

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**SLEDOVÁNÍ KVALITY VNITŘNÍHO
PROSTŘEDÍ V BYTECH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MATYÁŠ PETR

3– IB – 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petr** Jméno: **Matyáš** Osobní číslo: **440644**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Inteligentní budovy**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Sledování kvality vnitřního prostředí v bytech

Název diplomové práce anglicky:

Monitoring of Indoor Environment Quality in Flats

Pokyny pro vypracování:

Popište hodnocení kvality vnitřního prostředí v budovách a způsoby měření základních parametrů. V praktické části na základě dat získaných pomocí vybraného čidla a z dotazníkového průzkumu zhodnoťte kvalitu vnitřního prostředí ve sledovaných bytech v České republice. Ověřte funkci čidla z hlediska měření koncentrace částic frakce PM_{2,5} pomocí optického analyzátoru GRIMM.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Nový R. a kol.: Technika prostředí, ČVUT, Praha, 2006.
- 2) Zmrhal V.: Větrání rodinných a bytových domů, Grada Publishing a.s., Praha, 2013.
- 3) Matuška T.: Experimentální metody v technice prostředí, ČVUT, Praha, 2005.
- 4) Aerosol Dust Monitors and Counters, Grimm Aerosol Technik Manual.
- 5) firemní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Vybíral, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Miloš Lain, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:

Ing. Pavel Vybíral, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
 podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.4.2020
 Datum převzetí zadání

Podpis studenta

SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývá sledováním kvality vnitřního prostředí v bytech. V úvodní části je seznámení s problematikou, faktory vnitřního ovzduší, vliv kvality ovzduší na lidské zdraví, seznámení s principy měření kvality vnitřního ovzduší a platné zákony a normy pro hodnocení kvality vnitřního ovzduší. V další části je práce věnována popisu měření a sběru dat, z kterých byla provedena analýza kvality vnitřního prostředí v českých domácnostech. V poslední části práce obsahuje popis a vyhodnocení porovnávacího měření čidla prašnosti s optickými spektrometry v laboratorních podmínkách.

SUMMARY

The present diploma thesis deals with monitoring of indoor environmental quality in apartment units. The first section of the thesis provides an explanation of the matter at hand as well as the process of assessment, and the effect air quality has on human health. The principles of air quality measurement, laws applicable thereto, and indoor air quality assessment regulations are then introduced. The following section focuses on description of collection and measurement of the data used in the indoor environmental quality analysis which targets Czech households. The final section describes and evaluates the measurements taken with a dust sensor with optical spectrometers in laboratory conditions.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Sledování kvality vnitřního prostředí v bytech“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Bc. Matyáš Petr

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat rodičům za podporu při mém studiu. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Pavlu Vybíralovi Ph.D. za cenné rady a informace poskytnuté během konzultací, firmě Siemens, Ing. Michalovi Bassimu a Ing. Ivo Paverovi za poskytnuté měřicí zařízení, doplňující informace a pomoc s organizováním samotného průběhu měření. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Jakubovi Ondráčkovi, Ph.D. z Ústavu chemických procesů Akademie věd České republiky za vypůjčení optických spektrometrů a pomoc s měřením.

OBSAH

1	SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ	11
2	ÚVOD.....	12
3	VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	13
3.1	Charakteristika vnitřního prostředí	13
3.2	Klimatické parametry vnitřního prostředí	13
3.2.1	Faktory ovlivňující tepelnou pohodu.....	14
3.2.2	Faktory ovlivňující vlhkostní mikroklima	14
3.2.3	Faktory ovlivňující čistotu ovzduší.....	15
4	KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	15
4.1	Tepelně vlhkostní složka prostředí.....	15
4.1.1	Tepelná rovnováha a pohoda	15
4.1.2	Relativní vlhkost vzduchu	16
4.2	Čistota ovzduší.....	17
4.3	Znečišťující látky z vnitřního prostředí.....	17
4.3.1	Vodní pára.....	17
4.3.2	Oxid uhličitý	18
4.3.3	Oxid uhelnatý.....	18
4.3.4	Oděry, vůně a pachy	18
4.3.5	Cigaretový kouř	18
4.3.6	VOC – těkavé organické látky.....	18
4.3.7	Ostatní látky.....	19
4.4	Znečišťující látky z venkovního prostředí	19
4.4.1	Oxid siřičitý	19
4.4.2	Oxidy dusíku.....	20
4.4.3	Oxid uhelnatý.....	20

4.4.4	Přízemní ozón (troposférický ozon)	20
4.4.5	Benzen	20
5	Tuhé znečišťující látky	20
5.1	Zdroje a charakteristika tuhých částic	21
5.1.1	Tvar a ekvivalentní velikost částic	21
5.1.2	Zrnitost částic	22
5.2	Definice frakce PM _{2,5} a PM ₁₀	22
5.3	Zdravotní účinky prachu	23
6	PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ A PLATNÉ PŘEDPISY	26
6.1	Parametry pro vnitřní prostředí	27
6.1.1	Teplota a vlhkost	27
6.1.2	Hodnocení znečištění vnitřního ovzduší podle PEL a NPK-P	27
6.1.3	Koncentrace CO ₂	28
6.1.4	Koncentrace VOC	28
6.1.5	Koncentrace tuhých částic	29
7	SENZORY PRO MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	31
7.1	Rozdělení senzorů	31
7.1.1	Dle měřené veličiny	31
7.1.2	Dle fyzikálního principu	31
7.1.3	Dle styku senzoru s měřeným prostředím	31
7.1.4	Dle transformace signálu	31
7.1.5	Dle výrobní technologie	32
7.2	Měření teploty	32
7.3	Rozdělení principů měření teploty	32
7.3.1	Dilatační teploměry	32
7.3.2	Elektrické teploměry	32

7.3.3	Bezdotykové měření teploty	32
7.4	Měření vlhkosti	33
7.5	Rozdělení principů měření vlhkosti	33
7.5.1	Gravimetrická metoda.....	33
7.5.2	Hygrometrická metoda	33
7.5.3	Psychrometrická metoda.....	33
7.5.4	Kondenzační metoda.....	34
7.5.5	Kapacitní metoda	34
7.5.6	Odporová metoda.....	34
7.5.7	Infračervené vlhkoměry	34
7.6	Měření CO ₂	34
7.7	Rozdělení principů měření CO ₂	35
7.7.1	Detekční trubičky.....	35
7.7.2	Optické infračervené senzory	35
7.7.3	Elektrochemické senzory	35
7.7.4	Polovodičový senzor.....	36
7.7.5	Elektroakustické senzory	36
7.7.6	Infračervená spektrometrie (NDIR).....	36
7.7.7	Ultrafialová spektrometrie (NDUV).....	36
7.8	Měření VOC	36
7.9	Měření prachových částic	37
7.9.1	Gravimetrická metoda.....	37
7.9.2	Radiometrická metoda	37
7.9.3	Fotometrická metoda	38
7.9.4	Senzory se široko-paprskovými světelnými zářiči a plošnými detektory světla	38

7.9.5	Jedno paprskové miniaturní senzory.....	38
8	EXPERIMENT SE ZAŘÍZENÍM SIEMENS.....	39
8.1	Měřicí zařízení Siemens.....	39
8.2	Popis měřicího zařízení.....	39
8.3	Popis čidel.....	42
8.3.1	Čidlo kvality vzduchu QPA10.../QPA20.....	42
8.3.2	Čidlo jemných prachových částic QSA2700D a QSA2700.....	44
8.3.3	Regulace systémů větrání RDF870KNX.....	45
8.3.4	Čidlo kvality prostředí QMX3.P70 s integrovaným prostorovým regulátorem KNX (S-mód).....	46
8.4	Měření kvality vnitřního prostředí v domácnostech.....	47
8.4.1	Postup měření.....	47
8.4.2	Technický doplňující dotazník.....	47
8.4.3	Otázky technického dotazníku.....	48
8.5	Vyhodnocení naměřených dat.....	51
8.5.1	Respondent č. 1.....	51
8.5.2	Respondent č. 2.....	53
8.5.3	Respondent č. 3.....	55
8.5.4	Respondent č. 4.....	57
8.5.5	Respondent č. 5.....	60
8.5.6	Respondent č. 6.....	62
8.5.7	Respondent č. 7.....	64
8.5.8	Respondent č. 8.....	66
8.5.9	Respondent č. 9.....	68
8.5.10	Respondent č. 10.....	71
8.5.11	Respondent č. 11.....	73

8.5.12	Respondent č. 12.....	75
8.5.13	Respondent č. 13.....	77
8.5.14	Respondent č. 14.....	80
8.5.15	Respondent č. 15.....	82
8.6	Celkové vyhodnocení měření.....	84
8.6.1	Vyhodnocení průběhu teplot.....	86
8.6.2	Vyhodnocení průběhu relativní vlhkosti.....	88
8.6.3	Vyhodnocení průběhu koncentrace CO ₂	90
8.6.4	Vyhodnocení průběhu koncentrace VOC	91
8.6.5	Vyhodnocení průběhu hmotnostní koncentrace prachu frakce PM _{2,5}	93
9	OVĚŘENÍ ČIDLA PRAŠNOSTI POMOCÍ OPTICKÉHO ANALYZÁTORU TSI MODEL 330	96
9.1	Prachový spektrometr TSI Model 330	96
9.2	Popis prachového spektrometru	97
9.3	Princip měření	98
9.4	Ověření čidla prašnosti.....	99
9.4.1	Měřicí box.....	100
9.4.2	Postup měření	100
9.5	Vyhodnocení naměřených dat.....	102
10	ZÁVĚR.....	109
11	SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	111
12	PŘÍLOHY.....	114

1 SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

označení	název veličiny	jednotka
D	aerodynamický průměr	[m]
C_M	hmotnostní koncentrace prachových částic	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
R_{od}	tepelný odpor oděvu	$[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$
T	termodynamická teplota	[K]
T_u	intenzita turbulence	[-]
U	elektrické napětí	[V]
a_A	velikost dle průmětu	$[\mu\text{m}]$
a_s	velikost dle povrchu	$[\mu\text{m}]$
a_v	velikost dle objemu	$[\mu\text{m}]$
n	fyzický výkon	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q	měrný tepelný tok	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_k	měrný tepelný tok z povrchu těla konvekcí	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_s	měrný tepelný tok z povrchu těla sáláním	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_w	měrný tepelný tok z povrchu těla vypařováním	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_k	měrný tepelný tok z povrchu těla konvekcí	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_d	měrný tepelný tok dýcháním	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_v	měrný tepelný tok vedením	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_m	měrný energetický výdej	$[\text{W}/\text{m}^2]$
t_a	teplota vzduchu	$[\text{°C}]$
t_k	teplota povrchu pokožky	$[\text{°C}]$
t_r	střední radiační teplota	$[\text{°C}]$
w	rychlost proudění vzduchu	[m/s]
φ	relativní vlhkost	[%]
C-faktor	gravimetrický faktor	[-]

2 ÚVOD

Člověk tráví většinu svého života ve vnitřním prostředí. Délka pobytu v obytném prostředí se liší podle věku, každopádně přibližně třetinu dne stráví člověk odpočinkem a spánkem. Kvalitu zdraví a života v obytných budovách kromě konstrukčních vlastností budovy ovlivňuje technická vybavenost a činnost člověka. Ukazuje se, že značná část veškerých zdravotních problémů a nemocí souvisí s kvalitou vnitřního prostředí v budovách. Jedním z důležitých parametrů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí je intenzita a četnost větrání, které mají prokazatelný vliv na lidské zdraví. [1]

Cílem diplomové práce je změřit a zmapovat kvalitu vnitřního prostředí v českých domácnostech. Měřily se zde teplotně vlhkostní parametry, koncentrace CO₂, koncentrace VOC, koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření probíhalo v domácnostech z různých částí České republiky a byly vybrány tak, aby pokrývaly téměř celé území. Součástí diplomové práce je porovnávací měření čidla prašnosti pomocí optického spektrometru TSI Model 330.

Naměřená data byla zpracována jako analýza pomocí technického dotazníku, který vyplňovaly rodiny, u nichž probíhalo měření. Výsledkem vypracované analýzy by měl být náhled na stav vnitřního prostředí v Českých domácnostech a možnost využití použitého čidla prašnosti pro zlepšení kvality větrání.

3 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

3.1 Charakteristika vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí je stanoveno souborem fyzikálních, chemických a biologických parametrů, jež působí na fyzický a psychický stav člověka. Společný účinek skupiny specifických parametrů dále vyjadřuje tepelný a vlhkostní stav prostředí, čistota ovzduší, oděry, aerosoly, akustika prostředí, kvalita osvětlení, toxicita nebo přítomnost mikrobu v prostředí. Dále mezi významné faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí patří kvalita venkovního vzduchu, který je do vnitřního prostředí přiváděn při nuceném nebo přirozeném větrání. [1], [2]

Vnitřní prostředí budov je součástí životního prostředí, které je vymezené stavebními konstrukcemi a pomocí technických zařízení je snaha docílit mikroklimatické pohody. Hlavním cílem vnitřního prostředí je uměle vytvořit ideální mikroklimatické podmínky a uchránit pobývající osoby před negativními vlivy vnějšího prostředí. [3]

Hodnocení kvality vnitřního prostředí se velmi liší a doposud nejsou na světě stanoveny jednotné limity pro hodnocení a stanovení rozsahu rizika nebo podílu vnitřního prostředí na vznik současných onemocnění. [3]

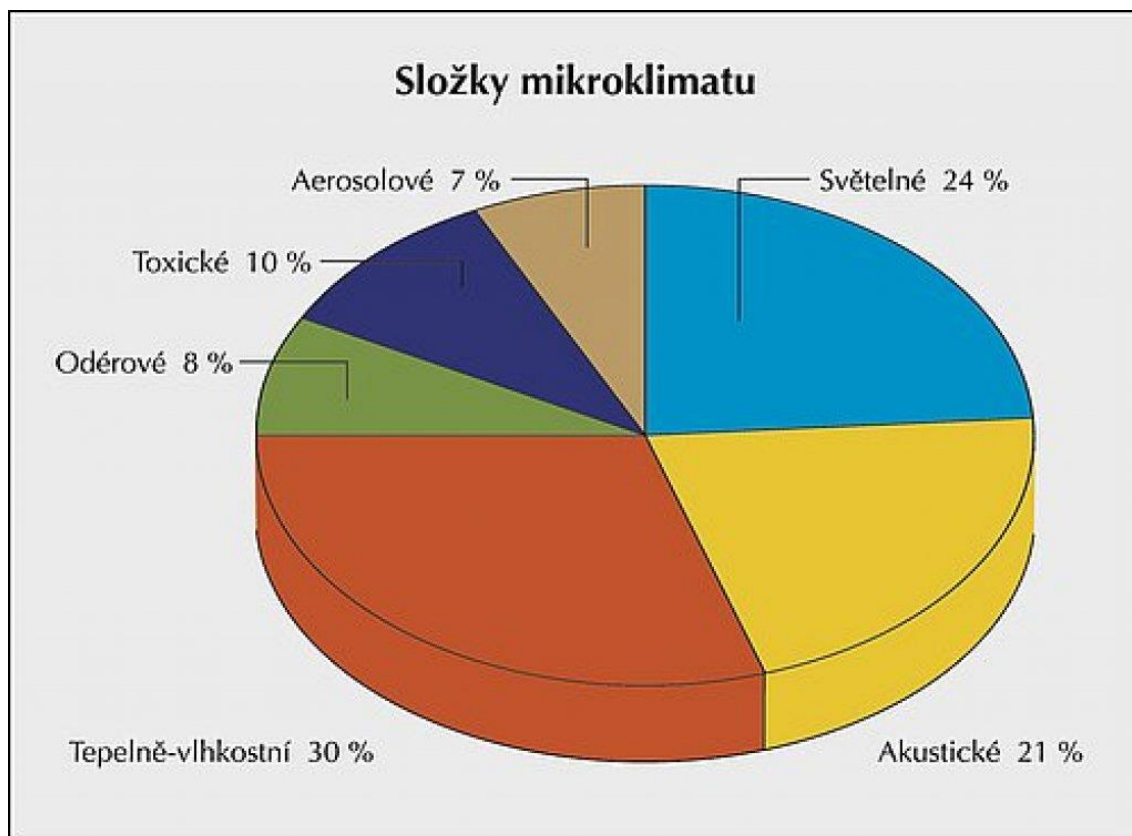
3.2 Klimatické parametry vnitřního prostředí

Vnitřní klima budov je utvářené jednotlivými charakteristickými faktory.

