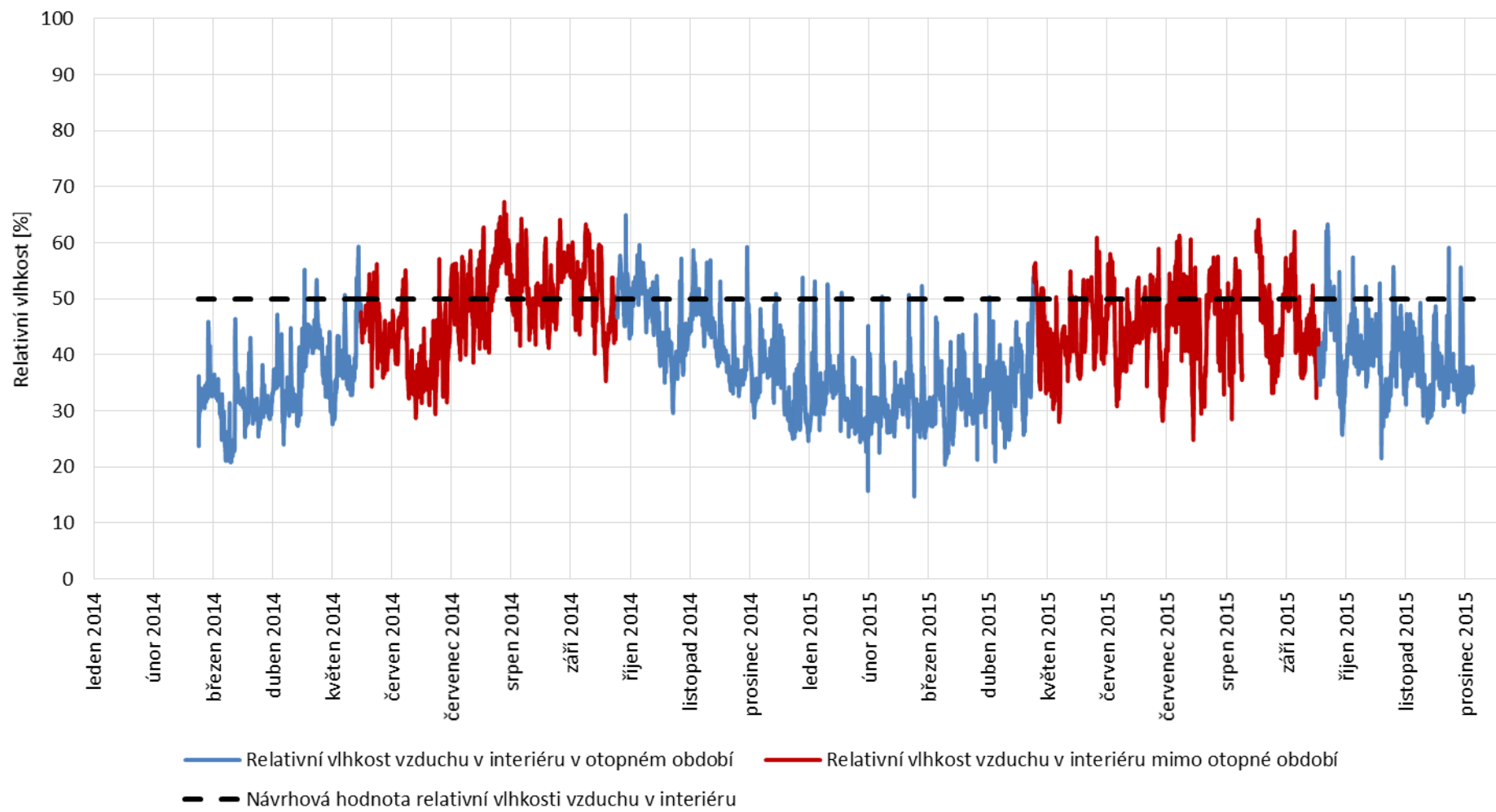
Graf 12 - Průběh naměřených teplot vzduchu v interiéru a mezní hodnoty operativní teploty

C.1.5.2 Vlhkost v interiéru

Průběh relativní vlhkosti v otopném a mimo otopném období znázorňuje **graf 13**. Dále je v tomto grafu vyznačena návrhová hodnota relativní vlhkosti vzduchu, kterou uvádí norma.

Relativní vlhkost vzduchu se v otopném období pohybuje mezi 20 % a 50 %. Požadavek na dodržení hodnoty relativní vlhkosti na hodnotě 50 % není nutné. Neměla by však dlouhodobě klesnout pod 30 % (pocit suchého vzduchu při dýchání). Při poklesu pod 30 % je vhodné využít zvlhčovač vzduchu (zejména v otopném období).

Mimo otopné období se hodnota relativní vlhkosti vzduchu pohybuje v rozmezí mezi 30 % a 60 %. Tyto hodnoty lze brát jako přijatelné. Vyšší hodnoty v tomto období jsou zaznamenány z toho důvodu, že není v provozu systém vytápění a nedochází tak k odvlhčování interiérového vzduchu.



Graf 13 - Průběh naměřených hodnot a návrhová hodnota relativní vlhkosti vzduchu v interiéru

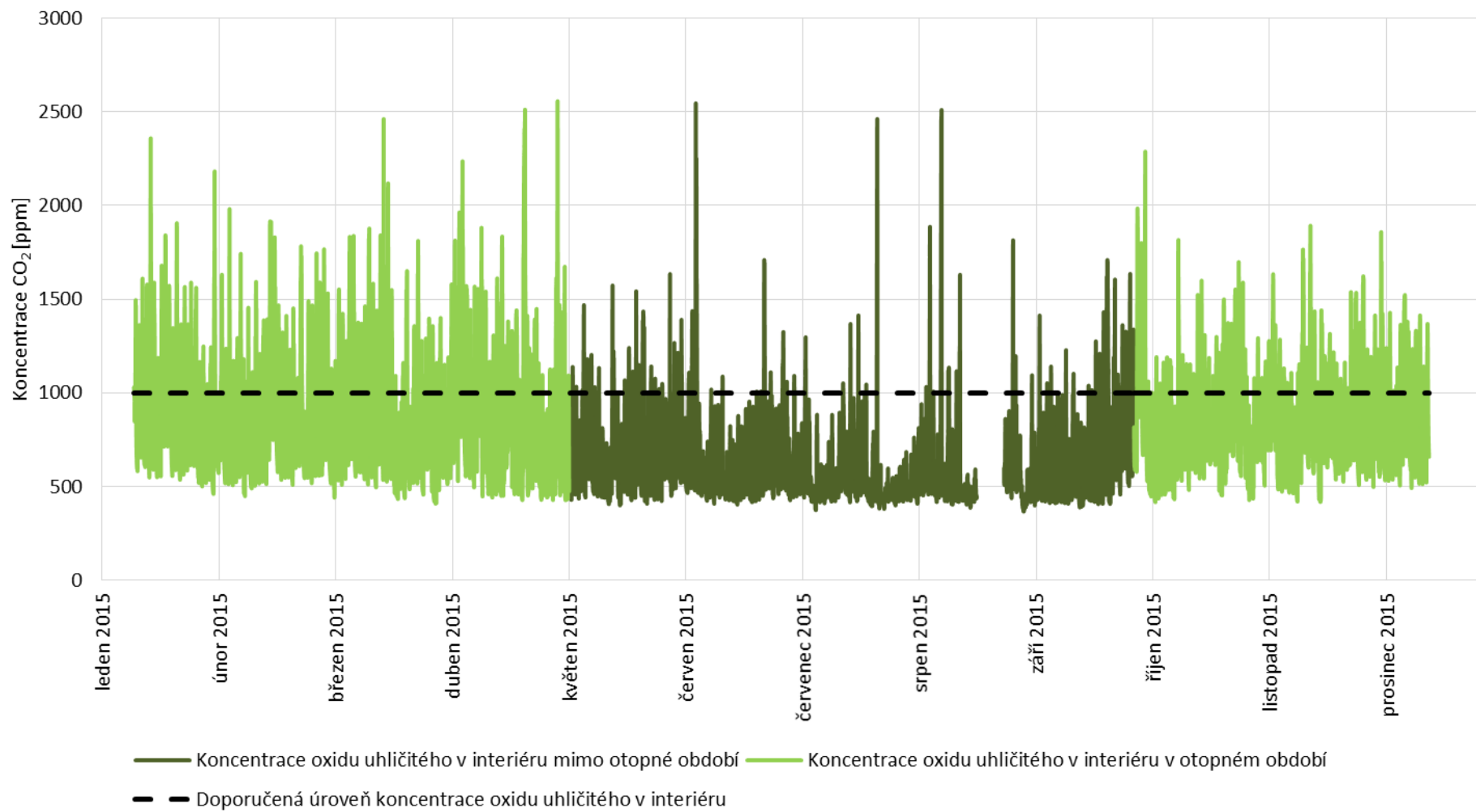
C.1.5.3 Koncentrace CO₂ v místnosti

Průběh naměřené koncentrace oxidu uhličitého v obývacím pokoji je znázorněn v **grafu 14**. Také je v něm znázorněna mezní hodnota, kdy je ještě koncentrace oxidu uhličitého v místnosti přijatelná.

V otopném období se hodnota koncentrace oxidu uhličitého pohybuje mezi 500 ppm až 1 500 ppm. Krátkodobě se tato hodnota dostává na hodnotu mezi 1 500 ppm až 2 500 ppm. Doporučená hodnota koncentrace oxidu uhličitého v místnosti je 1 000 ppm (Pettenkoferovo kritérium). Při koncentraci oxidu uhličitého do 5 000 ppm nenastávají žádná zdravotní rizika, ale může nastat pocit únavy a bolest hlavy.

Mimo otopné období dosahovala koncentrace oxidu uhličitého hodnot mezi 500 ppm až 1 300 ppm. Výjimečně koncentrace oxidu uhličitého dosahuje hodnoty kolem 2 500 ppm. Nicméně se hodnota také často pohybuje nad limitní hodnotou 1 000 ppm, ale už ne v takovém rozsahu jako v otopném období.

Hodnota koncentrace oxidu uhličitého se v období mimo otopnou sezónu pohybuje přibližně o 200 ppm méně než v otopném období. Z toho vyplývá, že v tomto období je zajištěno větrání více než v otopném období. Množství koncentrace oxidu uhličitého je také závislé na počtu osob a délce jejich setrvání v místnosti.



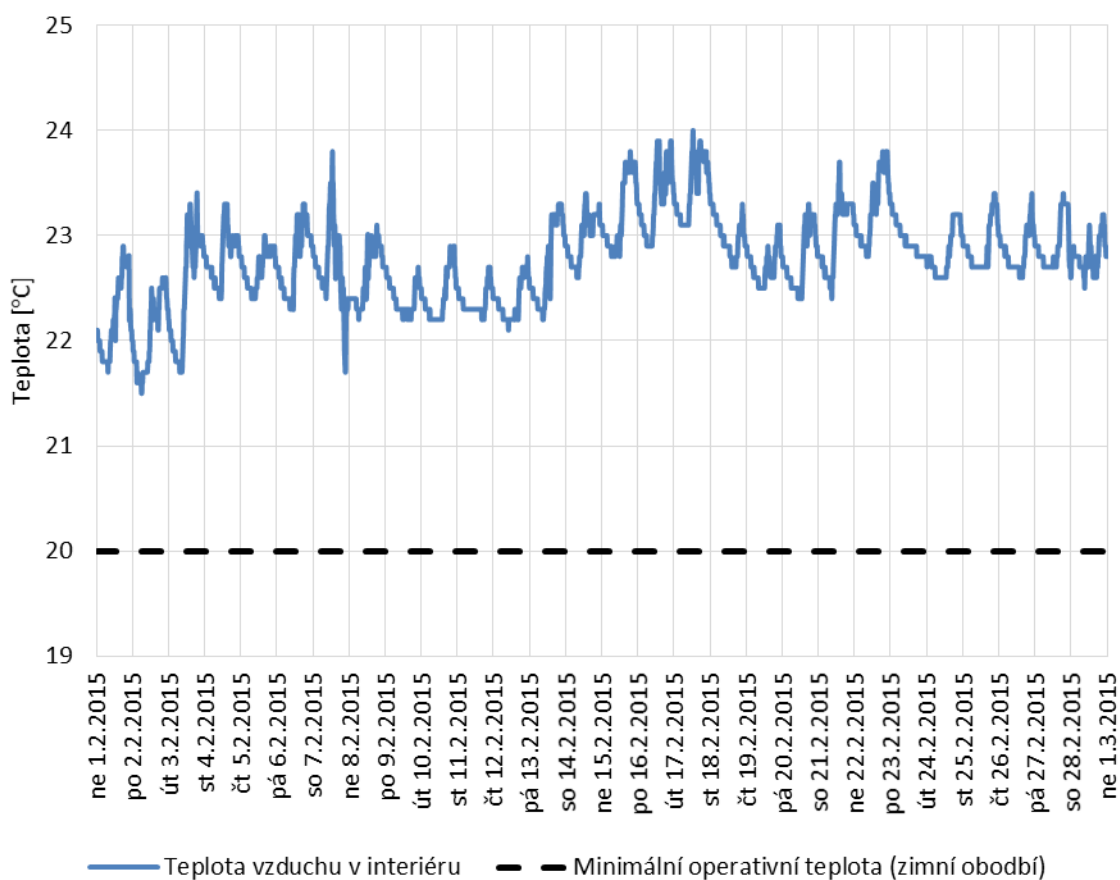
Graf 14 - Průběh naměřených hodnot koncentrace CO₂ v interiéru a její doporučená úroveň v interiéru

C.1.6 Vyhodnocení dat naměřených v obývacím pokoji v typickém zimním a letním měsíci

V grafech 12, 13 a 14 jsou zobrazeny průběhy za celé měřené období. Lze z nich vyčíst, jak se projevuje stav vnitřního prostředí v průběhu ročního období. Nelze z nich však přesněji posoudit, v jaký okamžik je vnitřní prostředí nejvíce zatěžováno. Z toho důvodu jsem vybral typicky zimní a letní měsíc a provedl jejich detailnější grafické zpracování. Jako typicky zimní měsíc jsem vybral únor 2015. Jedná se o chladný měsíc a venkovní teploty vzduchu se pohybují na nízkých hodnotách. Díky tomu nelze větrat příliš dlouho a často. Za letní měsíc jsem vybral červenec 2015. Jedná se o teplý měsíc a venkovní teploty vzduchu nám umožňují častěji větrat. Oba tyto měsíce jsem znázornil formou tří typů grafů (daný měsíc po jednotlivých dnech, osm po sobě následujících dnů a jeden celý den).