Mezi tyto faktory patří:

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- čistota ovzduší (prach, aerosol, chemikálie)
- pachy
- mikrobiální složky
- hluk a osvětlení

Mezi nejvýznamnější z těchto faktorů patří tepelné a vlhkostní parametry. Dalším důležitým parametrem je čistota a kvalita (čerstvost) vnitřního ovzduší. Jednotlivé složky mikroklimatu a jejich podíl na kvalitě vnitřního prostředí jsou patrné na obr. 1.1. [3]



Obr. 1.1 Jednotlivé složky mikroklimatu a jejich podíl na kvalitě vnitřního prostředí [5]

3.2.1 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu

Tepelnou pohodu lidského organismu ovlivňují různé faktory, které se rozdělují do čtyř hlavních skupin: [3]

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- rychlost proudění vzduchu
- teplota okolních stěn či předmětů

3.2.2 Faktory ovlivňující vlhkostní mikroklima

Mezi nejvýznamnější zdroje vlhkosti patří [3]:

- vnější zdroje vlhkosti – způsobené vnějšími klimatickými podmínkami
- technické vlastnosti konstrukce obálky budovy – vliv je enormní, hlavně u průsvitných konstrukcí
- vnitřní zdroje vlhkosti – způsobeny lidskou činností, rostlinami, vařením, bazény a koupelnami

3.2.3 Faktory ovlivňující čistotu ovzduší

Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující čistotu ovzduší patří [3]:

- fyzikální faktory: teplota, vlhkost, proudění vzduchu
- chemické: anorganické a organické škodliviny
- biologické: bakterie, viry, plísně, pyly, roztoči, prach ze srsti zvířat, z kůže lidí, textilní prach

4 KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

4.1 Tepelně vlhkostní složka prostředí

Tepelný a vlhkostní stav prostředí je souhrn veličin ovlivňujících fyzický a psychický stav člověka. Úkolem technických zařízení upravujících tepelný stav prostředí je vytvoření optimálních podmínek upravovaných veličin pro zajištění tepelné pohody osob, tedy subjektivní pocit, během něhož je zachována tepelná rovnováha za optimálních fyziologických podmínek (povrchová teplota pokožky a největší tepelný tok odváděný vypařováním). Tepelná rovnováha je takový stav, kdy je zachována souměrnost mezi produkovaným tepelným tokem a tokem tepla, který tělo předává okolí konvekcí z povrchu těla, sáláním z povrchu těla, dýcháním, vypařováním a vedením. Tepelnou pohodu můžou ovlivňovat další faktory, jako jsou stáří nebo zdraví člověka. [1]

4.1.1 Tepelná rovnováha a pohoda

Tepelná rovnováha lidského těla s okolím je stav, při kterém je zachována rovnost mezi produkovaným tepelným tokem q a tokem tepla odnímaného tělu okolím, a to konvekcí q_k , sáláním q_s , vypařováním q_w , dýcháním q_d a vedením q_v .

Tepelná pohoda je subjektivní pocit, při kterém je zachována tepelná rovnováha za vhodných hodnot fyziologických parametrů. Mezi fyziologické parametry patří teplota povrchu pokožky t_k a tepelný tok odváděný vypařováním z povrchu mokré pokožky q_{w2} .

Při konstantní tělesné teplotě platí rovnice tepelné rovnováhy ve tvaru:

$$q_m - n = q = \pm q_k \pm q_s \pm q_w \pm q_d$$

Po dosazení všech údajů do rovnice tepelné rovnováhy vyjde rovnice zahrnující celkem sedm základních veličin, které charakterizují stav tepelné rovnováhy a pohody. Mezi tyto základní parametry patří [12]:

Teplota vzduchu t_a je nejčastěji v rozmezí 22 °C v zimě až 26 °C v létě. Samotná teplota vzduchu v obytných interiérech záleží na subjektivním pocitu jednotlivých osob. Velký důraz je kladen na kvalitu výstavby obytné budovy, ta by měla být konstruována tak, aby nebylo nutné vnitřní vzduch v létě strojně dochlazovat, a naopak v zimě co nejméně ohřívat. [1], [12]

Střední radiační teplota t_r je definována jako teplota všech ploch v okolí, při které by celkové množství tepla sdílené sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami bylo stejné jako ve skutečnosti. Hodnota střední radiační teploty se může vlivem polohy v prostoru měnit. Nejvíce je střední radiační teplota ovlivňována v zimním období skrz průsvitné konstrukční plochy. [1], [12]

Rychlost proudění vzduchu w je v pásmu pobytu a pohybu osob v obytném prostředí nejčastěji v rozmezí 0 až 0,2 m/s. S rychlostí proudění vzduchu a její změnou v čase je v závislosti intenzita turbulence. [1]

Intenzita turbulence T_u vyjadřuje obtěžování průvanem a přiřazuje se ke čtyřem základním parametrům prostředí (t , t_r , w , φ). [12]

Tepelný odpor oděvu R_{od} [$m^2 \cdot K/W$] se skládá z odporů tkanin, ze kterých je oděv vyrobený, a ze vzduchových mezer mezi vlákny oděvu. [12]

Měrný energetický výdej q_m [W/m^2], který vyjadřuje intenzitu fyzické činnosti člověka zmenšenou o fyzický výkon n [W/m^2]. [12]

4.1.2 Relativní vlhkost vzduchu

φ [%] je veličina, která je závislá na hmotnostním obsahu vodních par ve vzduchu a teplotě vzduchu. Relativní vlhkost udává, do jaké míry je vzduch nasycen vodními parami. Doporučené rozmezí relativní vlhkosti v obytných prostorech se pohybuje mezi 30 – 60 %. Ale jak bylo řečeno už v předešlé kapitole, jedná se pouze o subjektivní pocit a každá osoba vnímá jinou hodnotu relativní vlhkosti za ideální. Relativní vlhkost vyšší než 50 % v zimním období může způsobovat negativní vlivy jako kondenzaci vodní páry na chladných površích oken a tepelných mostů. Spodní hranice relativní vlhkosti není jednoznačně definována. Dle normy ČSN EN 15251 relativní vlhkost má minimální vliv na tepelný pocit a vnímanou kvalitu vzduchu. Zároveň norma uvádí, že vysoká relativní vlhkost přispívá k růstu mikroorganismů a velmi nízká relativní vlhkost (10 – 20 %) může způsobovat pálení očí a vysychání nosní a krční sliznice. Experimenty poukazují, že lidé

nejlépe vnímají vzduch suchý a chladný, vlhčí a teplejší vnímají jako více znečištěný, i když se jedná o čistý čerstvý vzduch. [1], [12]

4.2 Čistota ovzduší

Kvalita neboli čistota ovzduší je ovlivňována znečišťujícími látkami z vnitřního i vnějšího prostředí. Znečišťující látky jsou odstraňovány odsáváním nebo ředěny větráním (přirozeným nebo nuceným). Přiváděný vnější vzduch do vnitřního prostředí obsahuje vždy určité množství znečišťujících látek, většinou tuhých částic, plynů a par. Při nuceném větrání se pro obytné budovy využívá filtrů pro odlučování tuhých částic, filtry pro plynné znečišťující látky nejsou pro obytné budovy povinné. Při přirozeném větrání se doporučuje omezit větrání při nevhodných meteorologických podmínkách, kdy se zvyšují koncentrace znečišťujících látek, například při stavech teplotní inverze. [1], [12]

4.3 Znečišťující látky z vnitřního prostředí

Ve vnitřním prostředí vznikají škodliviny uvolňováním ze stavebních materiálů, domácího nábytku, dokonce činností samotného člověka z jeho tělesného povrchu.

Mezi nejčastější a nejvýraznější znečišťující látky patří:

- vodní pára
- oxid uhličitý
- oxid uhelnatý
- oděry (pachy)
- VOC – těkavé organické látky
- cigaretový kouř

U dlouhodobě sledovaných a známých látek, které znečišťují ovzduší, se objevují negativní vlivy na lidský organismus. Mezi tyto látky patří např. cigaretový kouř, radon, formaldehyd, azbest. V současné době se neustále zjišťují nové zdroje a látky s negativním vlivem na lidské zdraví, převážně se jedná o chemické sloučeniny, u kterých nebyl prozatím mechanismus vlivu na člověka z dlouhodobého hlediska prozkoumán. [1]

4.3.1 Vodní pára

Ve vnitřním prostředí je vodní pára ve vysokých koncentracích považována za nežádoucí. Důvodem je hrozící kondenzace na chladnějších částech průsvitných konstrukcí

a tepelných mostů při nedostatečném odvodu vodní páry. Kromě orosování a kondenzace se vyšší vlhkost může projevit vznikem plísní nebo navlháním konstrukcí, které mohou v nejhorším případě vést až k narušení zdiva či samotné konstrukce budovy. [1]

4.3.2 Oxid uhličitý

Je jedním z důležitých vedlejších produktů metabolických procesů. Podílí se velkou mírou na kvalitě vnitřního prostředí. I když v běžných koncentracích není CO₂ pro lidský organismus nebezpečný, z velké části ovlivňuje pohodu člověka. Při vysokých koncentracích nad 5000 ppm CO₂ způsobuje únavu, ospalost, nepozornost a bolest hlavy. V krajních případech může být životu nebezpečný, a to většinou, když je nevhodně navržené větrání k plynovému kotli nebo karmě. [1]

4.3.3 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je plyn s vysokou toxicitou. Jedná se o těžký bezbarvý plyn bez zápachu. Ve vnitřním prostředí vzniká nedokonalým hořením, především plynů, topných olejů, uhlí a dřeva. Jeho vzniku přispívá nedostatečný přívod kyslíku při spalování a špatném větrání prostor, v nichž dochází ke spalování. [1]

4.3.4 Odéry, vůně a pachy

Jedná se o nepříjemné pachy v obytných prostorech, které vznikají metabolickou činností nebo uvolňováním ze zařízení místností (textilií, mycích prostředků, nábytku apod.). Pachy samy o sobě člověka většinou neohrožují, ale způsobují nepohodu a nekomfortnost. Můžou snižovat soustředění, a dokonce vyvolávat psychický stres. [1]

4.3.5 Cigaretový kouř

Při kouření se do okolního prostředí uvolňují škodlivé látky jako oxid uhelnatý, benzen, amoniak, formaldehyd, dehet a řada dalších. Většina těchto látek patří ke karcinogenům. V domácnostech, kde se kouří, patří cigaretový kouř k hlavním znečišťujícím látkám. [1]

4.3.6 VOC – těkavé organické látky

Jedná se o organické sloučeniny, které mají bod varu v rozmezí 50 až 260 °C. Jsou to chemické sloučeniny, které se do vzduchu uvolňují ze stavebních a interiérových materiálů nebo sloučenin vznikajících vzájemnou reakcí těchto látek. Těchto látek je velké množství, přesto u většiny z nich nejsou účinky na lidské zdraví známy. VOC se vyznačují výrazným zápachem, dráždivostí a alergickými účinky. Některé z těchto látek

mohou být i karcinogenní. Neustále objevování nových účinků těchto látek s sebou přináší změny jejich hodnocení, které se liší stát od státu. Organické těkavé látky jsou nejčastěji ve vnitřním prostředí uvolňovány z chemických látek, jako jsou čisticí prostředky, leštidla, nátěry, lepidla, podlahové krytiny, dezinfekční prostředky. V běžné domácnosti se může objevit až 2 000 těchto látek, ale pouze 50 se vyskytuje běžně. [1]

4.3.7 Ostatní látky

Jednou z častěji se vyskytujících nebezpečných látek v domácnostech je formaldehyd. Formaldehyd je dráždivý plyn, který má negativní vliv na lidské zdraví. Je často spojován s vyšším rizikem rakoviny. Používá se při výrobě stavebních hmot a materiálů, například dřevotřískových produktů a pěnové izolace. [1]

Další nebezpečnou látkou v domácnostech může být azbest, jehož negativní vlastnosti jsou velice známé. Azbest je zdrojem vláknitého prachu (osinek), který je karcinogenní. V současné době se za nebezpečnou látku považuje i limonen, který je využíván do různých osvěžovačů vzduchu a kosmetických přípravků. Limonen je ve vyšší koncentraci dráždivý a při reakci s ozónem vytváří látky, které pronikají do buněčných membrán organismů. [1]

4.4 Znečišťující látky z venkovního prostředí

Znečišťující látky z vnějšího prostředí vnikají do interiérů převážně při větrání. Znečištění venkovního prostředí zasahuje jak vyspělé, tak rozvojové země. Mezi hlavní znečišťující látky patří:

- oxid siřičitý
- oxidy dusíku
- oxid uhelnatý
- troposférický ozon
- benzen
- tuhé znečišťující látky

4.4.1 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý SO_2 se běžně vyskytuje v atmosféře, kam se uvolňuje z přírodních zdrojů, např. sopečnou činností a dále lidskou produkcí, a to převážně spalováním fosilních paliv. Oxid siřičitý se v atmosféře společně s vodní párou a oxidem sírovým podílí na vzniku kapiček kyseliny sírové, která se následně váže na pevné částice a aerosoly. Samotný oxid

siřičitý má dráždivé účinky a při vyšších koncentracích může zhoršovat dýchání a v některých případech může poškodit plíce.

4.4.2 Oxidy dusíku

Jedná se hlavně o oxidy dusíku NO_x, mezi nejškodlivější s nejvyšším vznikem v ovzduší patří oxid dusnatý NO a oxid dusičitý NO₂. Oxidy dusíku vznikají převážně při spalování reakcí kyslíku s dusíkem a během spalování reakcí dusíku v palivu s kyslíkem. Mezi hlavní zdroje oxidu dusíku patří silniční doprava a stacionární spalovací zdroje. Oxid dusičitý zhoršuje funkci plic a působí negativně na imunitní systém.

4.4.3 Oxid uhelnatý

Vzniká především při nedokonalém spalování fosilních paliv. Nejčastější zdroje oxidu uhelnatého jsou doprava, stacionární zdroje tepla a domácí topeniště. Oxid uhelnatý se v lidském krevním řečišti váže lépe na hemoglobin než kyslík, a tím pádem snižuje kapacitu krve pro přenos kyslíku. Zhoršuje pozornost, způsobuje závratě a v nejhorších případech může způsobit smrt.

4.4.4 Přízemní ozón (troposférický ozon)

Nemá žádný významný emisní zdroj. Vzniká převážně v atmosféře působením slunečního záření a reakcí oxidů dusíku s organickými sloučeninami. Jeho koncentrace závisí na intenzitě a době slunečního svitu. Ozon poškozují dýchací soustavu a snižuje imunitní schopnost.

4.4.5 Benzen

Je typický představitel organických sloučenin s benzenovým jádrem. V ovzduší není jediným zástupcem s podobnými vlastnostmi, nicméně díky této podobnosti se od benzenu odvíjejí koncentrace ostatních sloučenin, např. toluenu. Největším zdrojem benzenu jsou spalovací procesy, převážně spalovací motory automobilů. Jeho negativní účinky ovlivňují krevní oběh, je karcinogenní. [6], [7]

5 Tuhé znečišťující látky

Patří k nejrozšířenějším škodlivinám, člověk se s nimi setkává v domácím i pracovním prostředí. Negativní účinky tuhých částic na člověka jsou velmi široké, při hodnocení se bere v potaz původ, vlastnosti, velikost, koncentrace v ovzduší, délka a podmínky

působení a individuální vnímání člověka. Pro oblast prašnosti platí řada legislativních nařízení jak pro venkovní, tak pro vnitřní ovzduší, jsou zmíněny dále.

5.1 Zdroje a charakteristika tuhých částic

V [8] se uvádí: „*Disperzní systém kapalných a pevných částic suspendovaných plynů nazýváme aerosolem, podle skupenství částic mluvíme o aerosolu tuhém nebo kapalném.*“ Výraz tuhé znečišťující látky je obecný pojem, který zahrnuje veškeré formy přítomnosti těchto částic v emisích i imisích. Podle vzniku částic a jejich vlastností se lze setkat s různým pojmenováním, jako například prach. Prach označuje částice, které vznikají při mechanických procesech, erozí hornin, sopečnou činností, lidskou činností. Popílek jsou částice, které vznikají při spalování pevných paliv. Dým jsou jemné i kapalně částice vznikající při kondenzaci a následném tuhnutí par látek. Kouř jsou částice, které vznikají při spalování organických látek, je tvořený převážně uhlíkem. Významným pojmem je aerosol, kterým se rozumí jemné tuhé i kapalně částice v ovzduší, které jsou ve stavu vznosu. Suspendované částice jsou jemné částice v atmosférickém prachu, které přetrvávají ve vznosu a mají předpoklad k dálkovému přenosu. Jestli není nutno znát přímý způsob vzniku, lze použít pojem prach, který zahrnuje všechny formy tuhých částic.

Nejdůležitější vlastností tuhých částic z hlediska jejich vlastností je tvar a zrnitost. [11]

5.1.1 Tvar a ekvivalentní velikost částic

Tvar částice závisí na způsobu vzniku. Nejjednodušším tvarem částice je koule, tyto částice vznikají kondenzací a tuhnutím par látek. Nejsložitější tvar mají částice vznikající při mechanických procesech. Zvláštním případem jsou částice vznikající při spalovacích procesech, které díky vzniklým dutinám mohou mít menší hustotu než materiál, ze kterého vznikly.

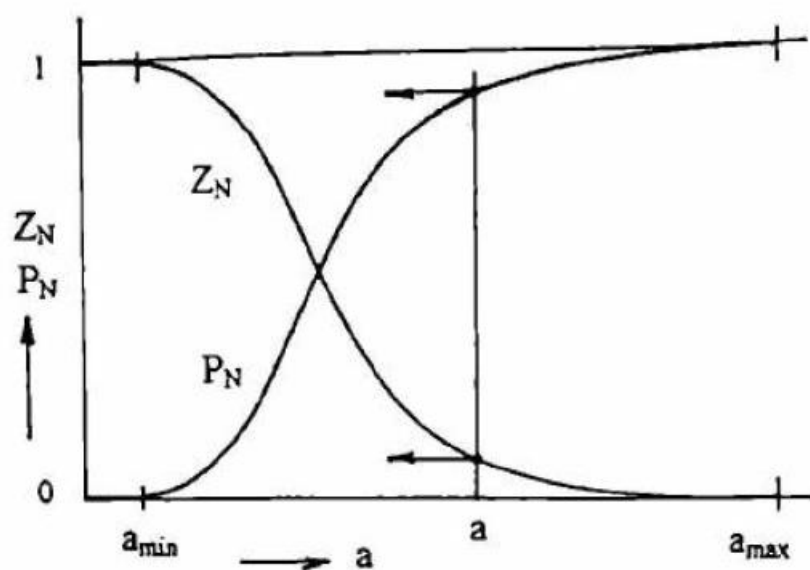
Pro zjednodušení se používají částice izometrického tvaru, které mají všechny tři rozměry vzájemně srovnatelné. U částic izometrického tvaru se k vyjádření jejich vlastností a stanovení velikosti pracuje s ekvivalentní velikostí částic. Ekvivalentní částice jsou náhradní kulové částice, které mají s původní částicí společné vlastnosti jako: průmět, povrch, objem, pádovou rychlost. Hovoří se o velikosti dle průmětu a_A , povrchu a_s , objemu a_v , pádové rychlosti a . [11]

5.1.2 Zrnitost částic

Částice obsažené v emisích a imisích mají různé velikosti a tvoří takzvaně polydisperzní soubor částic. Základní charakteristikou tohoto souboru je rozdělení velikostí částic. Velikost částic dělíme podle počtu, průmětu a hmotnosti.

Rozdělení zrnitosti částic lze vyjádřit jako kumulativní křivku zrnitosti nebo křivku relativní četnosti. Kumulativní křivka zrnitosti je křivka zbytků nebo křivka propadů.

Charakteristický průběh křivky zbytků $Z_N(a)$ a propadů dle počtu $P_N(a)$ je naznačen na obr 5.1. Pro každou velikost částice musí platit $Z_N(a) + P_N(a) = 1$ [11]



Obr. 5.1 Křivka propadů a zbytků [11]

Křivka četnosti dle počtu udává poměrný počet neboli četnost částic dané velikosti ve vzorku. Křivka zbytků v závislosti na druhu rozdělení stanovuje poměrný počet, průmět nebo hmotnost částic větších, než je příslušná velikost částice. Křivka propadů stanovuje poměrný počet, průmět nebo hmotnost částic menších, než je příslušná velikost částice. [12]

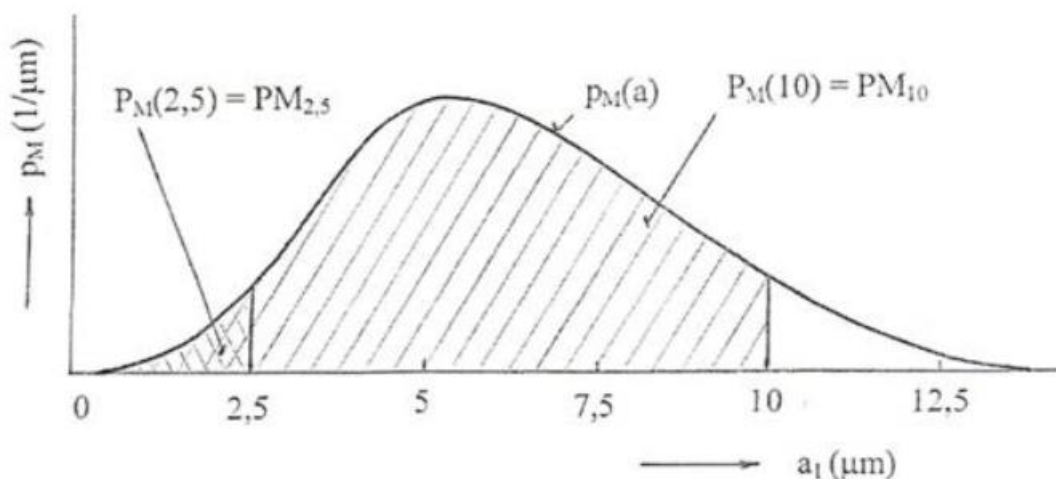
5.2 Definice frakce PM_{2,5} a PM₁₀

Zkratka PM znamená v anglickém jazyce particulate matter, v českém překladu vyjádřena jako suspendované částice. Jedná se o směs různých částic pevného a kapalného skupenství v ovzduší. Koeficient PM značí velikost částic, přesně jejich

maximální aerodynamický průměr a_1 , který udává průměr koule a hustotě 1 g.cm^{-3} se stejnou pádovou rychlostí, jako má skutečná částice. [10]

Frakce částic PM_{10} je vyjádřena jako částice v souboru, jejichž aerodynamická velikost je menší než $10 \text{ }\mu\text{m}$. Frakce částice $\text{PM}_{2,5}$ je vyjádřena jako částice v souboru, jejíž aerodynamická velikost je menší než $2,5 \text{ }\mu\text{m}$. V současné době se běžně uvádí frakce PM_1 pro submikronové a nanometrické částice.

Na obr. 4.2 je znázornění frakcí PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ pomocí křivky četnosti dle hmotnosti. Hmotnostní podíl frakce PM_{10} , resp. $\text{PM}_{2,5}$ je roven hodnotě propadu P_M pro velikosti částic $a_1 = 10$, resp. $2,5 \text{ }\mu\text{m}$. [12]



Obr. 4.2 Vyjádření definice frakcí PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ [11]

5.3 Zdravotní účinky prachu

Prachy podle účinku na lidský organismus dělíme na toxické a netoxické, ty se dále dělí na:

- prachy s převážně fibrogenním účinkem
- prachy s možností fibrogenního účinku
- prachy s převážně nespecifickým účinkem
- prachy s převážně dráždivým účinkem
- minerálně vláknité prachy

Některé typy prachu zvláště u citlivých osob mohou způsobovat alergické reakce. Tyto alergické reakce nejčastěji způsobují prachy ze skupiny anorganických a vláknitých prachů. Nejčastějšími negativními účinky prachu jsou respirační problémy, kdy dochází usazování prachových částic v dýchacím systému živých organismů.

Čím je prachová částice menší, tím snadněji proniká hlouběji do dýchacího aparátu a zde se usazuje. Tento mechanismus průniku prachových částic lze pozorovat na obr. 5.2, kde částice větší než 10 μm jsou zachycovány v horní části dýchacích cest a postupně v podobě hlenu vykašlávány ven z dýchacích cest. Částice menší než 2,5 μm mohou snadno proniknout do plicních sklípků, kde se mohou usazovat. Částice menší než 1 μm mohou pronikat až do krevního řečiště. Pro popis účinku velikosti prachových částic na lidské zdraví se uvádí tyto základní pojmy:

- **vdechovatelná frakce** – hmotnostní frakce prachu, která je vdechnutá nosem a ústy
- **thorakální frakce** – hmotnost frakce prachu pronikajících za hrtan, $D = 10 \mu\text{m}$.
- **respirabilní frakce** – hmotnostní frakce prachu pronikající do dýchacích cest, kde není řasinkový epitel, $D = 4 \mu\text{m}$.
- **dýchací zóna** – prostor v bezprostřední blízkosti úst a tváří [8]

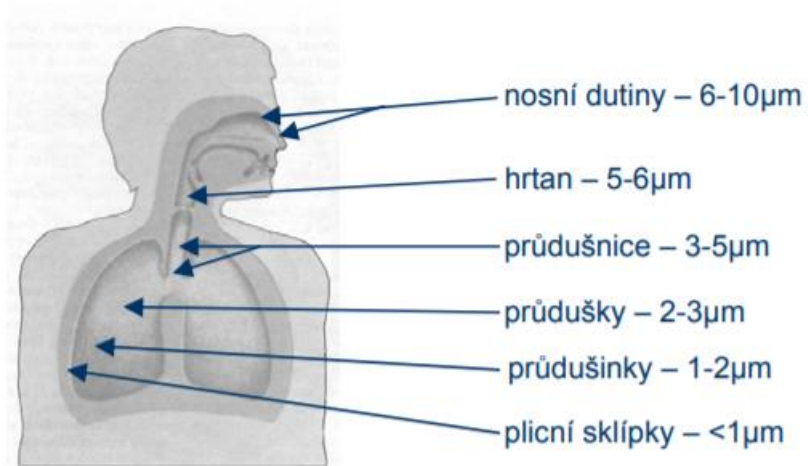
Při vysokých koncentracích se prach usazuje v očích, nosu, ústech a způsobují nepříjemné pocity. Dlouhodobé vystavení zvýšené koncentraci prachu vede k přetěžování dýchacího aparátu a snižování obranyschopnosti organismu.

Nejběžnějším projevem prachu je mechanické dráždění sliznic dýchacích cest, očních spojivek a pokožky, které mohou vést k mechanickému poškození sliznice, chronickým zánětům průdušek, chronickému kašli, zánětu spojivek a výskytu různých typů vyrážek na pokožce.

Prachy obsahující infekční zárodky a bakterie mohou způsobovat vážné zdravotní potíže.

Toxické prachy kromě účinku na dýchací systém mohou přestupovat do krevního řečiště a způsobovat intoxikaci organismu.

Karcinogenní prachy mohou po vdechnutí způsobovat nekontrolovatelné rakovinné bujení. [8]



Obr. 5.2 Průnik jednotlivých velikostních frakcí prachu do dýchacích cest [9]

6 PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ A PLATNÉ PŘEDPISY

Souhrn platných předpisů a zákonů týkajících se kvality vnitřního prostředí:

Zákony [18]:

č. 183/2006 Sb., stavební zákon

č. 20/1966 Sb., o zdraví lidu v platném znění

č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění

č. 262/2006 Sb., zákoník práce

č. 309/2007 Sb., kterým se upravují požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnostech nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy

Předpisy [18]:

nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

nařízení vlády č. 361/2007 Sb., stanovení podmínek ochrany zdraví při práci (aktuálně pozměněno **nařízením vlády č. 93/2012 Sb.**)

vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu

vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných.

vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

6.1 Parametry pro vnitřní prostředí

V kapitole jsou uvedeny předpisy v oblasti kvality vnitřního prostředí podle jednotlivých parametrů.

6.1.1 Teplota a vlhkost

V tab. 6.1 jsou vnitřní výpočtové teploty dle ČSN EN 12831 a doporučené relativní vlhkosti v interiéru dle ČSN 06 0210.

Tab.6.1 Tabulka s vnitřními výpočtovými teplotami a doporučenými relativními vlhkostmi pro vnitřní prostředí. [19], [20]

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost vzduchu
		t_i [°C]	φ_{ai} [%]
1.	Obytné budovy		
1.1	trvale užívané		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20	60
	kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60

6.1.2 Hodnocení znečištění vnitřního ovzduší podle PEL a NPK-P

Při hodnocení vnitřního ovzduší podle přípustného expozičního limitu PEL a nejvyšší přípustné koncentrace NPK-P se dle těchto parametrů stanovují hygienické limity pro pracovní prostředí podle nařízení vlády č. 93/2012 Sb. Zde jsou uvedeny seznamy chemických látek, které obsahují přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace plynů, par nebo aerosolů.