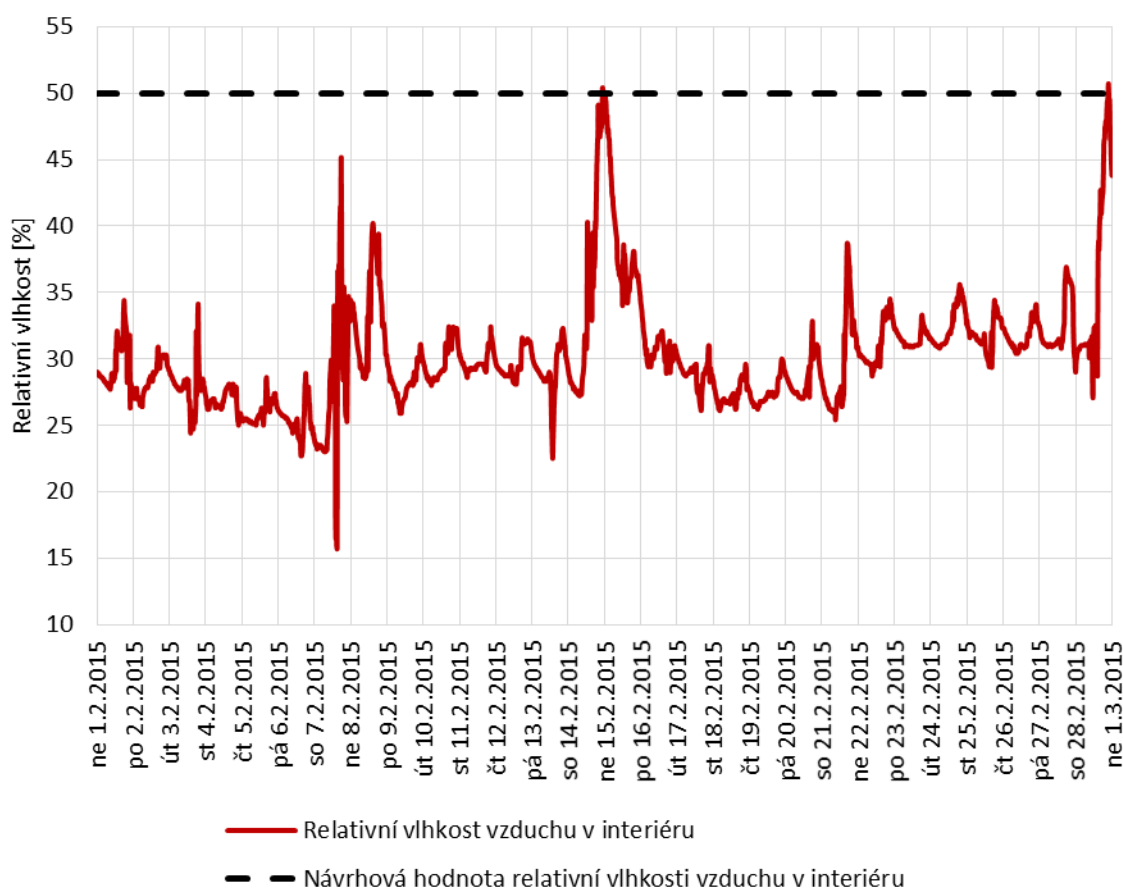
C.1.6.1 Únor 2015

Celý měsíc únor 2015



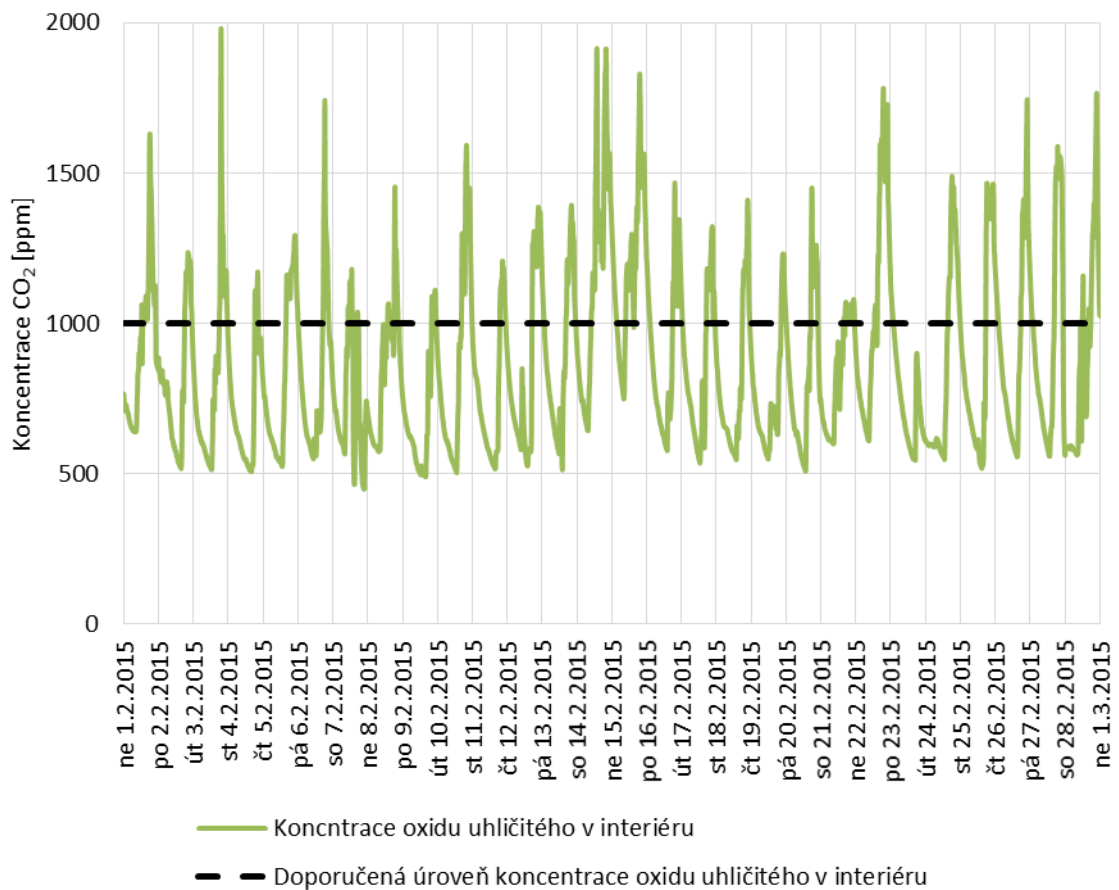
Graf 15 - Teplota vzduchu v interiéru v měsíci únor 2015

Teplota vzduchu se během celého měsíce pohybuje přibližně mezi 22 °C až 24 °C. Obsazenost místnosti osobami má také značný vliv na zvýšení teploty vzduchu. Právě v **grafu 15** je znázorněn průběh teploty vzduchu (nárůst v době obsazenosti osobami a pokles v době, kdy se v místnosti osoby nevyskytují). Nárůst a pokles teploty vzduchu je také ovlivněn nastavením termostatické hlavice na otopném tělese. Průběh teploty vzduchu v interiéru (**graf 15**) je možné porovnat s průběhem teploty vzduchu v exteriéru (příloha **P2**).



Graf 16 - Relativní vlhkost vzduchu v interiéru v měsíci únor 2015

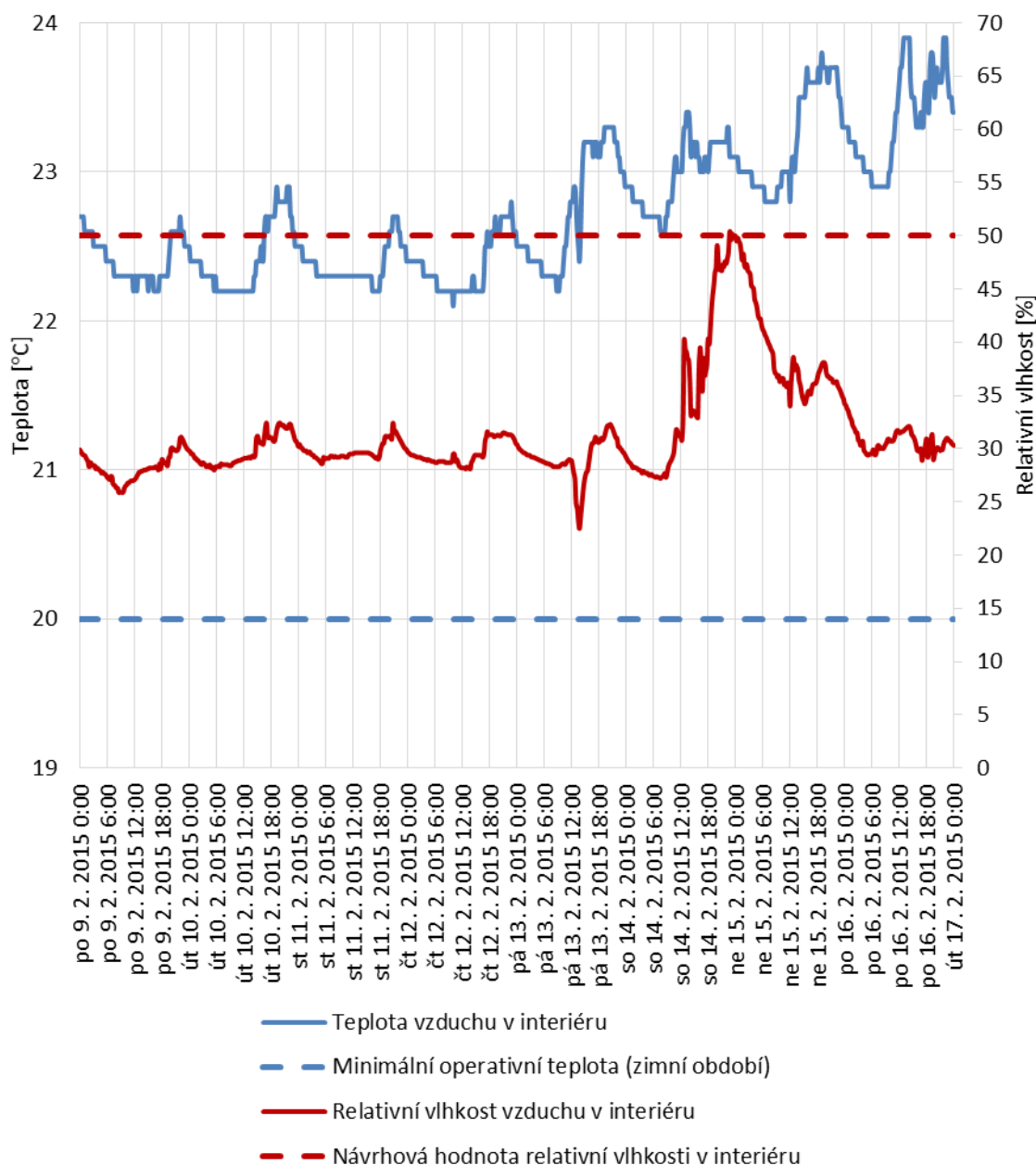
Relativní vlhkost vzduchu se pohybuje přibližně kolem 30 %. Nárůst je vždy v období kdy se v místnosti vyskytují osoby, což je dle **grafu 16** každý den v podvečerních a večerních hodinách. Vyšší hodnoty jsou naměřeny od 7.2. 2015 do 8.2. 2015, od 14.2. 2015 do 15.2. 2015 a od 28.2. 2015 do 1.3. 2015. Jedná se o víkendy, kdy byl obývací pokoj déle obsazen, případně se v něm vyskytovalo více osob (návštěva).



Graf 17 - Koncentrace CO₂ v měsíci únor 2015

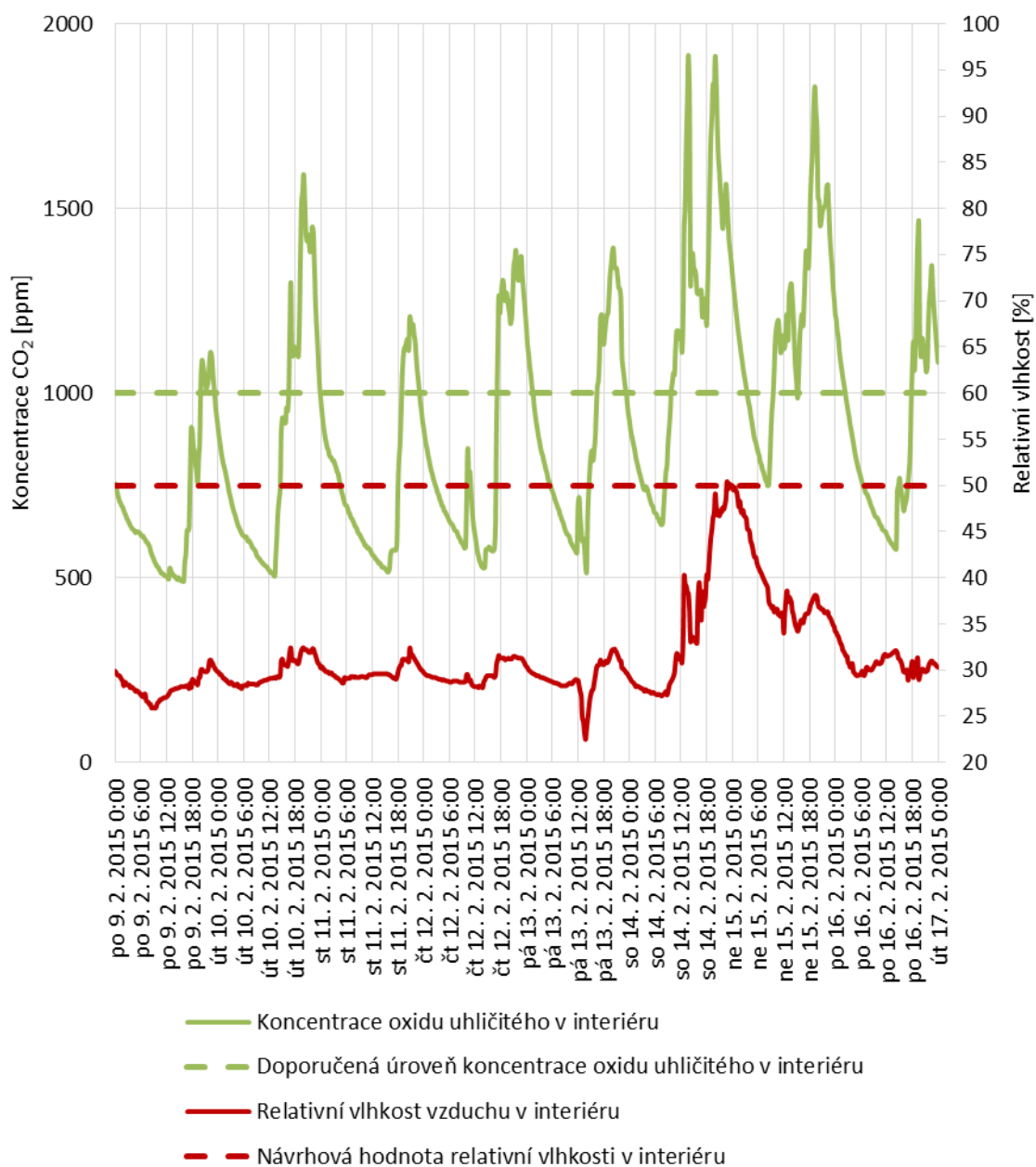
Koncentrace CO₂ v interiéru se v době obsazenosti obývacího pokoje pohybuje mezi 1 200 ppm až 1 500 ppm, občas i nad 1 500 ppm. Nárůst je obdobný jako u relativní vlhkosti vzduchu - při výskytu osob v místnosti (podvečerní a večerní hodiny).

Osmidenní průběh v měsíci únor 2015



Graf 18 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci únor 2015

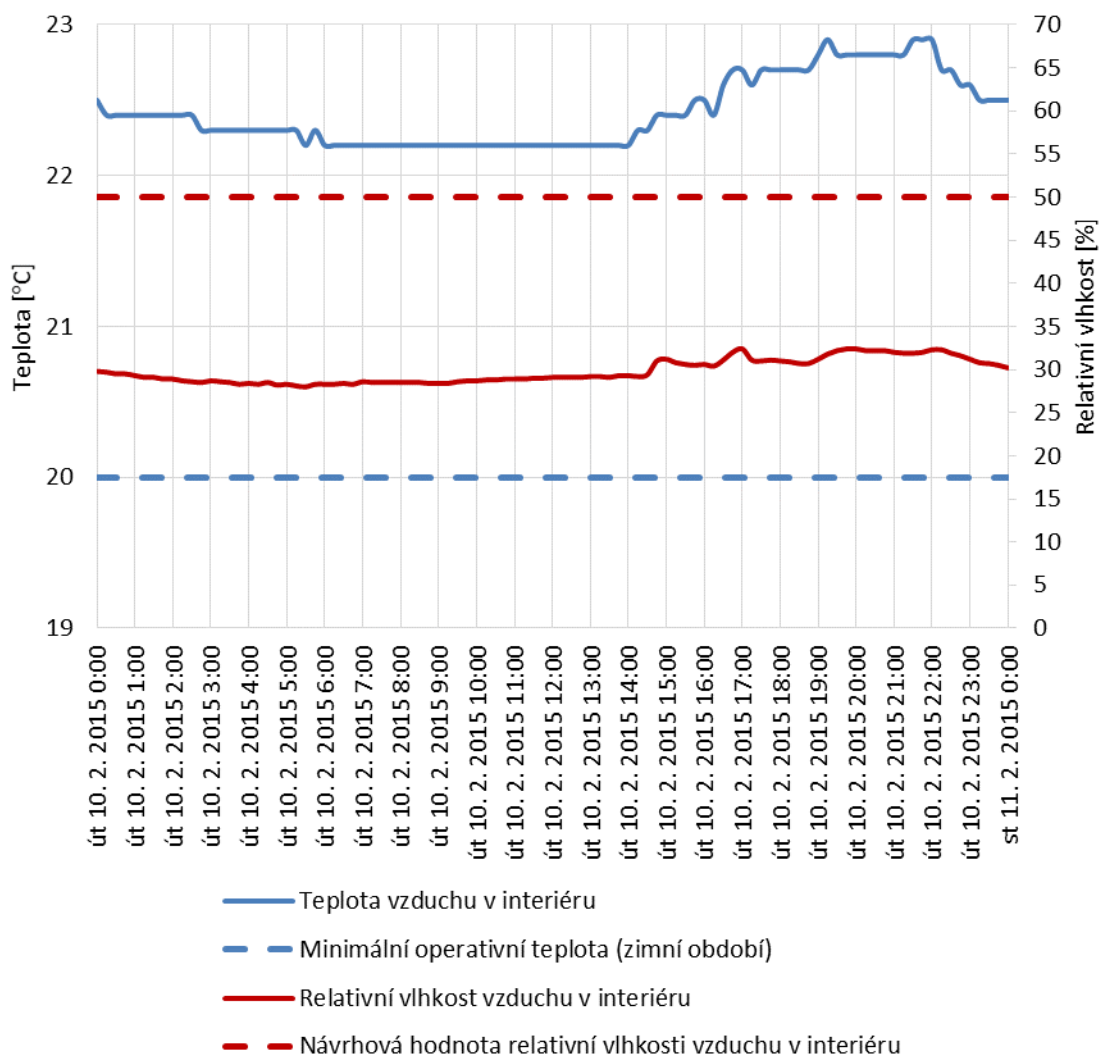
Graf 18 udává závislost teploty a relativní vlhkosti. Při výskytu osob v místnosti vzrůstá teplota vzduchu i relativní vlhkost vzduchu. Při detailnějším průběhu těchto veličin je vidět, že nárůst těchto veličin není příliš velký. Dne 13.2. 2015 po 12:00 dochází k velkému poklesu jak teploty vzduchu, tak i relativní vlhkosti vzduchu - příčinou bylo větrání v místnosti. Dne 15.2. 2015 (víkendový den) je nárůst relativní vlhkosti vzduchu vysoký (větší obsazenost místnosti).



Graf 19 - Koncentrace CO₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci únor 2015

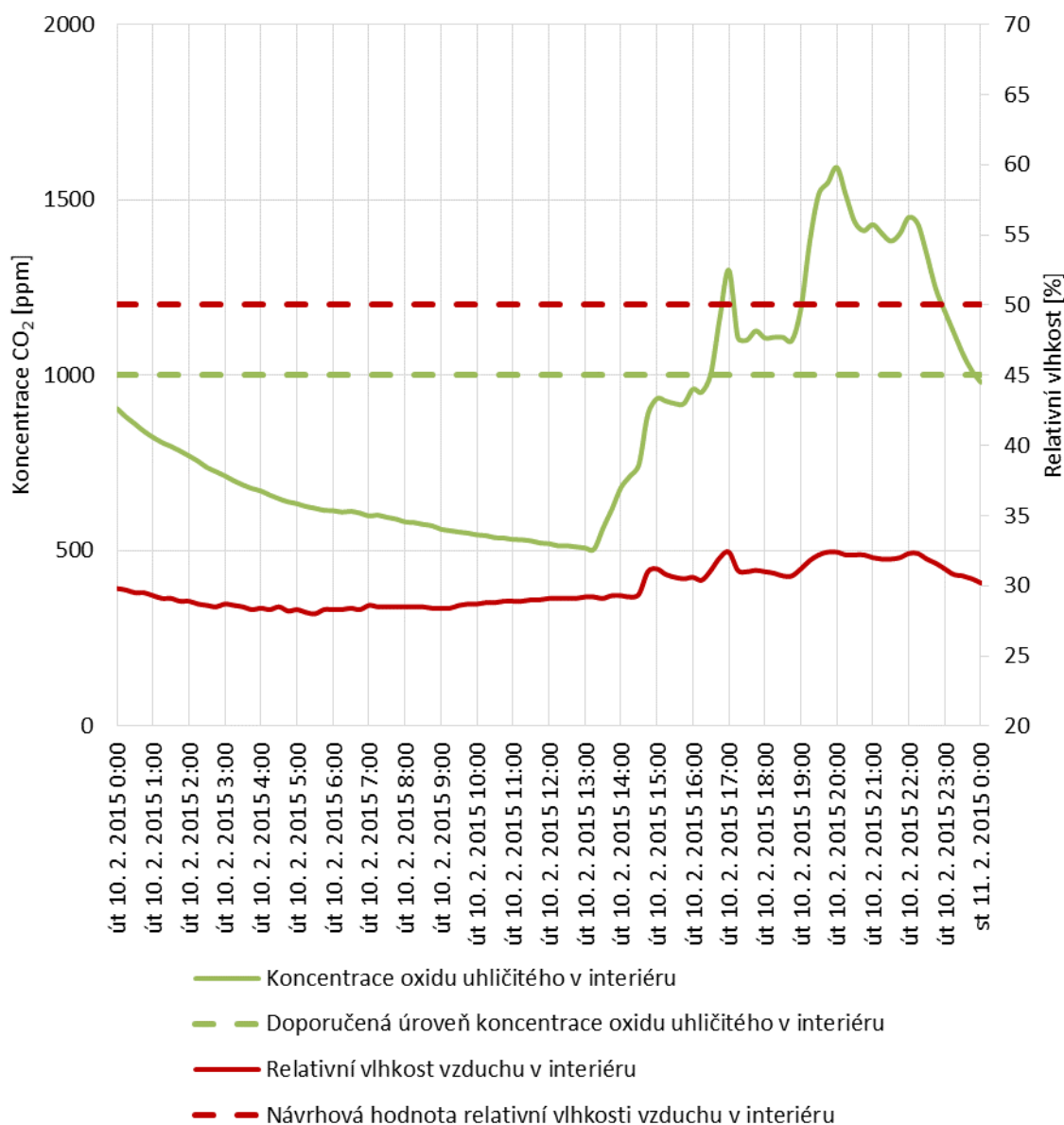
Graf 19 udává závislost relativní vlhkosti vzduchu a koncentrace CO₂ v místnosti. Nárůst relativní vlhkosti vzduchu opět značí výskyt osob v místnosti. Tím pádem také narůstá koncentrace CO₂ - vlivem dýchání osob. Zajímavým bodem je den 13.2. 2015 po 12:00 - relativní vlhkost prudce klesá a koncentrace CO₂ také (větrání).

Jednodenní průběh v měsíci únor 2015



Graf 20 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 10.2. 2015

Při jednodenním průběhu teploty a relativní vlhkosti vzduchu je vidět, že nárůsty a poklesy těchto hodnot jsou minimální hlavně u relativní vlhkosti. Je vidět, že regulace otopného tělesa je nastavena tak, aby byla v místnosti udržována teplota lehce nad 22 °C. Případný nárůst teploty vzduchu nevzniká jen pobytem osob, ale také může vznikat přednastavením termostatické hlavičky na vyšší hodnotu. Nárůst relativní vlhkosti vzduchu vzniká pobytem osob v místnosti. Pokles teploty i relativní vlhkosti vzduchu nevzniká jen odchodem osob z místnosti, ale také větráním a případně přednastavením termostatické hlavičky na nižší hodnotu. Například před 17:00 dochází k nárůstu teploty i relativní vlhkosti vzduchu a po 17:00 nastává strmější pokles obou hodnot. Důvodem je větrání.