PEL je celosměnový vážený průměr koncentrace plynů, par nebo aerosolů, kterému mohou být lidé vystaveni během osmihodinové pracovní doby, aniž by došlo, i při celoživotní expozici, k poškození zdraví.

NPK-P jsou maximální koncentrace látek v ovzduší, které nesmí zaměstnanec během pracovní doby v žádném časovém úseku překročit. Tyto koncentrace z hlediska částic

platí pro soubory polétavých prachů, které mohou být vdechnuty nosem nebo ústy a vnikají do dolních cest dýchacích a plicních sklípků. [12]

6.1.3 Koncentrace CO₂

Přípustná koncentrace CO₂ je popsána dle nařízení vlády č. 361/2007, kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci, dále se řídí dle normy ČSN EN ISO 1600-26 Vnitřní ovzduší – Část 26: Postup odběru vzorků při stanovení oxidu uhličitého. V tab. 6.2 jsou uvedeny koncentrace CO₂ a jejich vliv na lidský organismus.

Tab. 6.2 Koncentrace CO₂ a jejich vliv na lidský organismus. [21]

Koncentrace CO ₂	Komentář, symptomy
< 400 ppm	koncentrace ve venkovním vzduchu
< 1 000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřním prostředí
< 1 500 ppm	maximální doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřním prostředí
> 1 500 ppm	příznaky únavy, snižování koncentrace, ospalost, letargie
< 5 000 ppm	maximální bezpečná koncentrace CO ₂ bez zdravotních rizik
> 5 000 ppm	příznaky nevolnosti, bolesti hlavy, zvýšený tep
> 10 000 ppm	při dlouhodobém působení prokázány zdravotní problémy
> 40 000 ppm	životu a zdraví nebezpečná koncentrace [7]

6.1.4 Koncentrace VOC

Hygienický limit organických těkavých látek v obytných místnostech stanovuje vyhláška č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví, dále se touto problematikou zabývá norma ČSN EN ISO 1600-11 Stanovení emisí těkavých organických látek ze stavebních materiálů a nábytku. Odběr, uchovávání a úprava vzorků. V tab. 6.3 jsou uvedeny nejvýznamnější zástupci ze skupiny VOC a jejich nejvyšší přípustné koncentrace.

Tab. 6.3 Limitní koncentrace VOC ve vnitřním prostředí obytných místností [22]

Organické těkavé látky	Vzorec	NPK (nejvyšší přípustné koncentrace) dlouhodobé [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Benzene	C_6H_6	7
Toluene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	300
o,m,p-Xylene	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	200
Styrene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	40
Ethylbenzene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$	200
Formaldehyde	HCHO	60
Trichlorethylene	CCl_2CHCl	150
Tetrachlorethylene	$\text{CCl}_2\cdot\text{CCl}_2$	150

Koncentrace VOC se často u čidel kvality ovzduší měří v %, ta vyjadřují dosažení hodnoty limitní normové koncentrace detekované směsi organických látek.

6.1.5 Koncentrace tuhých částic

Obsah neboli koncentrace tuhých částic v ovzduší se označuje jako imise, ta je parametrem pro vnější ovzduší.

Imisní limit je maximální přípustná hodnota znečištění ovzduší, která je vyjádřena v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při atmosférickém tlaku a teplotě. Jelikož velká část prachu ve vnitřním prostředí má svůj původ ve vnějším prostředí, především malé prachové částice, které vnikají do vnitřního prostředí infiltrací a větráním, je třeba zohlednit i imisní limity pro vnější prostředí.

V současné době platí v České republice imisní limity pro venkovní ovzduší, které jsou stanoveny zákonem č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, jenž obsahuje dva imisní limity pro částice PM_{10} a jeden pro $\text{PM}_{2,5}$.

- imisní limit pro roční průměrnou koncentraci PM_{10} – $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- imisní limit pro 24hodinovou průměrnou koncentraci PM_{10} – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- imisní limit pro roční průměrnou koncentraci $\text{PM}_{2,5}$ – $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Dle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb, do nichž se řadí zařízení pro výchovu a vzdělávání, vysoké školy, stavby pro zotavování, zdravotnických zařízení, ústavů sociální péče, ubytovací

zařízení, obchodů a staveb pro shromažďování většího počtu osob, se naměřené koncentrace ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) porovnávají s hygienickými limity, které jsou stanoveny jako jednohodinové limity, vztažené ke standardním podmínkám a jsou uvedeny v tab. 6.4. Vzhledem k tomu, že nejsou pro obytné prostory stanoveny žádné normy, v mé diplomové práci vycházím z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, pro pobytové prostory. [10]

Tab. 6.4 Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu [23]

Ukazatelé	jednotka	limit 4)
oxid dusičitý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
frakce prachu PM10 ¹⁾	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150
frakce prachu PM2,5 ²⁾	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	80
oxid uhelnatý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	5000
ozón	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
azbestová a minerální vlákna ³⁾	počet vláken·m ⁻³	1000
amoniak	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
benzen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	7
toluen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	300

Vysvětlivky k tab. 6.4.

1) Frakce prachu PM10 – prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 10 mikrometrů, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností.

2) Frakce prachu PM2,5 – prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 2,5 mikrometrů, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností.

7 SENZORY PRO MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Měření rozdělujeme do tří skupin, a to měření laboratorní (převážně výzkum a vývoj), měření pro regulaci a řízení (senzory a čidla jsou součástí přístroje), měření provozní, které slouží pro ověření skutečných parametrů měřeného zařízení.

Při volbě vhodného měřicího přístroje je třeba dodržovat určité zásady. Nedodržení těchto zásad může vést k nemožnosti naměřit skutečné hodnoty a vede k nepoužitelnosti výsledků. [13]

Senzor je funkční prvek, který je součástí vstupního bloku řetězce a je v bezprostředním styku s měřeným prostředím. Ekvivalentním pojmem senzoru je snímač, převodník nebo detektor. Citlivá část senzoru se nazývá čidlo. Senzor je primárním zdrojem informace, kde sledovaná veličina je fyzikální, chemická nebo biologická, a dle stanoveného principu ji převádí na měřenou veličinu. Nejčastěji se jedná o elektrickou veličinu. [14]

7.1 Rozdělení senzorů

7.1.1 Dle měřené veličiny

Dle měřené veličiny se dělí na senzory teploty, tlaku, průtoku, mechanické veličiny, radiačních veličin, rychlosti, zrychlení, polohy, posunutí, senzory pro analýzy látek, kapalin a plynů.

7.1.2 Dle fyzikálního principu

Dle fyzikálního principu se senzory dělí na odporové, indukční, magnetické, kapacitní, pyroelektrické, optoelektronické, optické, biologické, chemické.

7.1.3 Dle styku senzoru s měřeným prostředím

Dle styku senzoru s měřeným prostředím se dělí na dotykové a bezdotykové.

7.1.4 Dle transformace signálu

Aktivní senzor se působením měřené veličiny chová jako zdroj elektrické energie.

Pasivní senzor musí elektrickou veličinu převádět na analogový napětový nebo proudový signál a měřenou veličinou je amplituda, fáze nebo kmitočet. U pasivního senzoru je třeba napájení. [14]

7.1.5 Dle výrobní technologie

Dle výrobní technologie se senzory dělí na mechanické, elektromechanické, elektrické, elektrochemické, pneumatické, mikroelektronické, optoelektronické.

7.2 Měření teploty

Teplota je základní stavová veličina, která charakterizuje, zda látka při tepelném styku s jinou látkou bude nebo nebude v tepelné rovnováze. Při měření teploty se využívá tepelná stupnice, kde základní stupnicí je termodynamická tepelná stupnice, jejímž počátečním bodem je nejnižší dosažitelná teplota (absolutní nula). Jednotkou je Kelvin [K]. Absolutní nula je definována trojným bodem vody, který je 273,16 K. [13]

7.3 Rozdělení principů měření teploty

7.3.1 Dilatační teploměry

Fungují na principu roztažnosti látek, kdy nejčastěji jsou použity kapaliny nebo kovy. Teplotní dilatace se projeví změnou objemu, tlaku nebo délky použité látky vlivem teploty.

Mezi dilatační teploměry se řadí: skleněné teploměry, tlakové teploměry, plynové teploměry, tyčové teploměry, bimetalické teploměry.

7.3.2 Elektrické teploměry

Principem elektrických teploměrů je převádění tepla na elektrickou veličinu (proud, napětí) snímačem, je vyhodnocena pomocí elektronického obvodu a převedena na teplotní údaj.

Mezi elektrické teploměry se řadí: odporové snímače teploty, kovové odporové snímače teploty, polovodičové odporové snímače teploty, termoelektrické snímače teploty, PN snímače teploty.

7.3.3 Bezdotykové měření teploty

Termometrie je měření povrchové teploty tělesa na principu měření elektromagnetického záření tělesa. Termometrie využívá infračervené záření, které vyzařují všechna tělesa, jejichž teplota je vyšší než absolutní nula.

Mezi bezdotykové měření teploty se řadí: snímače infračerveného záření, pyrometry, termovizní systémy. [13]

7.4 Měření vlhkosti

Vzduch v atmosféře je směsí suchého vzduchu a vodní páry nebo vody (mlha, jinovatka). Běžně se definuje vzduch jako ideální plyn, pro který platí Daltonův zákon. Podle Daltonova zákona každá složka směsi plynů se chová, jako by v určitém prostoru byla jediná se svým vlastním parciálním tlakem ve stejném množství a stejné teplotě.

Vlhkost vzduchu se vyjadřuje různými způsoby. Mezi nejrozšířenější se řadí absolutní vlhkost, která je hmotnostním podílem vodních par ve vzduchu. Dále ji lze vyjádřit měrnou vlhkostí, která je hmotnostním podílem vodních par v jednom kilogramu suchého vzduchu nebo relativní vlhkostí, která vyjadřuje nasycení vzduchu vlhkostí ve škále 0-100 %.

7.5 Rozdělení principů měření vlhkosti

7.5.1 Gravimetrická metoda

Jedná se o váhovou metodu a patří mezi nepřesnější metody. Funguje tak, že měřený vzorek se zcela zbaví vody a váhový úbytek se porovná s původní váhou. Celý princip gravimetrické metody závisí na vhodném sušidle, většinou se používá pentoxid fosforu, který absorbuje vodní páru z daného objemu a zjišťuje se přírůstek jeho hmotnosti. Metoda je značně zdlouhavá, měřicí zařízení drahé, využitelné pouze v laboratorních podmínkách a slouží především ke kalibraci.

7.5.2 Hygrometrická metoda

Je založena na schopnosti látek udržovat svoji vlhkost v rovnováze s vlhkostí okolního prostředí. V praxi se využívá změny rozměru organických látek nebo změny elektrické vodivosti nebo kapacity.

Mezi hygrometrické vlhkoměry se řadí: dilatační hygrometry, odporové hygrometry nebo kapacitní hygrometry.

7.5.3 Psychrometrická metoda

Princip psychrometrické metody spočívá v měření za pomoci dvou teploměrů, a to suchého a mokrého. Teploměrem může být jakékoliv čidlo teploty (nejčastěji rtuťový teploměr), kdy mokré teploměry je obalen vlhčenou punčoškou. Odpařováním vody z punčošky se teploměru odebírá výparné teplo a teplota mokrého teploměru začne klesat až na teplotu adiabatického ochlazení. Po ustálení teplot nastává rovnovážný stav, kdy

teplo potřebné k odpařování je dodávané z okolního prostředí. Čím je vzduch sušší, tím je ochlazení mokrého teploměru výraznější.

7.5.4 Kondenzační metoda

Spočívá v určování teploty rosného bodu (teplota, při které je vzduch vodní párou zcela nasycen). Měření teploty rosného bodu funguje na principu ochlazování lesklé kovové destičky až do chvíle, kdy začne na povrchu destičky kondenzovat vodní pára z okolního prostředí. Teplota destičky, při níž se objeví kondenzát, je teplota rosného bodu.

7.5.5 Kapacitní metoda

Sledovanou veličinou je změna kapacity kondenzátoru, ve kterém je dielektrikem polymer. Senzor má dvě elektrody, z nichž je jedna děrovaná a umožňuje okolnímu vzduchu kontakt s polymerním dielektrikem. Tyto senzory se vyznačují malou závislostí údaje na hodnotě teploty. Vyznačují se vysokou odolností vůči kondenzaci a rychlou odezvou.

7.5.6 Odporová metoda

Sledovanou veličinou je změna vodivosti, která u některých hygroskopických materiálů doprovází absorpci vody. Elektrody jsou platinové, provedené jako dvojitá spirála z drátu na válci z izolantu. Z důvodu předcházení polarizace elektrod se měří pomocí střídavého napětí. Senzor je citlivý na kondenzaci a vyšší teploty. Vyznačuje se velkou citlivostí (desetiny % relativní vlhkosti) a dobrou stabilitou.

7.5.7 Infračervené vlhkoměry

Jsou založeny na principu útlumu infračerveného záření v důsledku jeho absorpce vlhkým vzduchem. Útlum je vyhodnocován elektronickým obvodem a z naměřeného útlumu se stanoví rosný bod. [14]

7.6 Měření CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu. Jeho hustota je přibližně 1,5x vyšší než hustota vzduchu. Vzniká při reakci kyslíku s uhlíkem, oxidací organických látek, spalováním uhlovodíků nebo je produktem látkové výměny organismů.

Měření koncentrace CO₂ se provádí především za účelem sledování kvality vnitřního prostředí, sledování hygienických podmínek v pracovním prostředí nebo pro řízení technologických parametrů v průmyslových procesech. Přítomnost CO₂ v obytných

prostředích nežádoucím způsobem ovlivňuje kvalitu zdraví pobývajících osob. Nejčastěji dochází ke ztrátě pozornosti, únavě a při vyšších koncentracích k bolestem hlavy, jak bylo uvedeno v tab. 6.2.

Na měřicí přístroj CO₂ ve vnitřním prostředí většinou nejsou kladeny zvláštní požadavky na přesnost. Měření probíhá ve vnitřním prostředí, obvykle v místnostech za normálních okolních podmínek, kde maximální měřicí rozsahy koncentrace CO₂ jsou do 5000 ppm. Z hlediska bezpečnosti práce a hygienických podmínek na pracovišti je nutné dodržovat limitní koncentrace, a to především na místech, kde se využívají při výrobě suroviny, provozní postupy nebo technologie, při kterých vzniká riziko vyšších koncentrací CO₂.

7.7 Rozdělení principů měření CO₂

Pro měření koncentrace CO₂ se používají různé přístroje, které lze rozdělit na přenosné a stacionární. Dále podle způsobu měření je lze rozdělit na přístroje pro okamžité a kontinuální měření koncentrace.