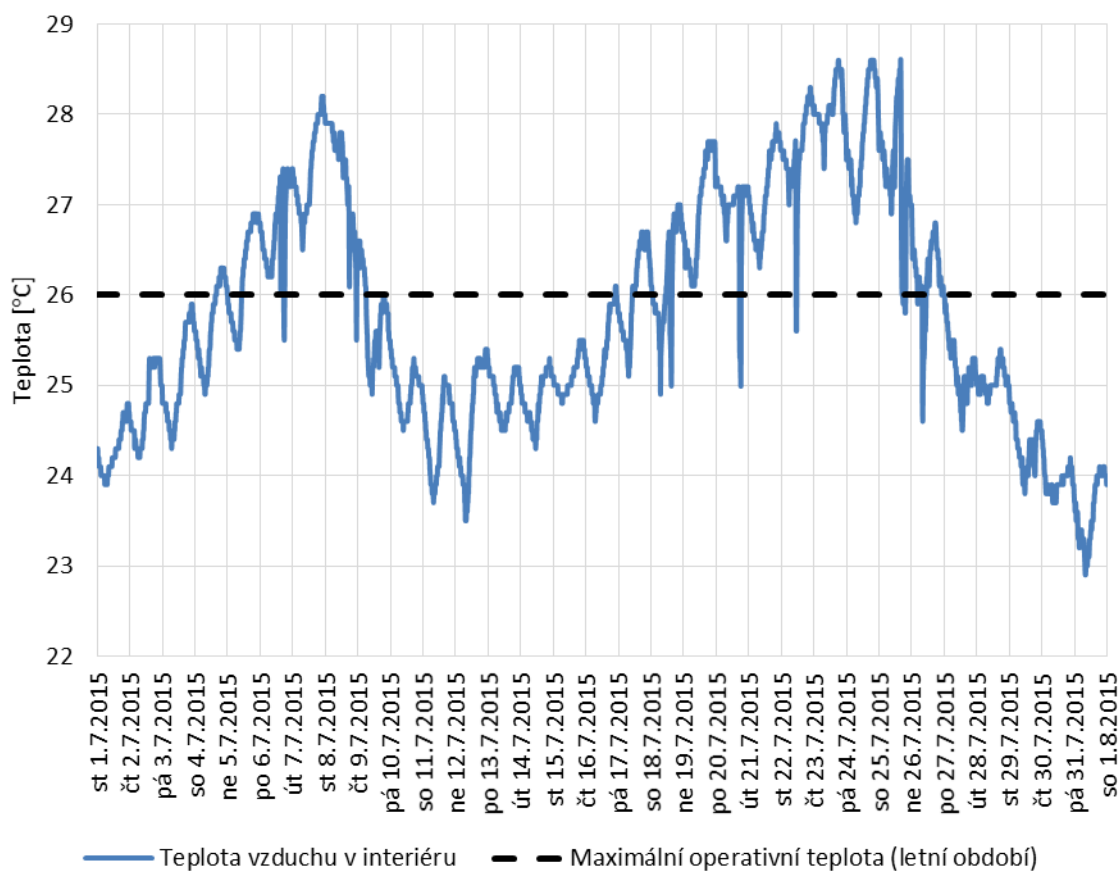


Graf 21 - Koncentrace CO₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 10.2. 2015

Graf 21 zobrazuje závislost poklesu a nárůstu koncentrace CO₂ a relativní vlhkosti vzduchu. Pokles koncentrace CO₂ nastává v důsledku infiltrace čistého vzduchu. Tyto poklesy jsou viditelné především v časových intervalech od 10.2. 2015 0:00 do 10.2. 2015 13:00 a od 10.2. 2015 22:00 do 11.2. 2015 0:00. V těchto intervalech není místnost obsazena osobami. Nárůst je v období, kdy se v místnosti vyskytují osoby. V období po 17:00 ukazuje **graf 20**, že dochází k poklesu teploty i relativní vlhkosti vzduchu. **Graf 21** potvrzuje, že po 17:00 došlo k větší míře větrání (klesá také koncentrace CO₂). Jedná se zřejmě o jediné větší větrání v místnosti během celého dne.

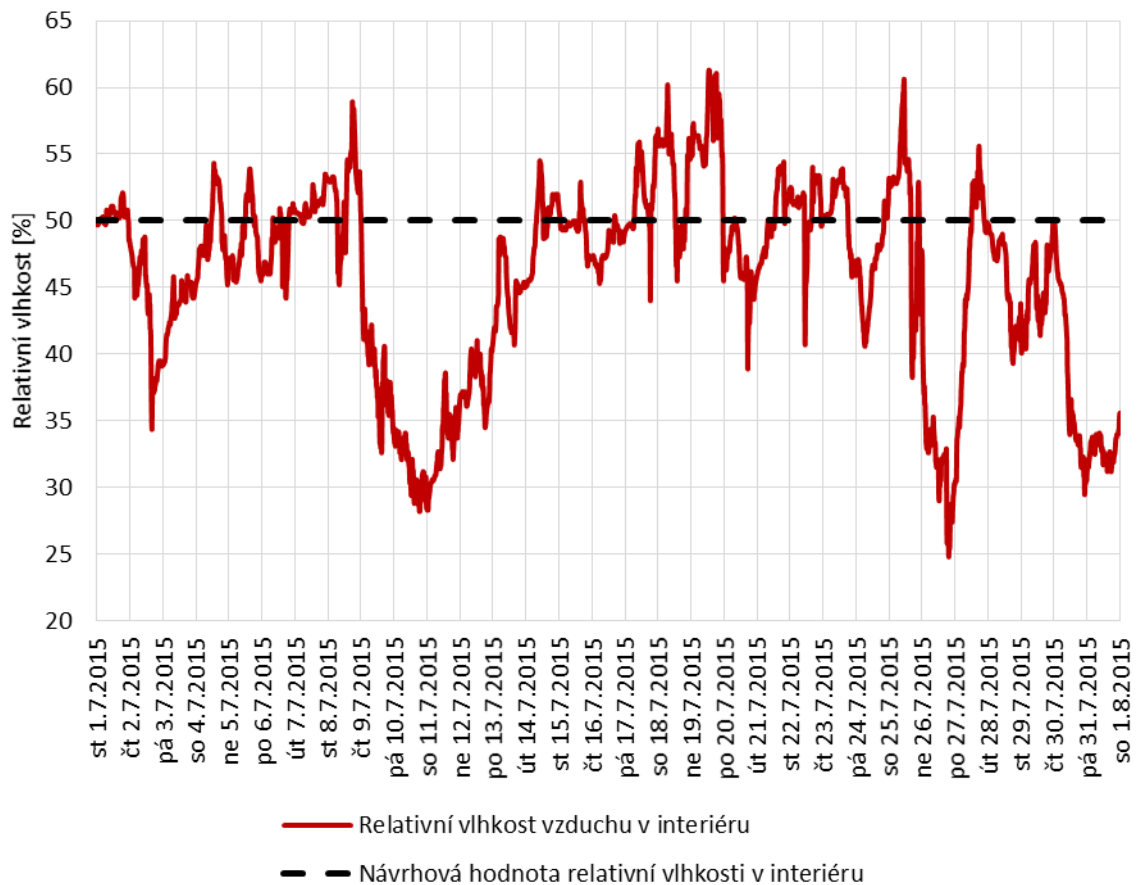
C.1.6.2 Červenec 2015

Celý měsíc červenec 2015



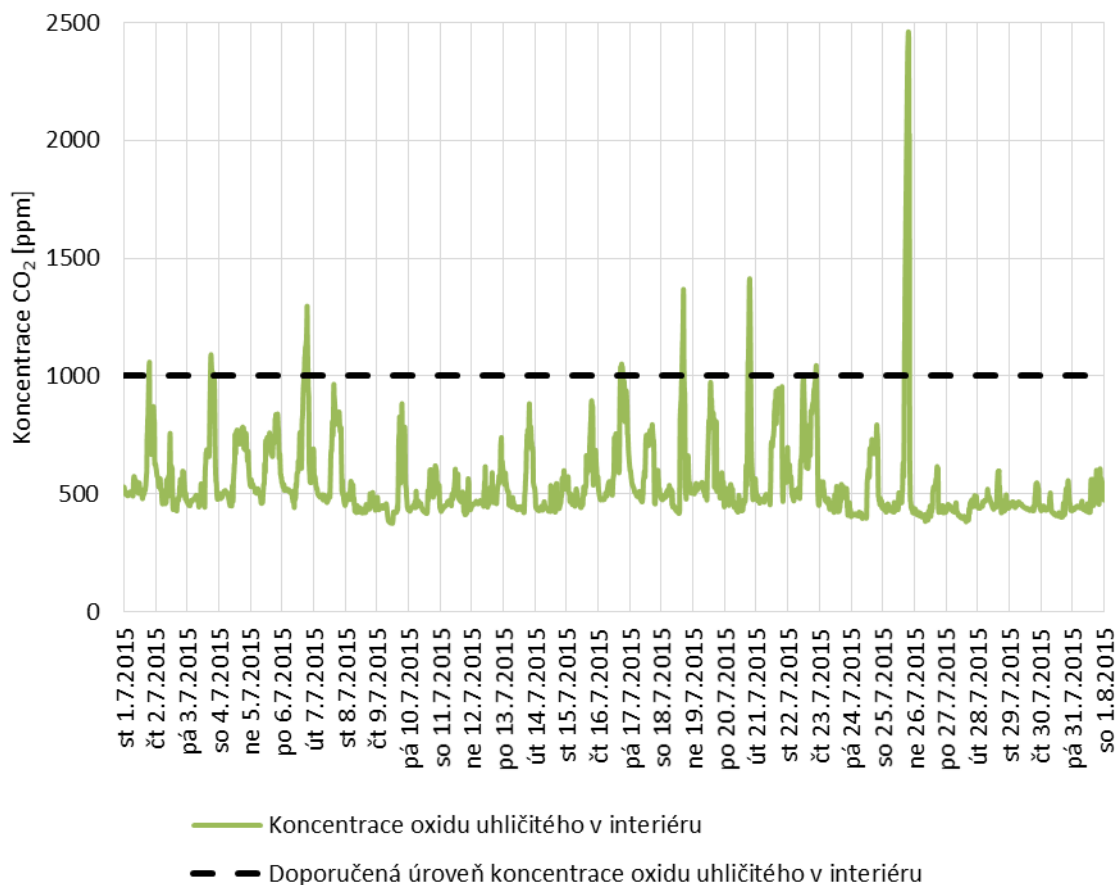
Graf 22 - Teplota vzduchu v interiéru v měsíci červenec 2015

Teplota vzduchu v červenci 2015 je daleko méně konstantní než v únoru 2015. Pohybuje se přibližně mezi 22 °C až 28 °C. Nárůst a pokles není ovlivněn jen obsazeností místnosti, ale také stavem venkovního prostředí. Teplota venkovního vzduchu v první a třetí čtvrtině měsíce se pohybuje kolem 38 °C. Ve druhé a čtvrté čtvrtině se pohybuje kolem 28 °C. Měsíční průběh exteriérové teploty vzduchu je zobrazen v příloze **P3**. Od průběhu exteriérové teploty vzduchu v příloze **P3** se částečně odvíjí průběh interiérové teploty vzduchu v **grafu 22**.



Graf 23 - Relativní vlhkost vzduchu v interiéru v měsíci červenec 2015

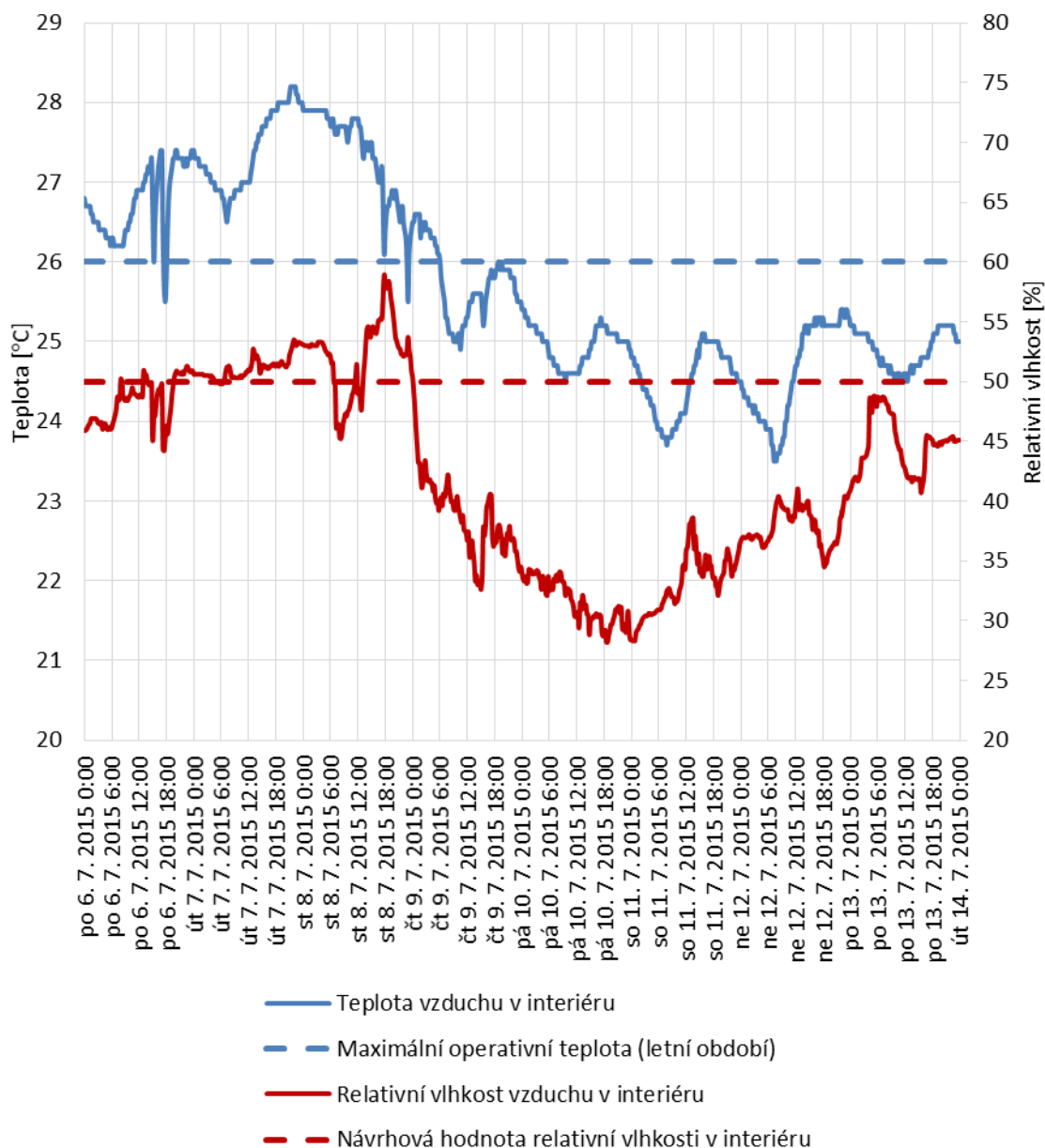
Relativní vlhkost vzduchu se pohybuje mezi 30 % až 60 %. Hodnoty relativní vlhkosti vzduchu jsou oproti únoru 2015 vyšší z toho důvodu, že není využíván systém vytápění a vzduch tím pádem není odvlhčován. Jelikož průběh křivky v **grafu 23** velice kolísá (časté větrání a relativní vlhkost vzduchu v exteriéru je kolísavá), nelze přesně určit, zda byl obývací pokoj každý den využíván. Přesnější určení bude dle průběhu koncentrace CO₂ zobrazeném v **grafu 24**.



Graf 24 - Koncentrace CO₂ v měsíci červenec 2015

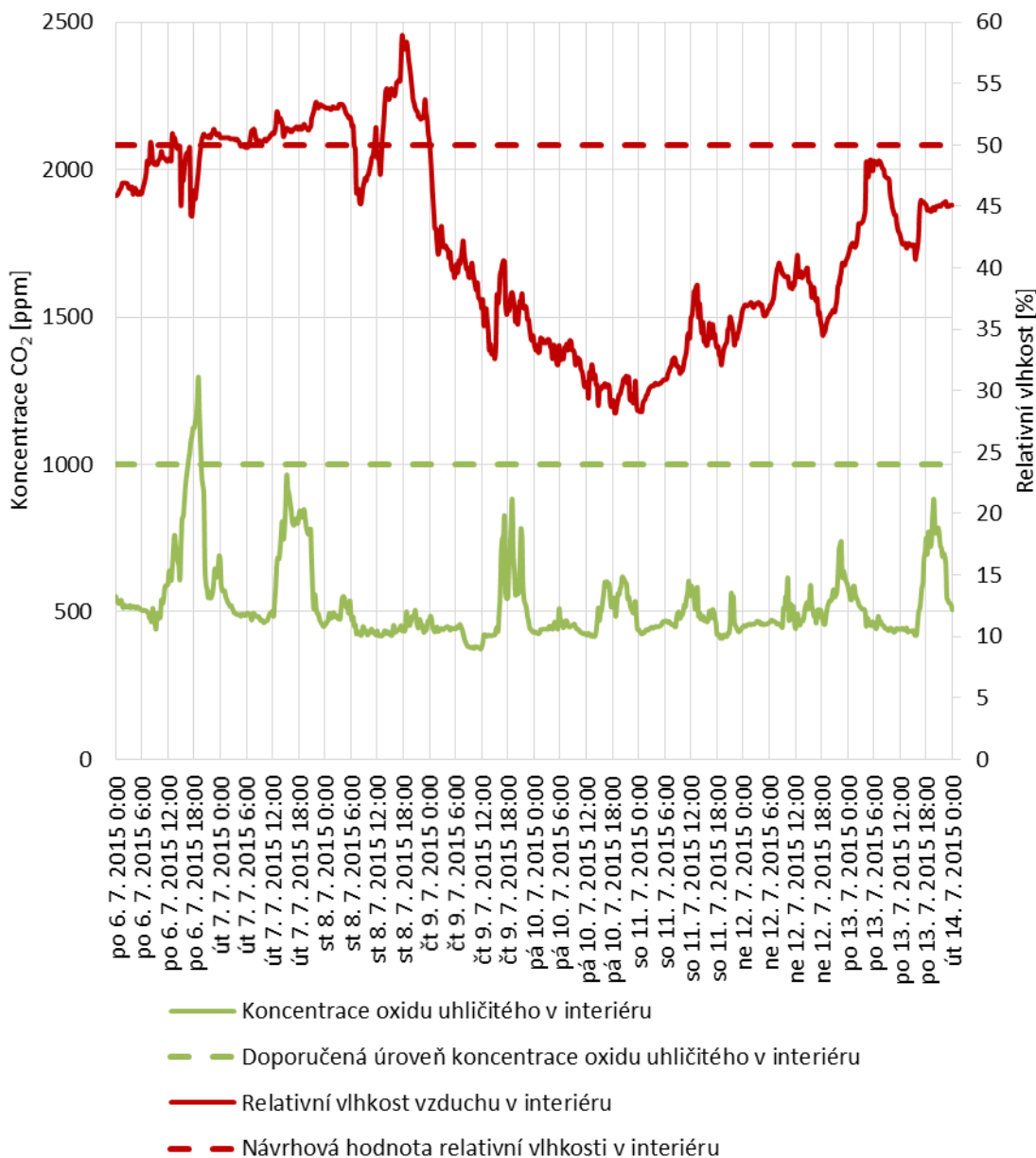
Dle **grafu 24** lze určit, že obývací pokoj je využíván každý den (každý den je nějaký nárůst koncentrace CO₂). Z hlediska kvality ovzduší je obývací pokoj v měsíci červenec 2015 na daleko lepší úrovni než měsíc únor 2015. Důvodem je častější větrání (oproti zimnímu období není toto větrání energeticky náročné).

Osmidenní průběh v měsíci červenec 2015



Graf 25 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci červenec 2015

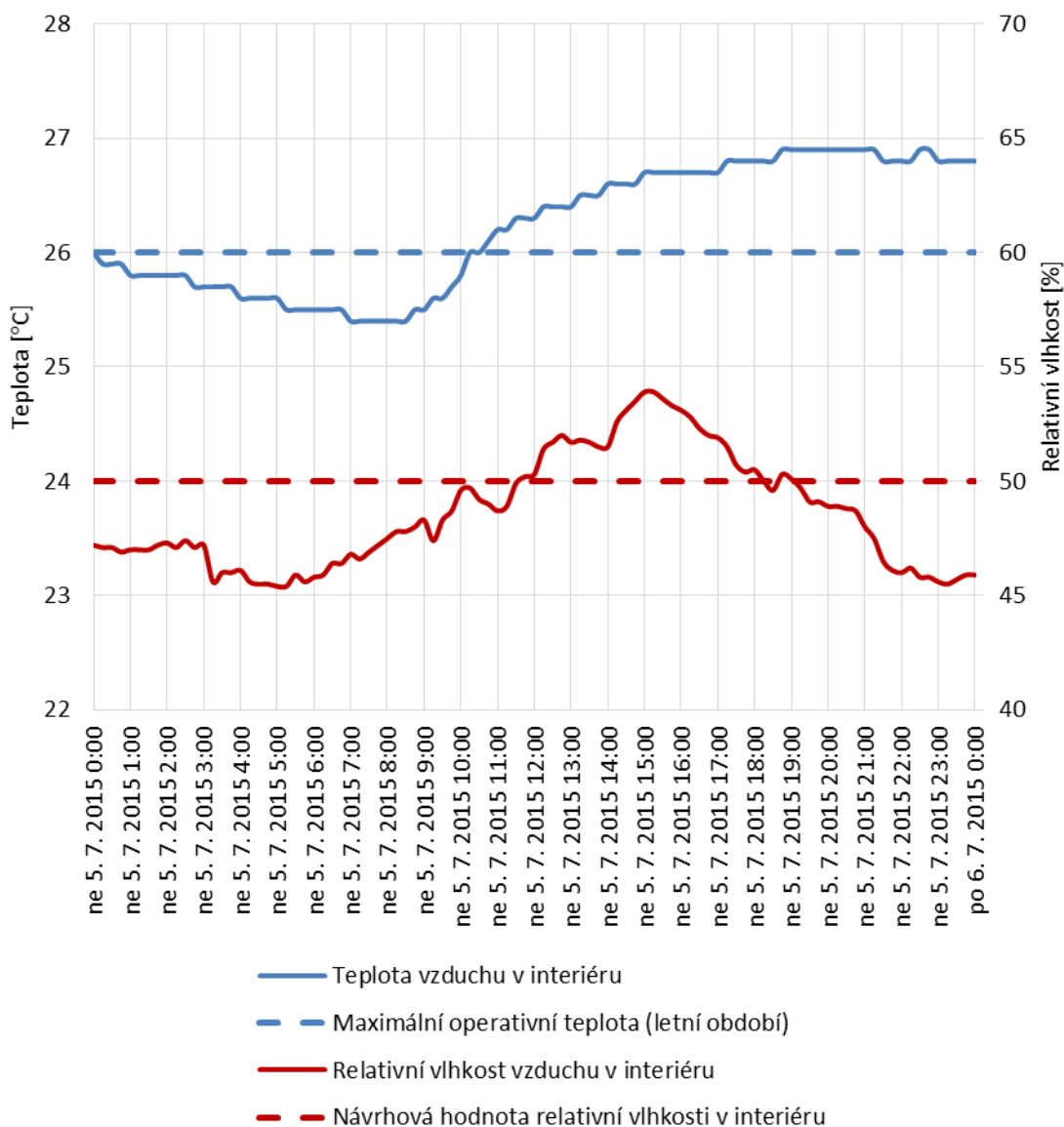
Jelikož se v létě často větrá, je teplota i relativní vlhkost vzduchu v interiéru závislá na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu v exteriéru. Tyto exteriérové veličiny jsou závislé na stavu počasí (např. oblačnost a intenzita slunečního záření). Z toho důvodu je teplota i relativní vlhkost vzduchu v interiéru zobrazená v **grafu 25** kolísavá.



Graf 26 - Koncentrace CO₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci červenec 2015

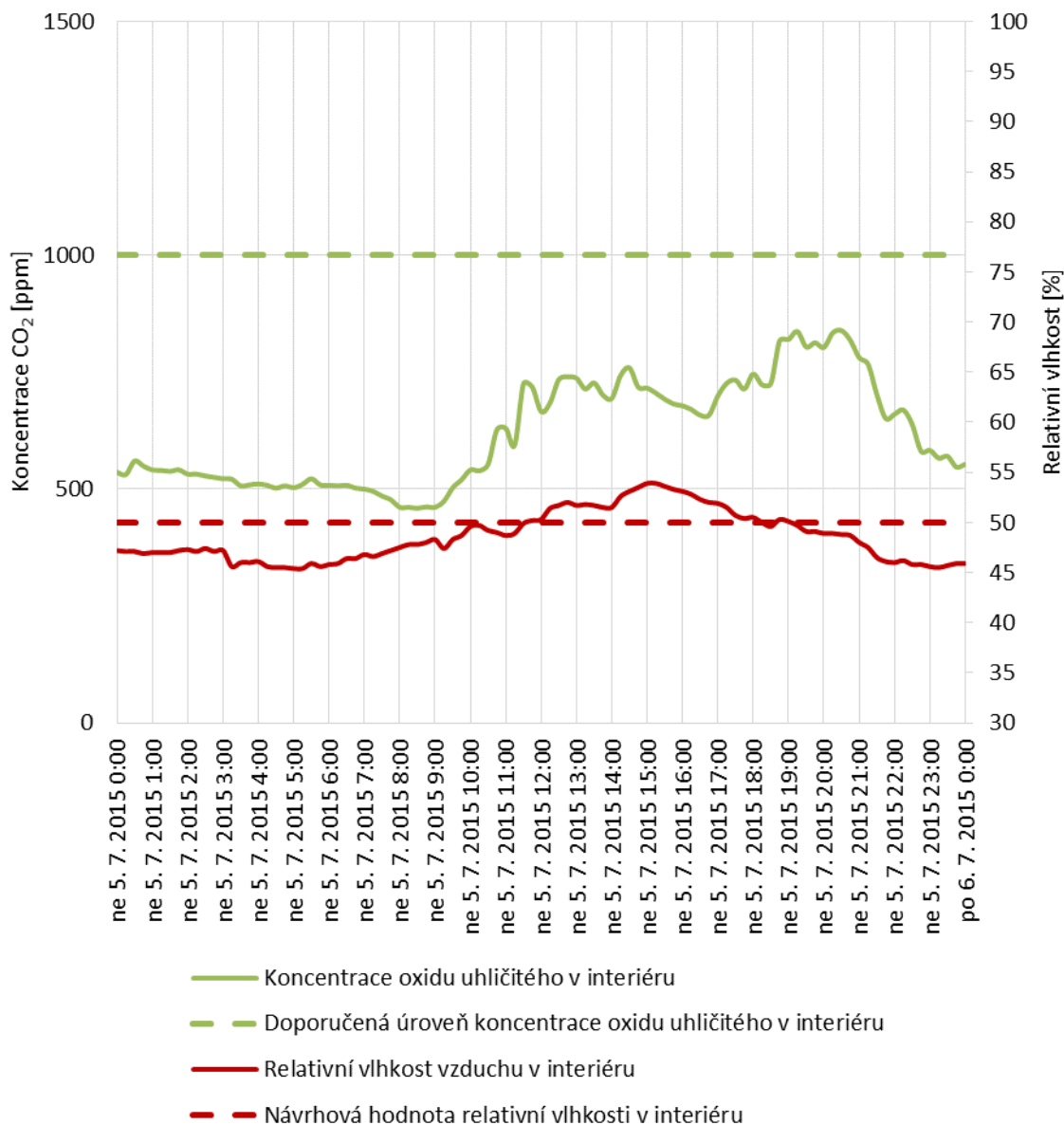
Graf 26 zobrazuje intenzivní propady hodnot koncentrace CO₂. Z toho vyplývá, že dochází k častému větrání. Průběh koncentrace CO₂ je také závislý na průběhu relativní vlhkosti vzduchu (při poklesu koncentrace CO₂ klesá i relativní vlhkost vzduchu).