7.7.1 Detekční trubičky

Princip měření je založen na nasátí definovaného objemu vzduchu detekční trubičkou, ve které vlivem chemické reakce detekční vrstvy trubičky s CO₂ dojde ke zbarvení. Délka zbarvení detekční vrstvy přímo odpovídá koncentraci CO₂, která je udávána stupnicí vyznačenou na detekční trubici.

7.7.2 Optické infračervené senzory

Princip měření spočívá v absorpci části infračerveného spektra v molekule CO₂. Zeslabením intenzity infračerveného záření určité vlnové délky se měří koncentrace a pyrodetektor převádí detekční prvek na elektrický signál. Tento princip měření koncentrace představuje nejlepší výsledky měření, má dlouhodobou stabilitu a životnost a vyznačuje se selektivitou. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena.

7.7.3 Elektrochemické senzory

Senzor produkuje signál, který je úměrný koncentraci pozorovaného plynu. Měřicí signál vzniká reakcí molekul pozorovaného plynu s elektrolytem, který je uzavřený v obalu senzoru. Elektrody, elektrolyt a napětí mezi elektrodami jsou voleny tak, aby na měřicí elektrodě docházelo k uvolňování volných elektronů za pomoci elektrochemické reakce.

Elektronika senzoru zesiluje vznikající nízký proudový signál, který odpovídá koncentraci pozorovaného plynu.

7.7.4 Polovodičový senzor

Patří k nejjednodušším sensorům měření koncentrace CO₂, jeho nedostatkem je však nepřesnost. Princip měření koncentrace je založen na změně vodivosti polovodičové součástky za přítomnosti pozorovaného plynu. Polovodičové součástky jsou nejčastěji oxidy kovů, jako např. oxidy cínu, zinku, wolframu. Povrch materiálu reaguje s molekulami vzduchu a vytváří rovnovážný stav, který se přítomností jiného plynu poruší a změní vodivost polovodiče.

7.7.5 Elektroakustické senzory

Pracují na principu vyhodnocování změn kmitočtu ultrazvuku v rezonátoru. Elektronika v senzoru vyhodnocuje změnu kmitočtu ultrazvukových vln a na základě závislosti změny kmitočtu se vyhodnocuje koncentrace CO₂ ve vzduchu. Předností těchto čidel je dlouhodobá stabilita bez nutnosti kalibrace. [15], [16]

7.7.6 Infračervená spektrometrie (NDIR)

Jedná se o optickou (fotometrickou metodu) využívající vlastnosti většiny plynů, které pohlcují záření při určitých vlnových délkách v infračerveném spektru záření. Zářičem v senzoru je žhavené chromnikové vlákno a selektivity se dosahuje filtry nebo monochromáty, jimiž se zvolí záření žádané vlnové délky. Paprsky ze zářiče procházejí dvěma měřicími kyvetami s analyzovanou směsí, kde se určitá část odpovídající koncentraci pevných částic pohltí. Vyhodnocuje se rozdíl intenzit záření o měřené vlnové délce dopadající na detektory.

7.7.7 Ultrafialová spektrometrie (NDUV)

Je založená na podobném principu jako infračervená spektrometrie, tj. na schopnosti některých plynů pohlcovat záření v ultrafialovém spektru. [14]

7.8 Měření VOC

Těkavé organické látky jsou chemické látky, které jsou uvolňovány v plynné podobě z pevných látek nebo kapalin a snadno se vypařují při pokojových teplotách.

Pro měření koncentrace VOC se využívají širokospektrální čidla směsných plynů, tato čidla mohou detekovat koncentrace množství různých plynů a jejich sloučenin. Často se

udává, že tato čidla se podobají lidskému čichu a jeho vnímání pachu, avšak navíc mohou čidla zachycovat látky, které lidský čich normálně nezaznamená. Širokospektrální čidla detekují koncentrace od jednotek ppm až po tisíce ppm. Tato čidla se používají hlavně v nenáročných místech, jako jsou domácnosti nebo společenské prostory a školy. Těkvavých organických látek existuje až na deset tisíc druhů a obvykle se měří koncentrace nejčastějších znečišťujících látek ze skupiny VOC.

Mezi zařízení měřící koncentraci VOC se řadí elektrochemické senzory a polovodičové senzory. [16]

7.9 Měření prachových částic

Senzory prachových částic využívají principu rozptýlení nebo pohlcení světla na částicích pro měření koncentrace, velikosti a počtu částic sledovaných frakcí. Princip měření vychází z poznatku, že čím víc prachových částic je obsažených v měřeném vzorku vzduchu, tím méně světla přes něj může projít. Pak množství pohlceného nebo odraženého světla na částicích prachu je úměrné koncentraci částic ve vzorku vzduchu.

Měření koncentrace prachu a senzory prachu využívají jako základní komponenty zdroj světla – produkující paprsek procházející měřeným vzduchem s částicemi (většinou LED nebo laser), detektor světla – měří množství pohlceného nebo rozptýleného světla na částicích, elektronické obvody – zpracovávají výstupní data z detektoru a převádí je výpočtem na hodnoty koncentrace.

Dále je možné použití mechanických a manuálních principů měření prachových částic jako gravimetrická metoda nebo sedimentace v kapalině.

7.9.1 Gravimetrická metoda

Jedná se o manuální jednorázovou metodu s odběrem vzorků sondou z proudícího plynu. Stanovuje se střední koncentrace částic po průřezu z více odběrných bodů a následné gravimetrické vyhodnocení. Tuhé příměsi jsou zachycovány filtrem tuhých částic. Využívá se především ke kalibraci přístrojů, které pracují na odlišném principu. [13]

7.9.2 Radiometrická metoda

Využívá se bodového odběru vzorku plynu a stanovení koncentrace částic měřením hmotnosti odloučených částic dle absorpce beta záření ve vrstvě částic. Měření se provádí vložení filtračního pásku a zjišťuje se absorpce beta záření v exponovaném

a neexponovaném filtru. Beta záření se měří Geiger-Müllerovou čítací trubicí, která vysílá pulzy na základě ozáření.

7.9.3 Fotometrická metoda

Při této metodě se stanovuje střední koncentrace částic po délce paprsku přímo v komíně nebo kouřovodu bez odběru vzorku. Principem metody je zeslabování intenzity elektromagnetického záření, které je způsobené absorpcí a rozptylem záření na částicích. Využívá se především u velkých zdrojů znečištění.

7.9.4 Senzory se široko-paprskovými světelnými zářiči a plošnými detektory světla

Měří celkový útlum intenzity světla v závislosti na hustotě množství částic v měřeném vzorku vzduchu. Jedná se o senzory vhodné pro umístění do komínů či kouřovodů. Tyto senzory jsou přesnější a citlivější než jednopaprskové senzory.

7.9.5 Jedno paprskové miniaturní senzory

Jedná se o malé moduly nebo integrované součástky, které se využívají pro měření v místnostech. Zdrojem světla je LED dioda, která generuje široký nekoherentní paprsek s menším výkonem. Průměr vyslaného paprsku převyšuje velikost částic, které rozptylují malé množství světla. To vede k menší přesnosti senzoru. [13], [14]

8 EXPERIMENT SE ZAŘÍZENÍM SIEMENS

8.1 Měřicí zařízení Siemens

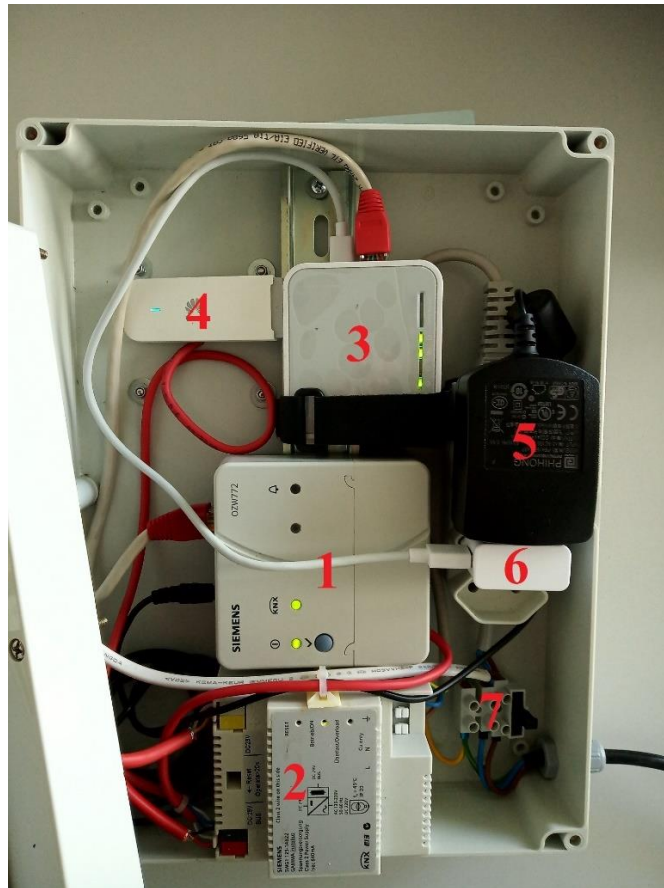
Ke sběru dat teploty, vlhkosti, CO₂, VOC a prašnosti bylo použito sestavené zařízení od firmy Siemens. Sestrojení měřicího zařízení měl na starosti Ing. Michal Bassy, zaměstnanec firmy Siemens.

Všechna čidla měření kvality vnitřního prostředí jsou umístěná na jednotném zařízení, které uživatel zapojí pouze do elektrické zásuvky 230 V a zařízení automaticky začne se sběrem a odesíláním dat. Data jsou zaznamenána každých 10 minut pomocí KNX sběrnice a následně prostřednictvím Wi-Fi routeru odesílána na datový cloud Siemensu (Synco IC).

8.2 Popis měřicího zařízení

Na obr 8.1 se nachází pohled do vnitřního zapojení měřicího zařízení a číselně jsou označeny jednotlivé součástky.

- 1- Společný vzdálený přístup k regulátorům HVAC řady Synco a elektrickým přístrojům s rozhraním KNX v S-módu.
- 2- Napájecí zdroj 640 mA pro domácí automatizaci KNX.
- 3- Wi-Fi router.
- 4- LTE USB modem slot na SIM kartu.
- 5- Adaptér do sítě pro napájecí zdroj.
- 6- Adaptér do sítě pro Wi-Fi router.
- 7- El. svorky a kabeláž.



Obr. 8.1 Vnitřní pohled do měřicího zařízení.

Na obr 8.2 je pohled na přední stranu měřicího zařízení a současně jsou číselně označena jednotlivá čidla kvality vnitřního prostředí a další součásti.

- 1- Čidlo kvality vzduchu QPA10.../QPA20...
- 2- Čidlo jemných prachových částic QSA2700D.
- 3- Regulace systémů větrání RDF870KNX.
- 4- Ochranný a nosný box zařízení.

Na obr 8.3 je pohled na zadní stranu měřicího zařízení a současně číselně označen senzor kvality vnitřního prostředí.

- 1- Čidlo kvality vzduchu QMX3.P70.
- 2- Ochranný a nosný box zařízení.



Obr. 8.2 Pohled na přední stranu měřicího zařízení.



Obr. 8.3 Pohled na zadní stranu měřicího zařízení.

8.3 Popis čidel

8.3.1 Čidlo kvality vzduchu QPA10.../QPA20...

Uplatnění čidla je v zařízeních pro větrání a klimatizaci, pro zvýšení komfortu a optimalizaci spotřeby energie díky regulaci na základě potřeby a kvality vzduchu. Čidlo měří:

- Koncentraci CO₂ jako indikaci zaplnění místnosti.
- Koncentraci VOC jako indikaci pachů, např. tabákový kouř, tělesný pach, nebo výpary z materiálů.
- Relativní vlhkost v místnosti.
- Prostorovou teplotu.

Čidlo koncentrace CO₂ QPA2002 měří pomocí infračervené absorpce NDIR. Výsledný výstupní signál DC 0-10 V je proporcionální koncentrace CO₂ v okolním vzduchu.

Čidlo koncentrace VOC QPA1000 určuje koncentraci směsných plynů pomocí polovodičových snímacích prvků z oxidu kovu. Senzory měří přesně bez nutnosti údržby a recalibrace díky integrovanému kompenzačnímu mechanismu, tím se šetří náklady na servis. Čidlo odesílá výstupní signál DC 0-10 V odpovídající koncentraci VOC v okolním vzduchu.

Čidlo relativní vlhkosti QPA2062 snímá relativní vlhkost v místnosti principem založeným na kapacitě. Změna kapacity senzoru je funkcí relativní vlhkosti. Elektronické obvody převádějí informace ze snímacího senzoru na spojitý signál DC 0-10 V, odpovídající relativní vlhkosti v rozsahu 0-100 %.

Teplotní čidlo QPA2060 (aktivní snímač) měří teplotu v místnosti snímacím prvkem, jehož elektrický odpor se mění v závislosti na teplotě okolního vzduchu. Změna se převádí na aktivní výstupní signál.

Teplotní čidlo QPA2080 (pasivní snímač) čidlo měří teplotu v místnosti snímacím prvkem umístěným na zadní straně zařízení, jehož elektrický odpor se mění v závislosti na teplotě okolního vzduchu. Snímací prvek je připojen do příslušných svorek a obvykle se jedná o snímací prvek z Pt100, Pt1000 nebo NTC. [24]

Čidlo kvality vzduchu bylo při experimentu použito pro měření teploty, relativní vlhkosti a koncentrace VOC.

V tab. 8.1 jsou technické parametry čidla QPA10.../QPA20...