Jednodenní průběh v měsíci červenec 2015



Graf 27 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 5.7. 2015

Graf 27 poukazuje na to, že noční pokles teploty vzduchu v exteriéru má vliv na snížení teploty vzduchu v interiéru. Chlad proniká do interiéru například pomocí infiltrace exteriérového vzduchu nebo přes obvodový plášť. Tento děj nastává v časovém kroku od 5.7. 2015 0:00 do 5.7. 2015 7:00. V době od 5.7. 2015 8:30 dochází k nárůstu teploty vzduchu v interiéru. Příčinou není jen teplota vzduchu v exteriéru, ale také intenzita slunečního záření. Teplota vzduchu je přibližně ustálena od 5.7. 2015 19:00. Průběh teplot vzduchu v exteriéru v měsíci červenec 2015 je zobrazen v příloze **P3**. Relativní vlhkost vzduchu je řešena v **grafu 28**.



Graf 28 - Koncentrace CO₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 5.7. 2015

Graf 28 udává, že koncentrace CO₂ se pohybuje na velmi nízkých hodnotách. Hodnota relativní vlhkosti se také pohybuje na dobré úrovni. Poklesy koncentrace CO₂ jsou časté. Z toho vyplývá, že větrání je dostatečné. Také relativní vlhkost vzduchu je při větrání snížena. Je možné usoudit, že v neděli je místnost déle obsazena (viz. průběh koncentrace CO₂ v **grafu 28**).

C.1.7 Výsledné posouzení naměřených dat v obývacím pokoji

V obývacím pokoji byly hodnoceny následující faktory vnitřního prostředí:

- teplota vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu
- koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu

Teplota vzduchu

Z hlediska tepelného mikroklimatu je obývací pokoj na dobré úrovni. Bylo by vhodné v otopné sezóně udržovat teplotu mezi 20 °C až 22 °C (regulace otopného tělesa pomocí termostatické hlavice) a v období mimo otopnou sezónu maximálně do 26 °C. Protože není v bytě instalován chladicí systém, bylo by vhodné v letním období využít alternativní způsob chlazení (větrání přes noc) a během dne zatáhnout žaluzie. Další alternativou je možnost vybavit místnost mobilní klimatizací pro ochlazení místnosti v případě vysokých letních teplot.

Větší odchylky naměřené teploty vzduchu mohly vzniknout tím, že bylo měřidlo vystaveno buď teplému nebo chladnému proudění vzduchu, případně vlivem provozu v místnosti. Je nutno dodat, že v grafech byla porovnávána teplota vzduchu s teplotou operativní. V místnostech s velmi nízkým prouděním vzduchu (obytné prostory, kanceláře) se tyto teploty od sebe liší cca do 4 %, jak nám ukázalo experimentální měření v kapitole **B.2.1.2**.

Relativní vlhkost vzduchu

Z hlediska vlhkostního mikroklimatu je obývací pokoj na dobré úrovni. Bylo by vhodné jak v otopné sezóně tak mimo ni udržovat relativní vlhkost vzduchu mezi 30 % až 50 %. Jelikož v otopné sezóně dochází vlivem vytápění místnosti k odvlhčování vzduchu, bylo by dobré umístit do místnosti zvlhčovač vzduchu.

Větší odchylky naměřené relativní vlhkosti vzduchu mohly vzniknout tím, že došlo v místnosti k náhlé výměně interiérového vzduchu za vzduch exteriérový (otevření okna). Mezi další příčiny bychom mohli zařadit větší počet osob v místnosti nebo umístění v blízkosti měřidla horký nápoj nebo jídlo.

Koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu

V obývacím pokoji dochází k nárůstu koncentrace CO₂ především v podvečerních a večerních hodinách.

Z hlediska kvality vzduchu je obývací pokoj na méně dobré úrovni, nicméně je pravda, že při hodnocení bylo uvažováno přísnější kritérium (1 000 ppm) než jaké je uvedeno ve vyhlášce 268/2009 Sb. (1 500 ppm). Bylo by vhodné jak v otopné sezóně tak mimo ni udržovat koncentraci oxidu uhličitého maximálně do 1 000 ppm. K těmto hodnotám se dá přiblížit tak, že při větším výskytu osob v místnosti bude zajištěno větrání pomocí mikroventilace, nebo bude případně otevřeno okno na 5 minut až 10 minut.

Jak již bylo zmíněno, pro snížení koncentrace oxidu uhličitého v místnosti je důležité větrání. V zimním období je to z hlediska tepelných ztrát energeticky náročné, ale je nutné si uvědomit, že kvalita vnitřního prostředí je pro uživatele daného objektu důležitá.

Závěr

Závěrem bych chtěl říci, že zajištění kvality vnitřního prostředí v našich domovech je základním krokem ke zdravému bydlení. Uvažovat nad tím, že otevření okna v zimním období stojí peníze, není vhodné.

C.2 Porovnání exteriérové teploty s normovými hodnotami teploty, sloužící pro návrh systémů vytápění a chlazení

Jelikož jsou v poslední době léta hodně teplá a zimy nepříliš chladné, je vhodné si uvědomit na jaké exteriérové teploty vzduchu vlastně dimenzovat systémy TZB.

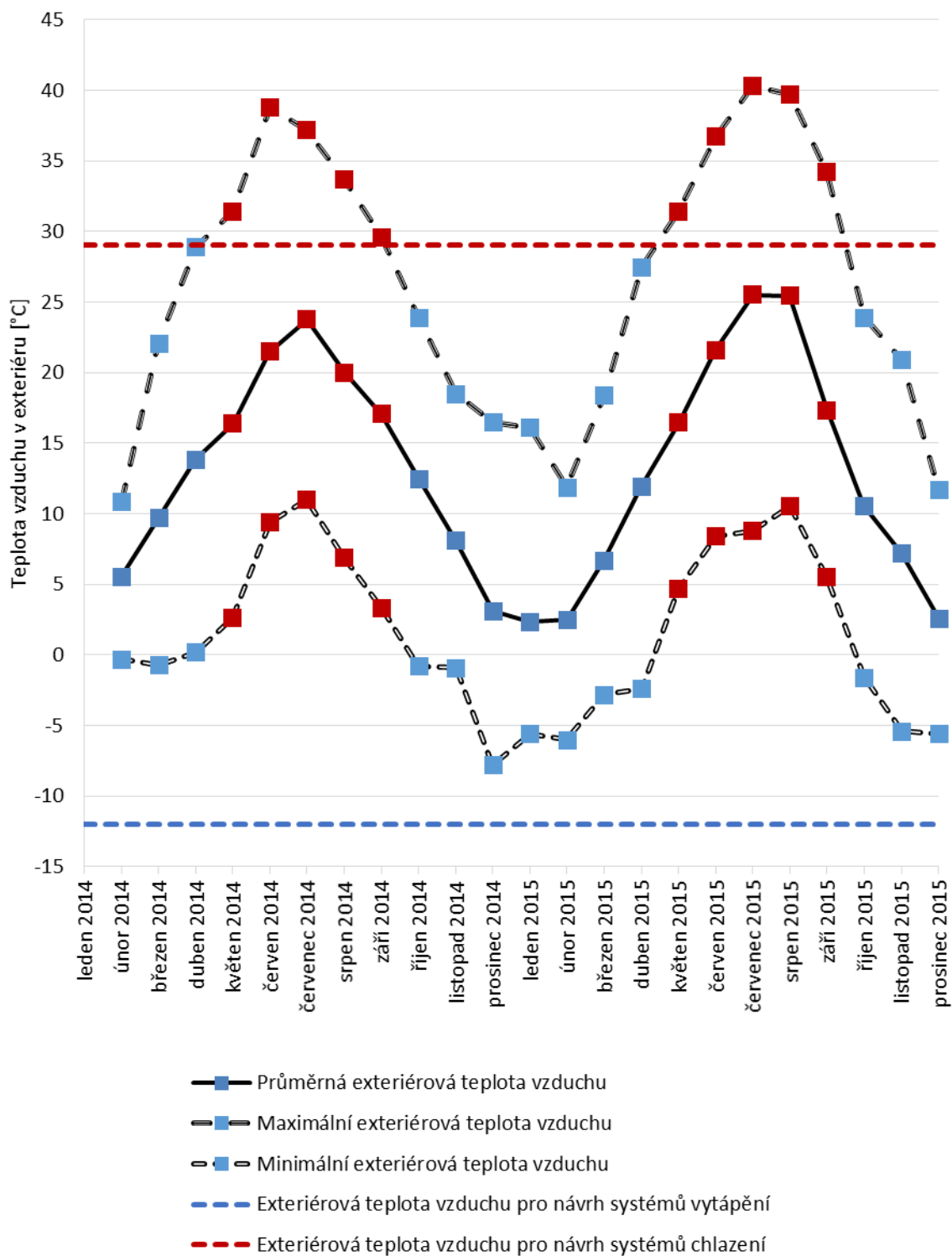
Normou dané hodnoty exteriérové teploty vzduchu jsou pro návrh systémů vytápění -12 °C a chlazení 29 °C (oblast Brno). **Graf 29** umožňuje grafické posouzení naměřených dat exteriérové teploty vzduchu za necelé dva roky s normou stanovenými hodnotami. **Graf 29** obsahuje tři křivky s měsíčními hodnotami - maximální, průměrné a minimální exteriérové teploty vzduchu.

Co se týče návrhu systémů vytápění, není nutné při dimenzování zdroje tepla uvažovat s exteriérovou teplotou vzduchu -12 °C , ale můžeme jít na hodnotu vyšší. Dle **grafu 29** bychom mohli jít až na hodnotu kolem -10 °C . Vždy je však nutno uvažovat určitou rezervu, aby nedošlo k poddimenzování zdroje tepla. Při snížení výkonu zdroje snížíme také jeho pořizovací náklady.

Pokud uvažujeme při návrhu systému chlazení s exteriérovou teplotou vzduchu 29 °C , můžeme výkon zdroje chladu poddimenzovat. Maximální hodnoty v létě mohou vystoupat až na 40 °C . Proto bychom měli při návrhu systému chlazení uvažovat s hodnotou vyšší než 29 °C (alespoň 33 °C).

Nutno dodat, že naměřená data byla měřena s určitou odchylkou a to jak přesností měřidla, tak i vlivem počasí a polohy měřidla. Také se nejedná o data z žádné z meteorologických stanic, které slouží k tvorbě referenčního roku. Data jsou čistě informativní.

Data byla naměřena v lokalitě Brno.



Graf 29 - Průběh exteriérových teplot vzduchu naměřených a používaných pro návrh systémů vytápění a chlazení (loklaita Brno)

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámení s vnitřním prostředím budov, s faktory, které jej ovlivňují a s přístroji, které umožňují jeho vyhodnocení. Dále také slouží k poukázání nedostatků ve vnitřním prostředí budov a k jejich možnému odstranění.

V teoretické části bylo pojednáno o vnitřním prostředí, teplotách a vlhkostech, které s ním souvisí. Dále o slunečním záření, stanovení jeho výsledné intenzity záření a využití tohoto záření ve vnitřním prostředí a energetice. Součástí je také obecný úvod do principu termografie. Na konci této části byly uvedeny měřicí přístroje pro měření energetických toků budovy, klimatických dat a mikroklimatických veličin.

V experimentální části byly řešeny dvě části. Část první se zabývala zásadám pro měření termokamerou a vyhodnocením pořízených termosnímků na rodinném domě. Část druhá byla věnována specifikaci měření tepelně vlhkostního mikroklimatu, koncentraci oxidu uhličitého v ovzduší a klimatických dat pro energetiku. U vybraných parametrů bylo provedeno experimentální měření a následně byly vyhotoveny grafy s porovnáním naměřených údajů.

V projektu bylo řešeno vyhodnocení kvality vnitřního prostředí v obývacím pokoji. Konkrétně byla hodnocena teplota a relativní vlhkost vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého. Data byla měřena necelé dva roky. Následně byl proveden rozbor průběhu teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého v typicky zimním a letním měsíci a to jak v celém měsíci, tak i v době osmi dnů po sobě jdoucích a během jednoho celého dne. Důvodem bylo detailněji znázornit průběh těchto hodnot. Výsledkem bylo zhodnotit stav vnitřního prostředí v řešené místnosti a návrh možného opatření jak docílit lepšího stavu vnitřního prostředí. Na konci této části jsem porovnával teploty vzduchu v exteriéru s hodnotami, které slouží jako vstupní parametry pro návrh zdroje systémů vytápění a chlazení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. Požadavky na jednotlivé faktory vnitřního prostředí budov a jejich zajištění. *Stavba.tzb-info* [online]. 2015 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/12280-pozadavky-na-jednotlive-factory-vnitriho-prostredi-budov-a-jejich-zajisteni>
- [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: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] KABELE, Karel, Zuzana VEVERKOVÁ a Pavla DVOŘÁKOVÁ. Hodnocení vnitřního prostředí v budovách s nízkou potřebou energie. *Časopis stavebnictví*. 2016, X(01-02/2016), 16-25.
- [4] SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu (I): Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu. *Tzb-info* [online]. 2006 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [5] BUCHTA, Stanislav. *Dřevo a vnitřní prostředí staveb* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=89131. Disertační práce.
- [6] ZMRHAL, Vladimír. Stanovení střední radiační teploty (I). *Tzb-info* [online]. 2006 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3072-stanoveni-stredni-radiacni-teploty-i>
- [7] KABELE, Karel a Zuzana VEVERKOVÁ. Modelování operativní teploty. *Tzb-info* [online]. 2014 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1422-modelovani-operativni-teploty>
- [8] ČSN 73 0548: *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [9] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.

- [10] MATUŠKA, Tomáš. Účinnost solárního kolektoru. *Oze.tzb-info* [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/161-ucinnost-solarniho-kolektoru>
- [11] KALOUSEK, Miloš. *Využití experimentálních a simulačních metod v tepelné ochraně budov* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-3165-2.pdf>. Zkrácená verze habilitační práce.
- [12] ZVĚŘINA, Aleš a Miloš KALOUSEK. Bezkontaktní diagnostika vad a poruch vnějších kontaktních zateplovacích systémů pomocí infračervené termografie. *Znaleckyportal* [online]. 2012 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: http://www.znaleckyportal.cz/index.php?view=article&catid=144:stavebnictvi-stavebni-odvetvi-ruzna&id=209:bezkontaktni-diagnostika-vad-a-poruch-vnejsich-kontaktnich-zateplovacich-systemu-pomoci-infracervene-termografie&format=pdf&option=com_content&Itemid=247
- [13] *Termokamera. Tepelné záření* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni/>
- [14] PAVELEK, Milan, Eva JANOTKOVÁ a Josef ŠTĚTINA. *Vizualizační a optické měřicí metody: 2.4 Stefanův - Boltzmannův zákon* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/0204.htm>
- [15] BAYER, Robert. *Úvod do principů termografie* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65646
- [16] PAVELEK, Milan, Eva JANOTKOVÁ a Josef ŠTĚTINA. *Vizualizační a optické měřicí metody: 7. Termovizní systémy* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/0700.htm>
- [17] *Termokamery - fluke. Základní termokamery* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.termokamery-fluke.cz/zakladni-termokamery/34-termokamera-fluke-tis20.html>

- [18] *Termokamery - fluke. Profesionální termokamery* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.termokamery-fluke.cz/profesionalni-termokamery/20-termokamera-fluke-tix520.html>
- [19] MATUŠKA, Tomáš a Luděk MAREŠ. *Experimentální metody 1.* [online]. Praha, 2009 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/EXM/Matuska_Mares_Experimentalni_metody_1.pdf
- [20] *Muni. Úvod do studia meteorologie a klimatologie* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html
- [21] ČSN EN ISO 15927 - 4: *Tepelně vlhkostní chování budov - Výpočet a uvádění klimatických dat - Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [22] *Meteo - Holešov. Meteorologická stanice Holešov: přístroje* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.meteo-holesov.cz/holesov-pristroje.html>
- [23] *Meteo – počasí. IP METEOSTANICE ME13* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.meteo-pocasi.cz/eshop/meteostanice/ip-meteostanice-me13/>
- [24] *Cometsystem. Produkty* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/reg-S3120>
- [25] *Epřístroje. Rychlý dotykový povrchový teploměr testo 905-T2* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://www.epristroje.cz/digitalni-teplomery-testo_rychly_dotykovy_povrchovy teplomer_testo_905t2-541348461-615165849-dotykove-teplomery/
- [26] *Epřístroje. IR teploměr Voltcraft IR 550-12SIP, 12:1, -60 až 550 °C, IP 54* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://www.epristroje.cz/pistolove_infra-teplomery-voltcraft_ir_teplomer_voltcraft_ir_55012sip,_12:1,_60_az_550_%C2%B0c,_ip_54-574459993-614779336-pistolove-infracervene-teplomery/

- [27] *Ahlborn. Kulový teploměr FPA805GTS* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.cz/cidla-a-snimace/kulovy-teplomer-fpa805gts.html?listtype=search&searchparam=kulov%C3%BD%20teplom%C4%9Br>
- [28] *Automa. „Kulový“ teploměr* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=30770
- [29] ŠTĚTINA, Josef, Michal JAROŠ, Pavel RAMÍK, Milan PAVELEK, Jan JEDELSKY a Karel MICHALICA. *Virtuální laboratoř - Zkoušení vozidel: 5.1 Tepelný stav prostředí* [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/vozidla/Ka05-01.htm>
- [30] *Zoohygienu: Přístroje - Vlasový vlhkoměr* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://zoohygienu.xf.cz/Pristroje%20fotky/Vlasovy%20vlhkomer.jpg>
- [31] *Zoohygienu: Přístroje - Psychrometr staniční Augustův* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://zoohygienu.xf.cz/Pristroje%20fotky/Psychrometr%20Augustuv.jpg>
- [32] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. *Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích: 1.1.9 Vlhkost vzduchu* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/119vlhkost_vzduchu.html
- [33] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. *Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích: 1.1.10 Rychlost proudění vzduchu* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/1110rychlost_proudn_vzduchu.html
- [34] *Termokamera. Chyby a omyly při měření* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>
- [35] *Fluke. Fluke Ti45FT Infrared Camera* [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://en-us.fluke.com/products/infrared-cameras/fluke-ti45ft-infrared-camera.html>

- [36] ČSN EN ISO 7726: *Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [37] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. *Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích: 1.1.5 Radiační teplota*[online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z:
http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/115radian_teplota.html
- [38] JIRÁK, Zdeněk a Zuzana MATHAUSEROVÁ. *Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích: 1.1.4 Operativní teplota* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z:
http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/114operativn_teplota.html
- [39] ČSN 73 0540 - 3: *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [40] HIRŠ, Jiří a Günter GEBAUER. *Vzduchotechnika v příkladech - 1*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-486-9.
- [41] PROTRONIX S.R.O. *Pracujete ve zdravém prostředí? Vetrani.tzb-info* [online]. 2009 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>

V bakalářské práci byla použita data naměřená v rámci projektu TAČR CK Smart Regions

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratky

ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
TZB	technická zařízení budov
D	den v měsíci
M	číslo měsíce
AČT	absolutně černé těleso
3D	trojrozměrné zobrazení
RH	relativní vlhkost
CO ₂	oxid uhličitý
s. š.	severní šířka
v. d.	východní délka

Symbole a matematicko - fyzikální veličiny

I_0	- solární konstanta [$W \cdot m^{-2}$]
Z	- součinitel znečištění atmosféry [-]
I_n	- intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší [$W \cdot m^{-2}$]
I_{ξ}	- intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [$W \cdot m^{-2}$]
h	- výška slunce nad obzorem [m] - Planckova konstanta [$J \cdot s$]
a	- azimut slunce [$^{\circ}$]
δ	- sluneční deklinace [$^{\circ}$]
φ	- zeměpisná šířka [$^{\circ}$] - relativní vlhkost [%]
τ	- časový úhel [$^{\circ}$]
a_s	- azimut osluněné plochy [$^{\circ}$]
α	- sklon plochy od vodorovné roviny [$^{\circ}$]
γ	- úhel dopadu slunečních paprsků [$^{\circ}$]

I_{Pn}	- intenzita přímého slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků [$W \cdot m^{-2}$]
H	- nadmořská výška [m]
ε	- součinitel závisící na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa [-] - emisivita povrchu tělesa [-]
I_P	- intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu [$W \cdot m^{-2}$]
I_D	- intenzita difúzního slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]
r	- reflexní schopnost [-]
I_{Ph}	- intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]
I_{Dh}	- intenzita difúzního slunečního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$]
I	- celková intenzita slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]
M_e	- zářivý tok [W]
E_e	- zářivá energie [J]
t	- čas [s]
M_α	- část pohlceného zářivého toku [W]
M_ρ	- část odraženého zářivého toku [W]
M_τ	- část propuštěného zářivého toku [W]
$M_{e,\lambda}(\lambda, T)$	- zářivý tok vztahující se k vlnové délce a absolutní teplotě [$W \cdot m^{-3}$]
$M_e(T)$	- celkový zářivý tok na jednotku plochy pro danou teplotu tělesa přes celé spektrum vlnových délek [$W \cdot m^{-2}$]
λ	- vlnová délka [m]
T	- absolutní teplota tělesa [K]
c	- rychlost světla ve vakuu [$m \cdot s^{-1}$]
k	- Boltzmanova konstanta [$J \cdot K^{-1}$]
σ_e	- Stefan – Boltzmanova konstanta [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$]
λ_{max}	- vlnová délka, závislá na absolutní teplotě tělesa [m]
t_e	- teplota vzduchu v exteriéru [$^{\circ}C$]
t_i	- teplota vzduchu v interiéru [$^{\circ}C$]
t_s	- teplota povrchu konstrukce [$^{\circ}C$]

t_{rb}	- teplota rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$]
t_w	- teplota mokrého teploměru [$^{\circ}\text{C}$]
t_a	- teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
t_g	- výsledná teplota kulového teploměru [$^{\circ}\text{C}$]
t_r	- střední radiační teplota [$^{\circ}\text{C}$]
t_o	- operativní teplota [$^{\circ}\text{C}$]
t_{rs}	- rovnocenná sluneční teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
t_{st}	- teplota suchého teploměru [$^{\circ}\text{C}$]
ϕ	- absolutní vlhkost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
x	- měrná vlhkost [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. v.]
v_a	- rychlost proudění vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
A	- hodnota závislá na rychlosti proudění vzduchu [-]

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obr. 1 Přímé a difúzní záření	20
Obr. 2 Schéma pro výpočet intenzity slunečního záření [9]	21
Obr. 3 Dopad slunečních paprsků do interiéru v zimě a létě	25
Obr. 4 Elektromagnetické spektrum.....	26
Obr. 5 Planckův vyzařovací zákon [13]	28
Obr. 6 Stefan – Boltzmanův zákon [14]	29
Obr. 7 Termokamera Fluke TIS20 [17]	31
Obr. 8 Termokamera Fluke TIX520 [18]	32
Obr. 9 Meteorologická budka a její vybavení [22]	34
Obr. 10 Směrovka větru [22]	34
Obr. 11 Miskový anemometr [22].....	35
Obr. 12 Mikrobarograf [22]	35
Obr. 13 Pyranometr [22].....	36
Obr. 14 Pyranometr se stínícím prstencem [22].....	36
Obr. 15 Srážkoměr [22]	37
Obr. 16 Automatická meteorologická stanice [23]	37
Obr. 17 Datalogger Comet S3120 [24].....	38
Obr. 18 Dotykový teploměr [25].....	39
Obr. 19 Infračervený teploměr [26].....	39
Obr. 20 Kulový teploměr [27].....	40
Obr. 21 Vernon - Joklův kulový teploměr [28].....	40
Obr. 22 Missénárdův válcový teploměr [28]	41
Obr. 23 Elektrolytický vlhkoměr [29]	41
Obr. 24 Vlasový vlhkoměr [30]	42
Obr. 25 Princip Augustova psychrometru	42
Obr. 26 Augustův psychrometr [31].....	43
Obr. 27 Assmanův aspirační psychrometr [32].....	43
Obr. 28 Anemometr se zahřívanou kuličkou [33]	44
Obr. 29 Lopatkový anemometr [33]	44
Obr. 30 Vzdálenost meteorologické stanice a místa měření.....	47
Obr. 31 Termokamera FLUKE Ti45 [35].....	48
Obr. 32 Pohled na dům z ulice Fialová	48
Obr. 33 Pohled na dům ze zahrady.....	48
Obr. 34 Pohled na obvodový plášť z ulice.....	49
Obr. 35 Garážová vrata.....	49
Obr. 36 Sokl	50
Obr. 37 Horní kout garážových vrat.....	50