Tab. 8.1 Technické parametry čidla QPA10.../QPA20... [24]

Technické parametry		
Napájení	Napájecí napětí	AC 24 V $\pm 20\%$ nebo DC 15...35 V (SELV) nebo AC/DC 24 V třída 2 (US)
	Kmitočet	50/60 Hz při AC 24 V
	Externí jistění přívodu (EU)	Pomalá pojistka max. 10 A nebo Jistič max. 13 A Charakteristika B, C, D nebo Napájecí zdroj s omezením proudu max. 10 A
	Příkon QPA1000 QPA2000, QPA2060, QPA2060D, QPA2062, QPA2062D QPA 2080, QPA2080D QPA2002, QPA2002D	< 0,8 VA <1,7 VA, typ. <0,5 VA <2,3 VA, typ. <1,0 VA
Délky kabelů pro měřený signál	Povol. délka kabelů	Viz katalogový list přístroje pracujícího s výstupním signálem
Funkční údaje "CO ₂ "	Měřicí rozsah	0...2000 ppm
	Přesnost měření při 23 °C a 1013 hPa	$\leq \pm(50 \text{ ppm} + 2\% \text{ měřené hodnoty})$
	Teplotní závislost v rozsahu -5...45 °C	$\pm 2 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$ (typicky)
	Dlouhodobý drift	$\leq \pm 5\%$ měřícího rozsahu / 5 let (typicky)
	Časová konstanta t_{63}	<5 min
	Výstupní signál, lineární (svorka U1)	DC 0...10 V nebo DC 0...5 V $\hat{=}$ 0...2000 ppm, max. $\pm 1 \text{ mA}$
Funkční údaje "VOC"	Bez recalibrace	8 let
	Měřicí rozsah	0...100% VOC
	Časová konstanta t_{63} VOC (CO ₂ viz výše)	<13 min (R1), <3,5 min (R2), <1 min (R3)
	Výstupní signál, lineární (svorka U1)	DC 0...10 V nebo DC 0...5 V $\hat{=}$ 0...100%, max. $\pm 1 \text{ mA}$
Funkční údaje "Výběr maxima CO ₂ a VOC" pro QPA2002 a QPA2002D Funkční údaje "Rel. vlhkost" pro QPA2062 a QPA2062D	Výstupní signál, lineární (svorka U2)	DC 0...10 V nebo DC 0...5 V $\hat{=}$ max. z 0...2000 ppm, CO ₂ nebo 0...100% VOC, max. $\pm 1 \text{ mA}$
	Rozsah použití	0...95 % r.v. (bez kondenzace)
	Měřicí rozsah	0...100 % r.v.
	Přesnost měření při 23 °C a AC 24 V	0...95 % r.v. $\pm 5\%$ r.v. 30...70 % r.v. $\pm 3\%$ r.v. (typicky)
	Teplotní závislost	$\leq 0,1\%$ r.v./°C
	Časová konstanta	cca. 20 s
Funkční údaje "Teplota" pro QPA206...	Výstupní signál, lineární (svorka U2)	DC 0...10 V nebo DC 0...5 V $\hat{=}$ 0...100 % r.v., max. $\pm 1 \text{ mA}$
	Měřicí rozsah	0...50 °C (R2, R3) nebo -35...+35 °C (R1)
	Přesnost měření při AC 24 V v rozsahu	23 °C $\pm 0,3 \text{ K}$ 15...35 °C $\pm 0,8 \text{ K}$ -35...+50 °C $\pm 1 \text{ K}$
	Časová konstanta t_{63}	8,5 min
	Měřicí rozsah	viz "Princip činnosti"
	Přesnost měření	viz "Princip činnosti"
Funkční údaje "Teplota" pro QPA208...	Časová konstanta t_{63}	8,5 min
	Korekce vlivu vlastního ohřevu	1,4 K (typicky)
	Výstupní signál (svorka B, M)	pasivní
	Pro QPA2002D, QPA2060D, QPA2062D, QPA2080D	Displej
Zobrazení naměřených hodnot	Stupen krytí	IP30 dle EN 60529
	Třída ochrany	III dle EN 60730-1
Krytí	Šroubovací svorky pro kabel	1 \times 2,5 mm ² nebo 2 \times 1,5 mm ²
Elektrické připojení Podmínky prostředí	Provoz	IEC 60721-3-3
	Klimatické podmínky	Třída 3K3
	Teplota (kryt vč. elektroniky)	0...50 °C
	Vlhkost	0...95 % r.v. (bez kondenzace)
	Mechanické podmínky	třída 3M2

9/12

Siemens
Building Technologies

Čidla kvality vzduchu QPA10.., QPA20..

CE1N1961cz
2017-07-14

8.3.2 Čidlo jemných prachových částic QSA2700D a QSA2700

Měří koncentraci jemného polétavého prachu frakce částic PM_{2,5} a PM₁₀ v interiéru.

Čidlo využívá metodu jedno paprskového LED zdroje, kdy dochází k rozptylu laserového světla na povrchu prachové částice k určení její velikosti a zároveň ke spočítání jejich počtu z nasávaného vzduchu pomocí vestavěného ventilátoru. Na základě těchto zjištěných informací zařízení stanoví koncentraci jemného polétavého prachu v µg/m³.

Čidlo QSA2700D má odnímatelný přední modul, který slouží pro výměnu zanešeného modulu senzoru většími prachovými částicemi, což by vedlo k nepřesnému měření. Rozdíl mezi čidly QSA2700D a QSA2700 je, že první zmíněné čidlo obsahuje LED panel pro aktuální zobrazování měřené koncentrace a druhé zmíněné čidlo tento LED panel neobsahuje. V tab. 8.2 jsou technické parametry čidla QSA2700D a QSA2700. [25]

Tab. 8.2 Technické parametry čidla QSA2700D a QSA2700. [25]

Technické parametry	
Napájení	
Napájecí napětí	AC 24 V ±20% / DC 13,5...35 V
Kmitočet	50 Hz @ AC 24 V
Funkční údaje pro PM_{2,5}	
Měřicí rozsah	0...500 µg/m ³
Vzájemný rozptyl různých čidel	Max ±15 µg/m ³ a ±15% naměřené hodnoty @ 25 °C a 50% r.v.
Analogový výstupní signál, (svorka U1)	DC 0...10 V, lineární, odpovídající 0...500 µg/m ³
Funkční údaje pro PM₁₀	
Měřicí rozsah	0...500 µg/m ³
Vzájemný rozptyl různých čidel	Max ±15 µg/m ³ a ±15% naměřené hodnoty @ 25 °C a 50% r.v.
Analogový výstupní signál, (svorka U2)	DC 0...10 V, lineární, odpovídající 0...500 µg/m ³
Připojení	
Rozhraní	
Mikro USB	Napájení 5 V, pouze pro zobrazení displeje
Připojení vodičů	
Šroubovací svorky	Pevné dráty nebo lanka opatřená dutinkou: 0,4...1,5 mm ²
Pro plochý šroubovák	Velikost 1, utahovací moment 0,6 Nm (0,44 lbf·ft)-
Délky kabelů pro měřený signál	600 metrů

8.3.3 Regulace systémů větrání RDF870KNX

Slouží k regulaci systémů větrání vzduchu pro obytné budovy, školy, nemocnice nebo komerční budovy. Prostorové regulátory slouží k regulaci koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5} a PM₁₀ nebo úrovně CO₂ pomocí čidel připojených přímo nebo po sběrnici. Teplota se zobrazuje z čidla vestavěného na zařízení nebo po sběrnici. Lze pouze nastavit požadované hodnoty PM_{2,5} nebo CO₂. Prostorová jednotka slouží k zobrazení prostorové teploty, venkovní teploty, koncentrace PM_{2,5}, VOC, CO₂ a relativní vlhkosti naměřené čidlem připojeným přímo nebo po sběrnici. Dále slouží k nastavení žádaných hodnot pro všechny výše uvedené veličiny, omezení maximální nebo minimální nastavitelné hodnoty teploty, nastavení otáček ventilátoru nebo pro volbu druhu provozu.

Během experimentu nebylo řízeno žádné větrací nebo filtrační zařízení, proto bylo čidlo během experimentu použito pouze pro informativní sdělování hodnot respondentům účastnících se experimentu a k převodu signálu z čidel QPA10/20 a QSA2700D. V tab. 8.3 jsou technické parametry regulace větrání RDF870KNX. [26]

Tab. 8.3 Technické parametry regulace systémů větrání RDF870KNX. [26]

Technické parametry	
Napájení	
Napájecí napětí	AC 230 V
Kmitočet	50 / 60 Hz
Příkon	Max. 6,0 VA / 2,1 W
Multifunkční vstupy X1-M/X2-M	
Vstup pro teplotní čidlo:	
Typ	NTC 10k
Teplotní rozsah	0...50 °C
Přesnost	±0,5 K při 25 °C
Rozsah kalibrace	-5 K...5 K, rozlišení 0,5 K
Digitální vstup:	
Logické stavy	Volitelný NO / NC (spínací / rozpínací)
Izolační pevnost proti napájecímu napětí (SELV)	≥ 3,75 kV, zesílená izolace
Délka kabelu	Až 80 m (průřez vodiče 1,5 mm ²)
Analogový vstup:	
Typ signálu	0...10 V, NTC 10k
Rozsah a limit čidla	Nastavuje se pomocí parametrů
Délka kabelu	Až 80 m (průřez vodiče 1,5 mm ²)
Funkce vstupů	
Oddělené čidlo PM2.5, porucha	Chyba měřicího modulu čidla / chyba komunikace
Komunikační rozhraní	
KNX	
Typ	KNX TP1, galvanicky izolováno.
Přenosová rychlost	9600 bps
Napájení sběrnice	0,25 W
Odolnost proti zkratu	Ochrana proti nesprávnému zapojení při max. AC 24 V.

8.3.4 Čidlo kvality prostředí QMX3.P70 s integrovaným prostorovým regulátorem KNX (S-mód)

Kombinace čidla kvality prostředí a regulátoru slouží jako komunikativní senzory a mají schopnost regulace vnitřního prostředí pomocí regulačních parametrů. Zařízení disponuje ukazatelem kvality vzduchu uvnitř objektu, měřením teploty prostoru, koncentrace CO₂ a relativní vlhkosti vzduchu. Dále slouží k ovládání osvětlení, stínění a nastavení scén osvětlení. Řízení větrání a úprava prostorové teploty je řízená na základě informací naměřených čidlem pomocí PID regulátoru.

Během experimentu bylo toto čidlo použito k měření koncentrace CO₂. V tab. 8.4 jsou uvedeny základní technické údaje čidla QMX3.P70. Měření koncentrace CO₂ je založené na stejném principu jako u čidla QPA10.../QPA20...

Tab. 8.4 Technické parametry čidla kvality prostředí QMX3.P70.

Technické údaje		
Napájení	Rozsah provozního napětí	KNX / PL-Link DC 21...30 V
	Přístroj je napájen z prostorové automatizační stanice přes rozhraní KNX / PL-Link	
Přikon (z prostorové automatizační stanice)	QMX3.P02	Max 7.5mA při DC 24 V
	QMX3.P30	Max 7.5mA při DC 24 V
	QMX3.P34	Max 7.5mA při DC 24 V
	QMX3.P40	Max 7.5mA při DC 24 V
	QMX3.P37	Max 10mA při DC 24 V
	QMX3.P70	Max 15mA při DC 24 V
	QMX3.P74	Max 15mA při DC 24 V
Provozní údaje	Čidlo teploty (všechny typy)	
	Měřicí prvek	Odporové čidlo NTC
	Rozsah měření	0...50 °C
	Přesnost měření (5 ... 30 °C)	±0.8 K
	Přesnost měření (25 °C)	±0.5 K
	Čidlo relativní vlhkosti (r.v.) (QMX3.P40, QMX3.P74; QMX3.P70)	
	Rozsah měření	10%...95% r.v.
	Přesnost (20%...80%)	±4% při 25°C
	Přesnost (0%...20%, 80%...95%)	±6% při 25°C
	Čidlo CO ₂ (QMX3.P74, QMX3.P70) *)	
	Rozsah měření	400..10000 ppm
	Přesnost měření při 23 °C a 1013 hPa pro měřenou hodnotu 400...2000 ppm	±(30 ppm +4% z měřené hodnoty)
	pro měřenou hodnotu >2000 ppm	snižovaná přesnost
	Závislost na teplotě	±2 ppm / °C obvykle
	Závislost na tlaku	0.14% z měřené hodnoty / hPa
Dlouhodobá odchylka	±20 ppm za rok	
Životnost	15 let	

8.4 Měření kvality vnitřního prostředí v domácnostech

Samotné měření probíhalo v domácnostech u 15 respondentů rozmístěných po celém území České republiky v období od 12. 11. 2019 do 7. 3. 2020.

Respondenti byli z řad zaměstnanců firmy Siemens. Dne 12. 11. 2019 proběhla schůzka, během které jsem představil formou prezentace všem zúčastněným osobám projekt Sledování vnitřního prostředí v domácnostech a účastníci byli seznámeni s postupem instalace měřicího boxu, průvodním technickým dotazníkem a společným sestavením harmonogramu předávání měřicího boxu.

8.4.1 Postup měření

Každé měření u respondenta mělo probíhat po dobu jednoho týdne. Tento předpoklad nebyl u všech dodržen z důvodu nemoci některých respondentů a později z důvodu začátku celostátní karantény v důsledku virové epidemie.

Zařízení si respondent nainstaloval u sebe v domácnosti v prostorách obývacího pokoje zapojením do elektrické zásuvky 230 V a zajistil, aby zařízení bylo volně v prostoru. Zbytek měření probíhal již automaticky a ojedinělé výpadky byly řešeny e-mailovou a telefonickou komunikací.

Měřená data se pravidelně jednou za 24 hodin odesílala na zadanou e-mailovou adresu a zároveň se všechna naměřená data ukládala na interním cloudu Synco firmy Siemens. Zde bylo možné měřená data spravovat, stahovat, kontrolovat funkčnost zařízení, polohu zařízení, sledovat aktuální měřená data a výsledné křivky dat v grafech. Zařízení si respondenti předávali na firemních schůzkách. Pro lepší orientaci průběhu měření jsem vypracoval harmonogram s připomínkou do kalendáře propojeného s e-mailovými adresami jednotlivých respondentů. Součástí měření je i technický doplňující dotazník. Použité zařízení pro měření je popsáno v kapitole 8 a je vidět na obr. 8.1, 8.2, 8.3.

8.4.2 Technický doplňující dotazník

Dotazník jsem vypracoval pomocí webových stránek Survio, obsahuje 30 víceúrovňových otázek. Cílem dotazníku bylo zpřesnit kvalitu, přesnost vyhodnocení naměřených dat a popis denního režimu v domácnosti. Dotazník byl respondentům zaslán na e-mailovou adresu a každý jej vyplnil během průběhu měření. Vyplněné dotazníky byly automaticky zasílány na zadanou e-mailovou adresu.

8.4.3 Otázky technického dotazníku

1. Město/obec, kde se byt/dům nachází?
2. Bydlíte v bytě/domě?
3. Počet osob bydlících v bytě/domě?
4. Kolik hodin denně stráví pobývající osoby v bytě/domě?
5. Jak stará/starý je budova bytu/dům?
6. Ve kterém nadzemním podlaží se nachází místnost, kde je umístěné čidlo?
7. Je budova bytu/dům samostatně stojící nebo v zástavbě?
8. Je budova bytu/dům zateplený a jak moc těsný?
9. Jaký typ oken v bytě máte?
10. Jakou těsnost Vaše okna mají?
11. Máte v bytě/domě krb nebo kamna?
12. Pokud topíte v bytě/domě krbem, o jaký typ se jedná?
13. Jak v bytě/domě větráte?
14. Na čem vaříte?
15. Jak často za týden doma vaříte?
16. Používáte během vaření digestoř?
17. Jaký typ digestoře používáte?
18. Je obývací pokoj propojený s kuchyní?
19. Zapalujete si doma svíčky?
20. Kouří se v bytě/domě?
21. Používáte v bytě domácí čističku vzduchu?
22. Na jakou teplotu obytné místnosti vytápíte?
23. Jste spokojeni s teplotou, na kterou vytápíte?
24. Máte v bytě v otopném období pocit suchého vzduchu?
25. Zvlhčujete vzduch při vytápění?
26. Jste spokojeni s vlhkostí vzduchu v bytě/domě?
27. Máte v bytě/domě problémy s vlhkostí a plísní?
28. Pociťujete v bytě/domě zvýšenou prašnost?
29. V jaké lokalitě se byt/dům nachází?
30. Nachází se ve Vašem blízkém okolí významný zdroj znečištění?

Ukázka vyplněného dotazníku respondenta č. 6, kde probíhalo měření v období od 19. 12. do 23. 12. 2019. Celý dotazník a všechny vyplněné dotazníky respondenty jsou součástí přílohy č. 1.