Obr. 38 Vstupní dveře	51
Obr. 39 Spodní část vstupních dveří.....	51
Obr. 40 Pohled na rodinný dům ze zahrady.....	52
Obr. 41 Datalogger Comet S3120	55
Obr. 42 Půdorys bytu a označení polohy měřidel	56
Obr. 43 Poloha měřidel v místnosti.....	56
Obr. 44 Schéma rozmístění měřidel	59
Obr. 45 Datalogger Comet S3532	62
Obr. 46 EASYCON AirStation CHM - AK - 02	63
Obr. 47 Půdorys kanceláře a označení polohy měřidel	64
Obr. 48 Poloha měřidel v kanceláři.....	64
Obr. 49 Půdorys zasedací místnosti a označení polohy měřidel.....	67
Obr. 50 Poloha měřidel v zasedací místnosti.....	68
Obr. 51 Mapa s označením polohy řešeného objektu.....	73
Obr. 52 Pohled na část bytového domu (vlevo jižní pohled, vpravo severní pohled)....	73
Obr. 53 Půdorys typického podlaží bytového domu	74
Obr. 54 Půdorys bytu (vyšrafovaná část - obývací pokoj)	74

Tabulky

Tab. 1 Průměrný měsíční součinitel znečištění atmosféry [9]	20
Tab. 2 Hodnoty emisivity vybraných materiálů [15].....	30
Tab. 3 Doporučené měřicí výšky pro měření veličin ve vnitřním prostředí [36].....	53
Tab. 4 Závislost hodnoty A na rychlosti proudění vzduchu [38]	54
Tab. 5 Páteřní meteorologické stanice [21].....	70
Tab. 6 Doplnkové meteorologické stanice [21]	70
Tab. 7 Vnitřní operativní teploty pro návrh systémů vytápění a chlazení	76
Tab. 8 Venkovní teploty pro návrh systémů vytápění a chlazení [40]	76
Tab. 9 Vliv koncentrace CO_2 v ovzduší na lidský organismus [41].....	77

Grafy

Graf 1 - Průběh teploty vzduchu v obývacím pokoji	57
Graf 2 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v obývacím pokoji.....	57
Graf 3 - Průběh odchylky měřidla M2 od měřidla M1	58
Graf 4 - Porovnání výsledné teploty kulového teploměru a teploty operativní.....	60
Graf 5 - Průběh operativní tepoty a teploty vzduchu	60
Graf 6 - průběh odchylky operativní teploty od teploty vzduchu	61
Graf 7 - Průběh naměřených koncentrací CO_2 na měřidle N1 a N2	65
Graf 8 - Průběh odchylky měřidla N1 od N2.....	66
Graf 9 - Průběh naměřené koncentrace CO_2 měřidlem N1 a N2	68
Graf 10 - Čas za který naměří měřidla přibližně stejnou hodnotu při obsazení místnosti lidmi.....	69

Graf 11 - Průběh naměřené teploty vzduchu v interiéru a exteriéru	79
Graf 12 - Průběh naměřených teplot vzduchu v interiéru a mezní hodnoty operativní teploty	80
Graf 13 - Průběh naměřených hodnot a návrhová hodnota relativní vlhkosti vzduchu v interiéru	82
Graf 14 - Průběh naměřených hodnot koncentrace CO ₂ v interiéru a její doporučená úroveň v interiéru.....	84
Graf 15 - Teplota vzduchu v interiéru v měsíci únor 2015.....	85
Graf 16 - Relativní vlhkost vzduchu v interiéru v měsíci únor 2015	86
Graf 17 - Koncentrace CO ₂ v měsíci únor 2015	87
Graf 18 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci únor 2015	88
Graf 19 - Koncentrace CO ₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci únor 2015	89
Graf 20 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 10.2. 2015	90
Graf 21 - Koncentrace CO ₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 10.2. 2015.....	91
Graf 22 - Teplota vzduchu v interiéru v měsíci červenec 2015	92
Graf 23 - Relativní vlhkost vzduchu v interiéru v měsíci červenec 2015	93
Graf 24 - Koncentrace CO ₂ v měsíci červenec 2015.....	94
Graf 25 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci červenec 2015.....	95
Graf 26 - Koncentrace CO ₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během osmi dnů v měsíci červenec 2015	96
Graf 27 - Teplota a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 5.7. 2015	97
Graf 28 - Koncentrace CO ₂ a relativní vlhkost vzduchu v interiéru během dne 5.7. 2015.....	98
Graf 29 - Průběh exteriérových teplot vzduchu naměřených a používaných pro návrh systémů vytápění a chlazení (loklaita Brno)	102

SEZNAM PŘÍLOH

P1 - Ukázka výpočtu operativní teploty pro **graf 4**

P2 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru v měsíci únor 2015

P3 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru v měsíci červenec 2015

P1 - ukázka výpočtu operativní teploty pro graf 4

Datum a čas naměření hodnot:

30.7. 2013 10:30

Vstupní veličiny:

- teplota vzduchu $t_a = 26,2 \text{ }^\circ\text{C}$
- výsledná teplota kulového teploměru $t_g = 26,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- rychlost proudění vzduchu $v_a = 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- hodnota závislá na rychlosti proudění vzduchu $A = 0,5$

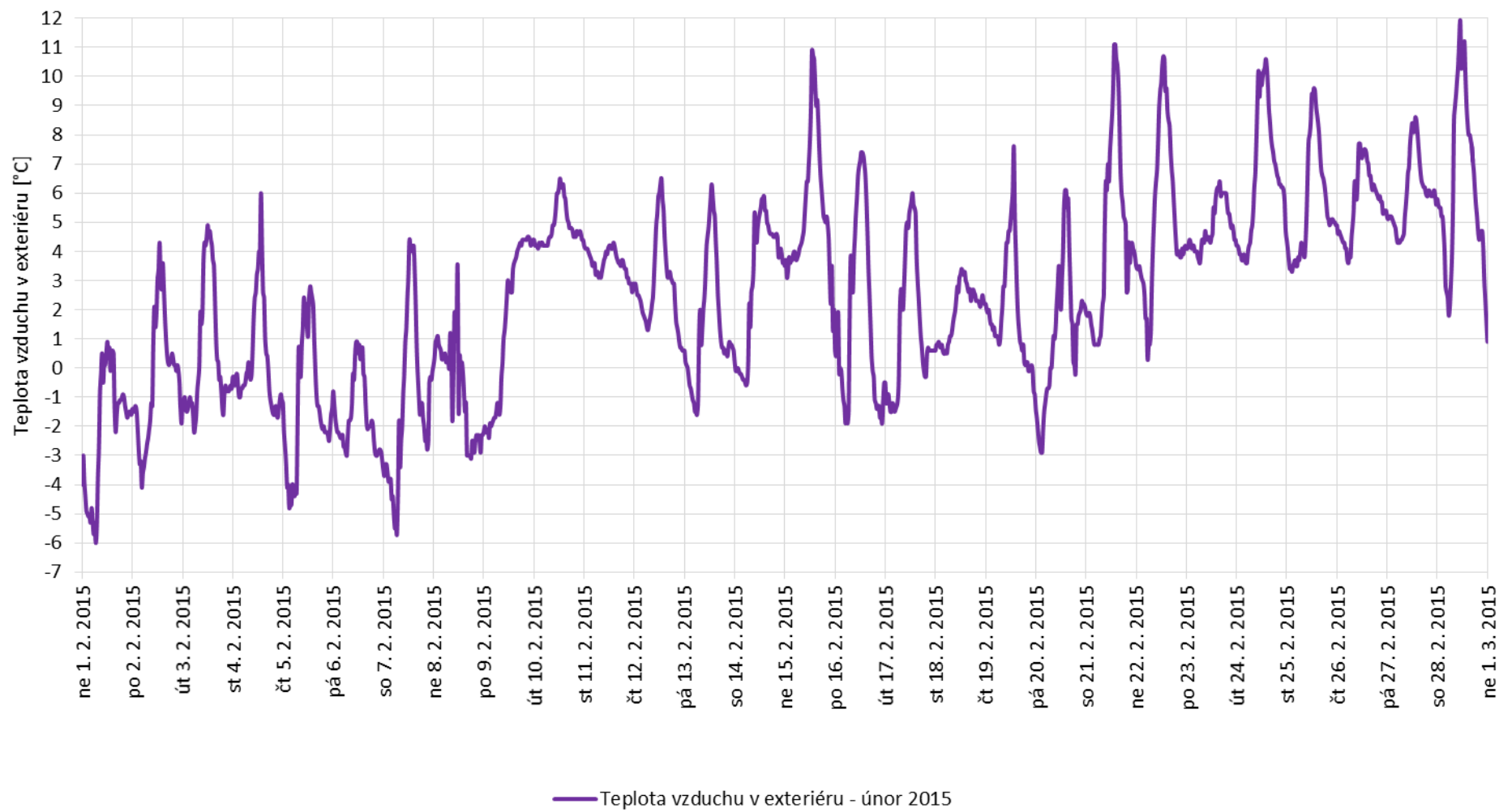
$$\begin{aligned}t_r &= \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 = \\&= [(26,3 + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot 0,15^{0,6} (26,3 - 26,2)]^{1/4} - 273 = \\&\doteq 26,4 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_o &= t_r + A(t_a - t_r) = \\&= 26,4 + 0,5(26,2 - 26,4) = \\&= 26,3 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

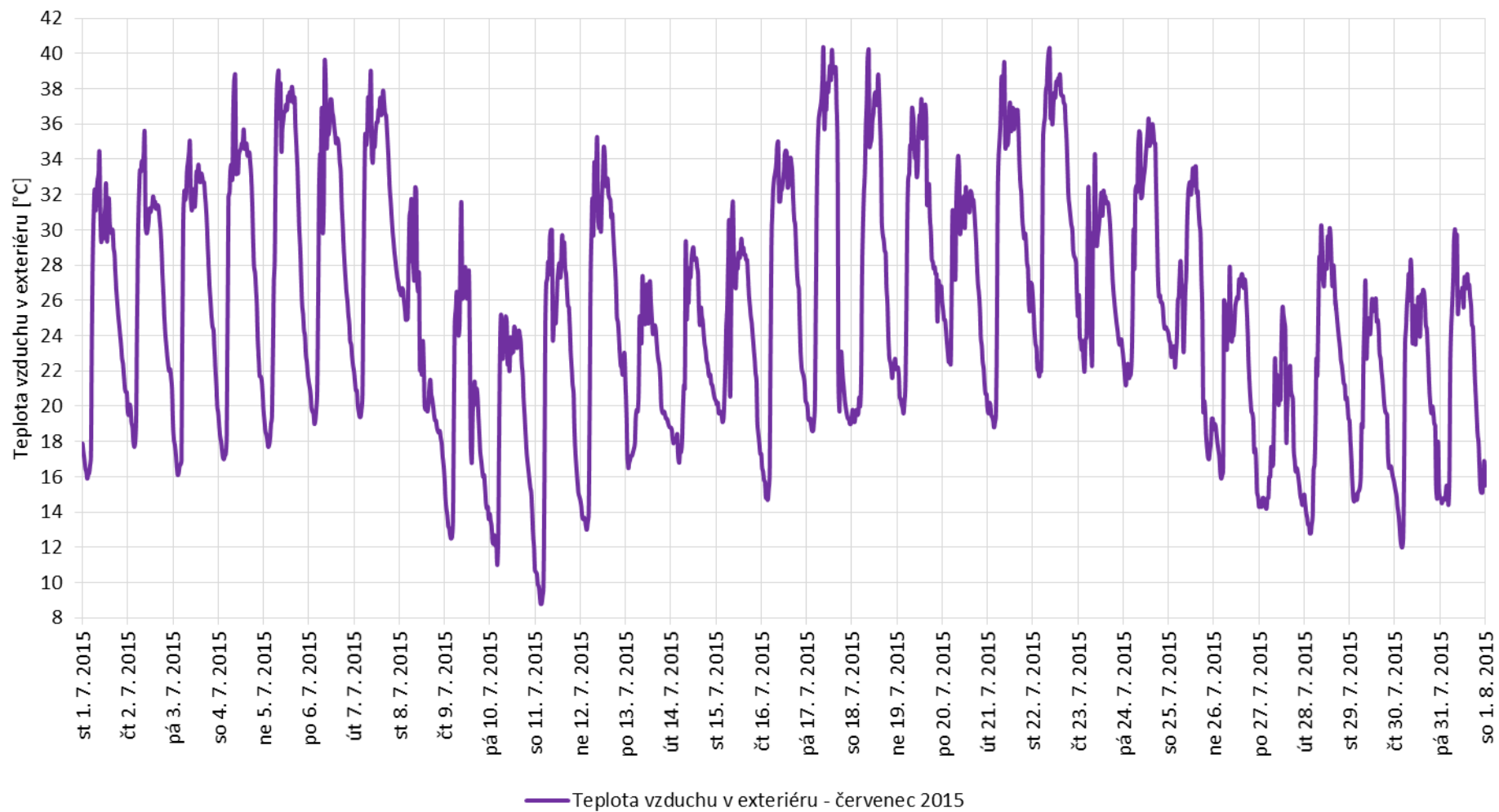
$$t_o = t_g$$

$$26,3 \text{ }^\circ\text{C} = 26,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Operativní teplotu lze nahradit výslednou teplotou kulového teploměru.



P2 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru v měsíci únor 2015



P3 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru v měsíci červenec 2015