1. Město/obec, kde se byt/dům nachází?
Praha – Horní Počernice
2. Bydlíte v bytě/domě?
dům
3. Počet osob bydlících v bytě/domě?
4
4. Kolik hodin denně stráví pobývající osoby v bytě/domě?
 1. osoba – 11 h
 2. osoba – 7-8 h
 3. osoba – 9-10 h
 4. osoba – 9-10 h
5. Jak stará/starý je budova bytu/dům?
starší 10 let
6. Ve kterém nadzemním podlaží se nachází místnost, kde je umístěné čidlo?
přízemí
7. Je budova bytu/dům samostatně stojící nebo v zástavbě?
v zástavbě
8. Je budova bytu/dům zateplený a jak moc těsný?
těsná a nezateplená
9. Jaký typ oken v bytě máte?
plastová okna
10. Jakou těsnost Vaše okna mají?
středně těsná
11. Máte v bytě/domě krb nebo kamna?
ano
12. Pokud topíte v bytě/domě krbem, o jaký typ se jedná?
s uzavřeným ohništěm
13. Jak v bytě/domě větráte?
otevřenými okny
14. Na čem vaříte?

el. sporák

15. Jak často za týden doma vaříte?

víckrát

16. Používáte během vaření digestoř?

ne

17. Jaký typ digestoře používáte?

s vývodem do exteriéru

18. Je obývací pokoj propojený s kuchyní?

ano

19. Zapalujete si doma svíčky?

ano

20. Kouří se v bytě/domě?

ne

21. Používáte v bytě domácí čističku vzduchu?

ne

22. Na jakou teplotu obytné místnosti vytápíte?

23 °C

23. Jste spokojeni s teplotou, na kterou vytápíte?

ano

24. Máte v bytě v otopném období pocit suchého vzduchu?

ne

25. Zvlhčujete vzduch při vytápění?

ne

26. Jste spokojeni s vlhkostí vzduchu v bytě/domě?

ano

27. Máte v bytě/domě problémy s vlhkostí a plísní?

ne

28. Pociťujete v bytě/domě zvýšenou prašnost?

nevím

29. V jaké lokalitě se byt/dům nachází?

středně znečištěná lokalita

30. Nachází se ve Vašem blízkém okolí významný zdroj znečištění?

Soused, sousedi topící pevnými palivy

8.5 Vyhodnocení naměřených dat

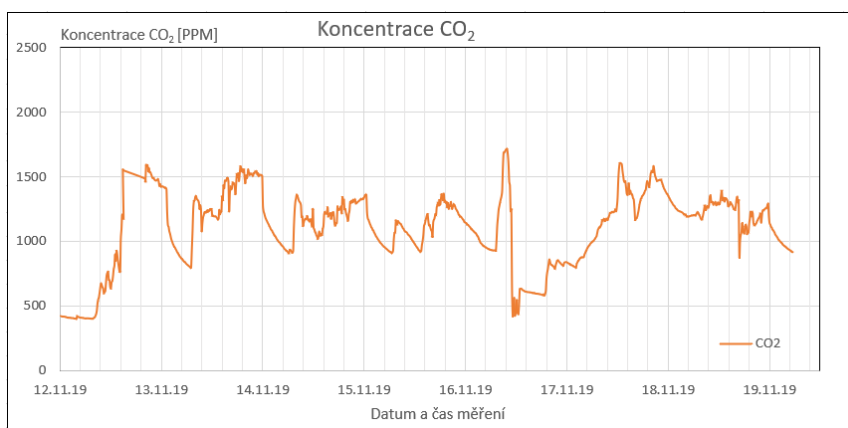
V první části budou popsána a zobrazena naměřená data respondentů podle harmonogramu měření. Vyhodnocení a zpracování naměřených dat respondentů jsou v příloze č. 2.

8.5.1 Respondent č. 1

Pro respondenta č. 1, v místě měření Slaný, jsou v tab. 8.5 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 12. 11. 2019 0:00 až 19. 11. 2019 5:30.

Tab. 8.5 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 1.

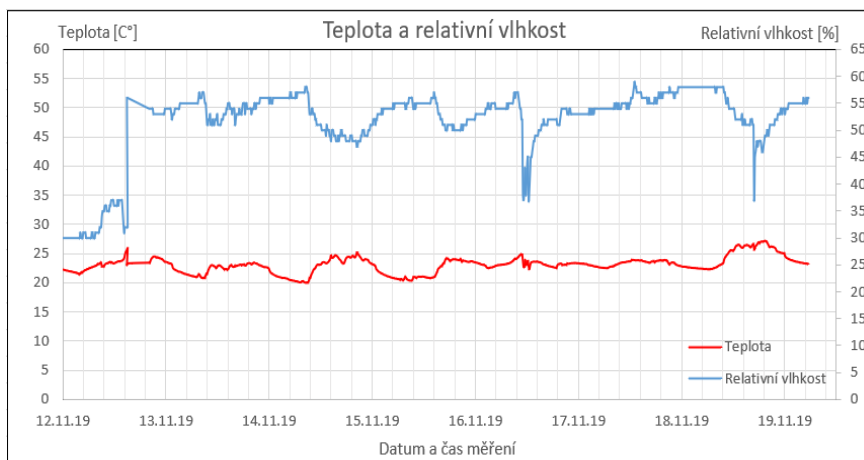
	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	20,1	23,1	27,4
Relativní vlhkost	[%]	30	51,5	59
CO ₂	[ppm]	397	1102	1718
VOC	[mg/m3]	0	11,6	17,3
PM _{2,5}	[μg/m3]	0	13,3	79



Obr. 8.4 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 1.

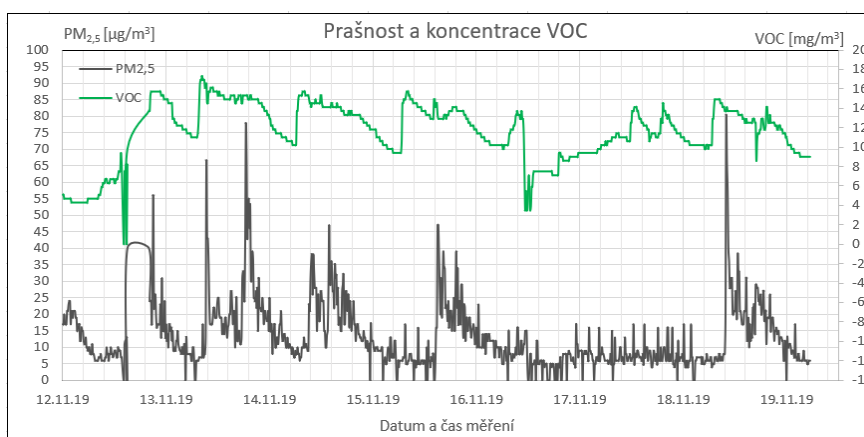
Z vyplněného dotazníku je patrné, že v domě bydlí 4 osoby, z nichž dvě pracují a tráví v domě kolem 12 hodin denního času a zbylé dvě tráví v domě 13 až 15 hodin denního času. Obálka budovy je rekonstruovaná v posledních 10 letech a je naprosto těsná s plastovými těsnými okny. Jako typ větrání je uvedené provětrávání otevřenými okny. Z grafu na obr. 8.4 a tab. 8.5 je vidět, že koncentrace CO₂ klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z údajů v dotazníku. Podle tab. 6.2 se

průměrná hodnota CO₂ drží v doporučených hodnotách <1500 ppm a pouze v několika případech byla tato hranice překročena. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ byla 1718 ppm, dosáhlo se jí za plné obsazenosti domu ve večerních hodinách.



Obr. 8.5 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 1.

V domě se topí krbem s uzavřeným ohništěm a z bližší komunikace vím, že k vytápění se používá i podlahové vytápění. Do večera 15. 11. se v domě topilo pouze kamny a poté se až do večera 18. 11. topilo podlahovým vytápěním, následně až do konce měření se znova topilo kamny. Tento fakt lze pozorovat v grafu na obr. 8.5, kde po dobu vytápění podlahovým vytápěním je průběh změny teploty minimální. Během topení kamny je změna teploty výrazně vyšší a spíše skoková. Respondent uvedl, že dům vytápí na 21 °C, ale z tabulky 8.5 je patrné, že průměrná teplota v domě je 23,1 °C, s maximální naměřenou teplotou 27,4 °C a minimální 20,1 °C. Hodnota relativní vlhkosti v domě je podle doporučení v tab. 6.1 v mezích normy.



Obr. 8.6 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 1.

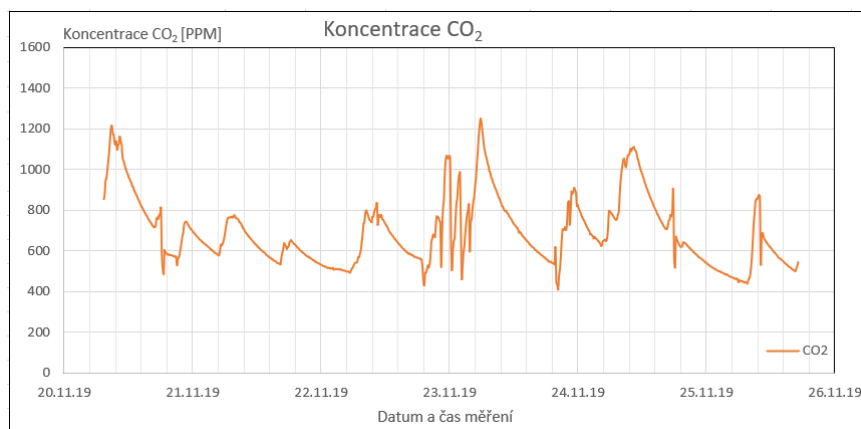
Na grafu z obr. 8.6 je vidět, že hmotnostní koncentrace frakce částic $PM_{2,5}$ je zvýšená v období, kdy se v domě topilo kamny, během topení podlahovým vytápěním je hmotnostní koncentrace nižší. Z tab. 8.5 vyplývá, že průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic je $13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a maximální hmotnostní koncentrace je $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nicméně podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hmotnostní koncentrace může být ovlivněna i větráním okny, dům respondenta se nachází v blízkosti průmyslové zóny a sousedi v okolí topí pevnými palivy. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví, viz tab. 6.3.

8.5.2 Respondent č. 2

Pro respondenta č. 2, v místě měření Řevnice, jsou v tab. 8.6 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $PM_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 20. 11. 2019 19:30 až 26. 11. 2019 5:10.

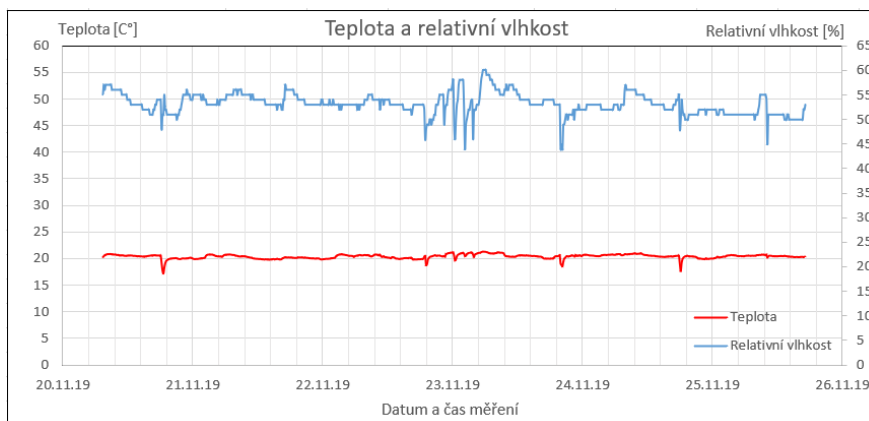
Tab. 8.6 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 2.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	17,2	20,4	21,3
Relativní vlhkost	[%]	44	53,2	60
CO_2	[ppm]	412	694	1251
VOC	[mg/m3]	2,7	9,8	18
$PM_{2,5}$	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	11,5	101



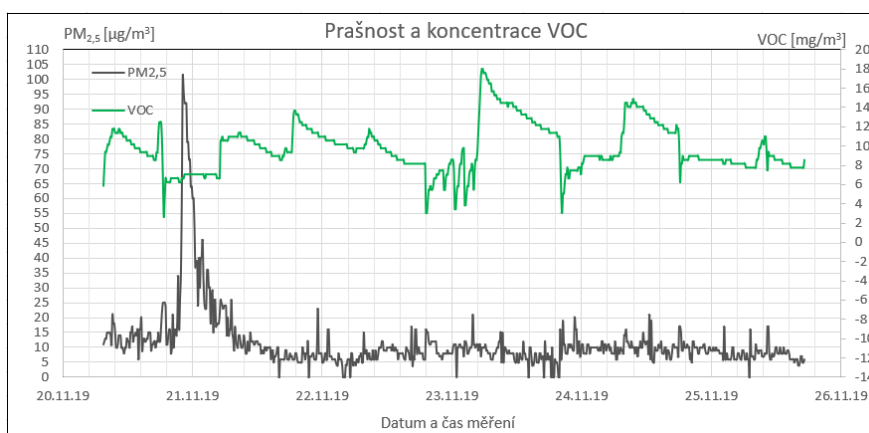
Obr. 8.7 Graf průběhu koncentrace CO_2 u respondenta č. 2.

Z dotazníku je patrné, že v domě bydlí 2 osoby, které tráví v domě kolem 8 hodin denního času. Obálka budovy je rekonstruovaná v posledních 10 letech a je naprosto těsná s těsnými dřevěnými okny. Jako typ větrání je uvedené provětrávání otevřenými okny. Z grafu na obr. 8.7 a tab. 8.6 je vidět, že koncentrace CO_2 klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z dotazníku. Podle tab. 6.2 se průměrná hodnota CO_2 drží v doporučených hodnotách <1500 ppm. Nejvyšší naměřená koncentrace CO_2 byla 1251 ppm, dosáhlo se jí za plné obsazenosti domu ve večerních hodinách.



Obr. 8.8 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 2.

Podle dotazníku se jedná o těsnou zateplenou budovu s těsnými dřevěnými okny. V domě se netopí kamny a k vytápění se používají otopná tělesa. Těsnost a zateplení budovy lze ověřit podle plynulého málo se měnícího průběhu teplot z grafu na obr. 8.8 a dotazníku, kde respondent uvedl, že dům vytápí na 22 °C. Z tabulky 8.6 je patrné, že průměrná teplota v domě je 20,4 °C, s maximální naměřenou teplotou 21,3 °C a minimální 20,1 °C. Z toho vyplývá, že respondent špatně uvedl teplotu, na kterou vytápí, nebo nastavení teploty není přesné. Hodnota relativní vlhkosti v domě je podle tab. 6.1 v mezích normy.



Obr. 8.9 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $\text{PM}_{2,5}$ u respondenta č. 2.

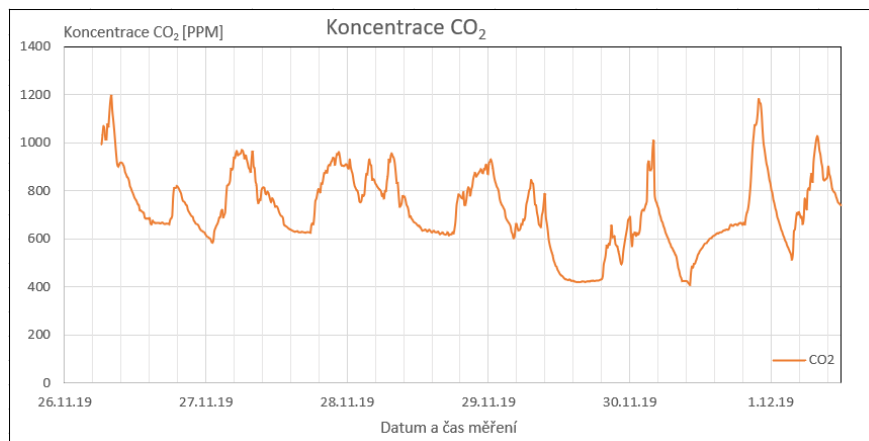
Na grafu z obr. 8.9 je vidět, že hmotnostní koncentrace frakce částic PM_{2,5} se většinu doby měření pohybuje v nízkých hodnotách, až na dopoledne 21. 11., kdy hmotnostní koncentrace vystoupala až na koncentraci 101 µg/m³ a následně pozvolně klesala, až na stálou hmotnostní koncentraci měřenou po celou dobu. Z tab. 8.6 průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic je 11,5 µg/m³. Nicméně podle tab. 6.4 je dosažená maximální hmotnostní koncentrace vyšší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³. Prudký nárůst hmotnostní koncentrace prachu mohl být v důsledku použití svíčky, která byla uvedena v dotazníku, nebo větráním otevřenými okny v době nepříznivých venkovních koncentrací prachu v důsledku spalování tuhých paliv sousedy. Koncentrace VOC je taktéž zřejmá na grafu na obr 8.9, kde je vidět 23. 11. až 25. 11. prudký nárůst koncentrace VOC a následné pozvolné snižování. Přesto koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví viz tab. 6.3.

8.5.3 Respondent č. 3

Pro respondenta č. 3, v místě měření Jiřetín, jsou v tab. 8.7 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 26. 11. 2019 18:20 až 2. 12. 2019 0:00.

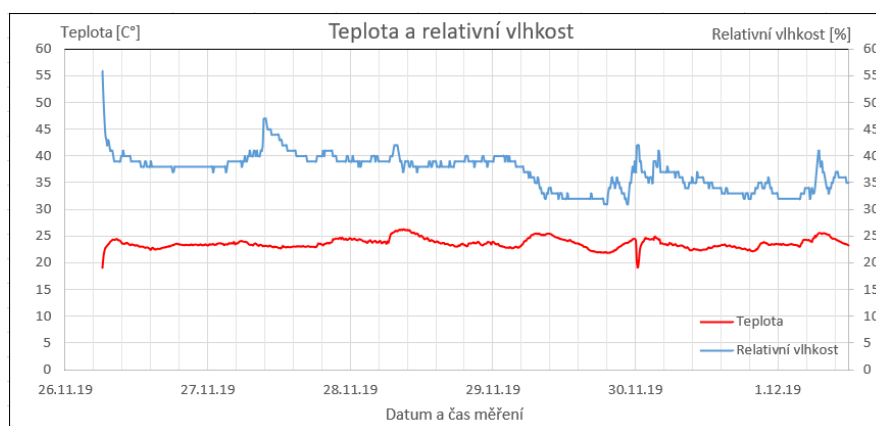
Tab. 8.7 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 3.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	19,1	23,6	26,3
Relativní vlhkost	[%]	31	37,3	56
CO ₂	[ppm]	407	712	1195
VOC	[mg/m3]	1,6	6	11
PM _{2,5}	[µg/m3]	0	3,5	136



Obr. 8.10 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 3.

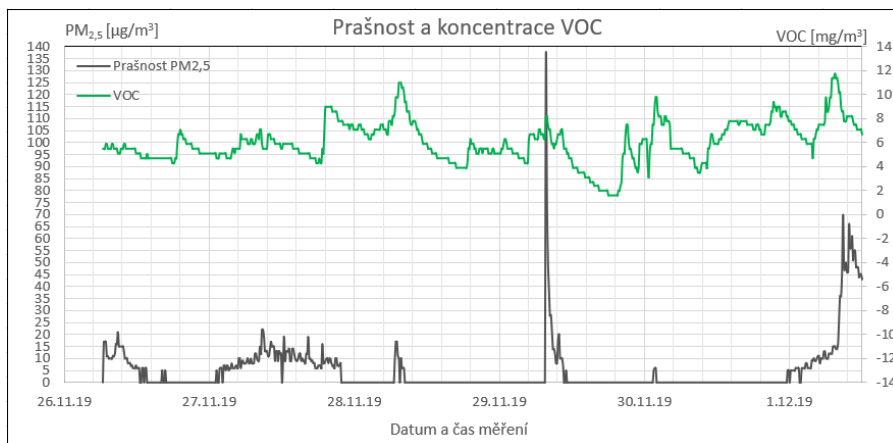
Z dotazníku je patrné, že v domě bydlí 4 osoby, které tráví v domě okolo 12 hodin denního času. Jedná se o zateplenou těsnou novostavbu s těsnými okny. Jako typ větrání je uvedené nucené větrání. Z grafu na obr. 8.10 a tab. 8.7 je vidět, že koncentrace CO₂ klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z dotazníku a je patrná zvýšená koncentrace během víkendu. Podle tab. 6.2 se průměrná hodnota CO₂ drží v doporučených hodnotách <1500 ppm. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ byla 1195 ppm, dosáhlo se jí za plné obsazenosti domu. Oproti předešlým respondentům je vidět velký vliv nuceného větrání. Jedná se o domy se stejnými vlastnostmi ohledně těsnosti obálky a obsazenosti, nicméně koncentrace CO₂ jsou výrazně nižší, a dokonce nižší než u domu se dvěma respondenty.



Obr. 8.11 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 3.

V domě se topí kamny s uzavřeným ohništěm a otopnými tělesy. Na grafu z obr. 8.11 je průběh teploty a relativní vlhkosti během měření. Mezi jednotlivými zátopy v kamnech lze pozorovat na grafu z obr. 8.12 zvyšující se hmotnostní koncentraci prachových částic,

kdy je vidět, že během zátopu se zvyšuje teplota v místnosti a zároveň prudce stoupá hmotnostní koncentrace prachových částic. Vlhkost je dle normy podle tab. 6.1. Průměrná teplota byla 23,6 °C, minimální teplota byla 19,1 °C a maximální teplota byla 26,3 °C. Teplota 26,3 °C může být zvýšena v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy.



Obr. 8.12 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $PM_{2,5}$ u respondenta č. 3.

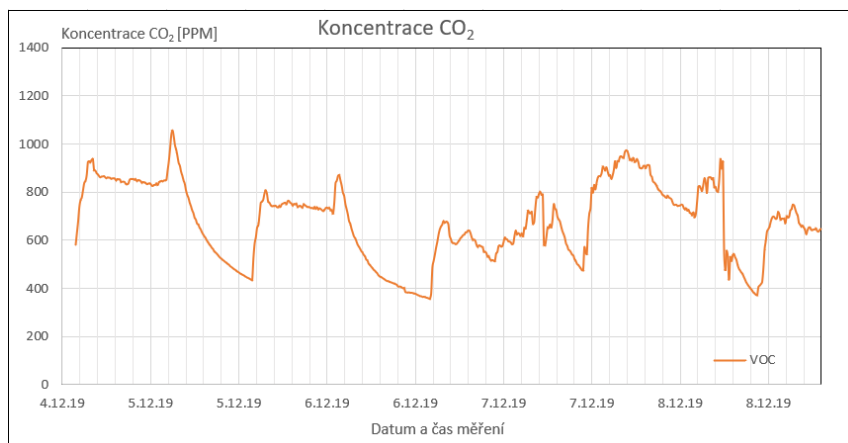
Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.7 je $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maximální koncentrace prachových částic, v důsledku topení v kamnech, viz graf. obr. 8.12 dosáhla $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ale nepřesáhla hodinovou koncentraci stanovenou normou podle tab. 6.4 vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tato překročení vzhledem k dotazníku, kde je uvedeno, že dům se nachází v čisté lokalitě, potvrzují, že topení v kamnech v domácnosti zvyšuje nadměrně koncentraci prachových částic. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí a na to, zda je v chodu nucené větrání, nebo není. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví viz tab. 6.3.

8.5.4 Respondent č. 4

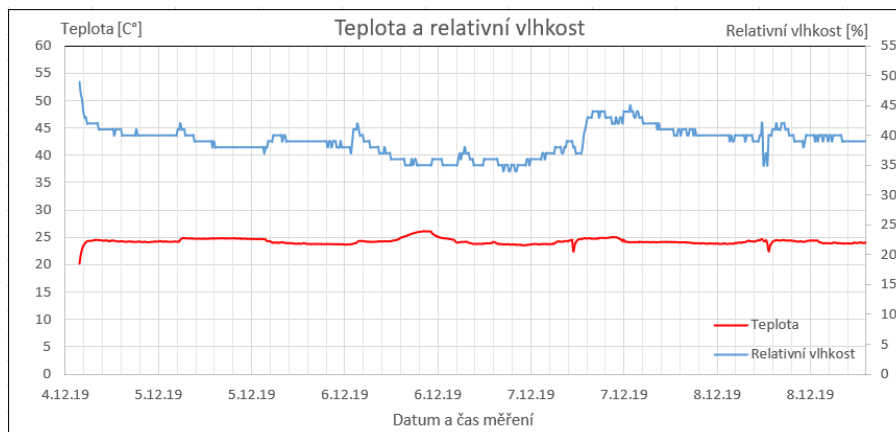
Pro respondenta č. 4, v místě měření Kladno, jsou v tab. 8.8 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $PM_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 4. 12. 2019 18:40 až 10. 12. 2019 6:30.

Tab. 8.8 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 4.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	20,2	24,3	26,1
Relativní vlhkost	[%]	34	39,3	49
CO ₂	[ppm]	358	715	1082
VOC	[mg/m ³]	0	5	8,6
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	2,7	16

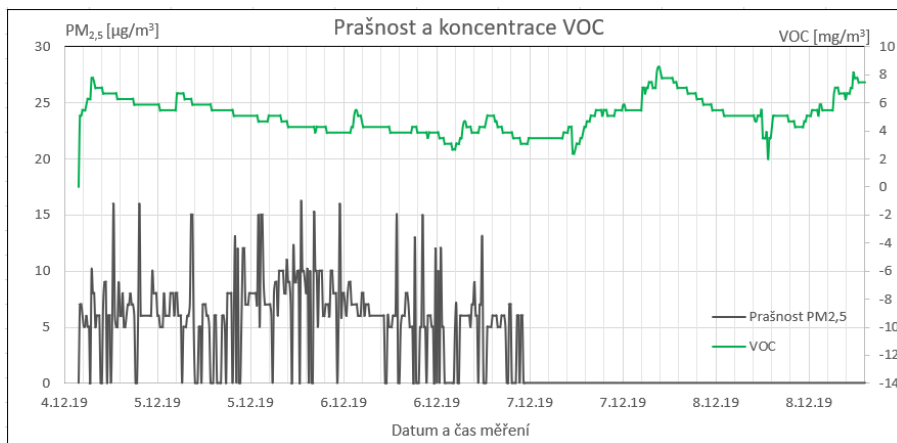
Obr. 8.13 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 4.

Podle dotazníku se jedná o byt v rekonstruovaném domě a žije zde pouze jedna osoba, která zde v průměru tráví 12 hodin denního času. V bytě větrá otevřením oken. Na grafu z obr. 8.13 je vidět denní průběh koncentrace CO₂, kdy je jasně viditelná zvyšující se koncentrace v době přítomnosti respondenta a naopak snižující se koncentrace v jeho nepřítomnosti. Během víkendu 6. 12. až 8. 12. je vidět častější přítomnost respondenta v bytě díky drží se vyšší koncentraci CO₂. Podle tab. 6.2 se průměrná hodnota CO₂ drží v doporučených hodnotách <1500 ppm.



Obr. 8.14 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 4.

V bytě se vytápí na 23 °C, průměrná teplota byla 24,3 °C, minimální teplota byla 20,2 °C, maximální teplota byla 26,1 °C. Teplota 26,1 °C může být zvýšena v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. respondent uvádí, že je spokojený s relativní vlhostí. Podle tab. 8.8 je relativní vlhkost poměrně nízká i podle doporučení dle normy z tab. 6.1. Teplota v bytě podle tab. 8.8 je skoro o stupeň a půl vyšší, než uvádí respondent. Vyšší teplota může být způsobena ohříváním bytu od sousedních bytů v domě.



Obr. 8.15 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 4.

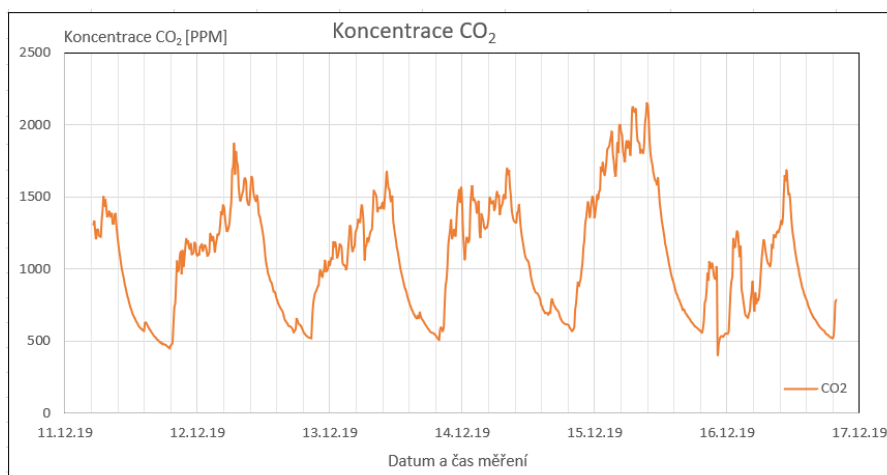
Na grafu z obr. 8.14 je vidět průběh hmotnostní koncentrace prachových částic a koncentrace VOC. Koncentrace VOC se po celou dobu držela na nízkých hodnotách, kromě víkendu, kdy lehce stoupla v důsledku přítomnosti respondenta. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví, viz tab. 6.3. Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.8 je 3,5 µg/m³ a maximální hmotnostní koncentrace prachových částic je 16 µg/m³. U koncentrace prachu je zajímavé, že byt se nachází ve středně znečištěné oblasti s frekventovanou ulicí, a přesto jsou jeho koncentrace velice nízké. Od 7. 12. senzor prašnosti měřil nulovou hodnotu až do konce měření. Vzhledem ke skutečnosti, že se jednalo o víkend a respondent se nacházel doma, muselo dojít k technické závadě na čidle. Tímto problémem se zabývám v kapitole 9. Nicméně podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³.

8.5.5 Respondent č. 5

Pro respondenta č. 5, v místě měření Velké Žernoseky, jsou v tab. 8.9 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 11. 12. 2019 17:10 až 17. 12. 2019 8:00.

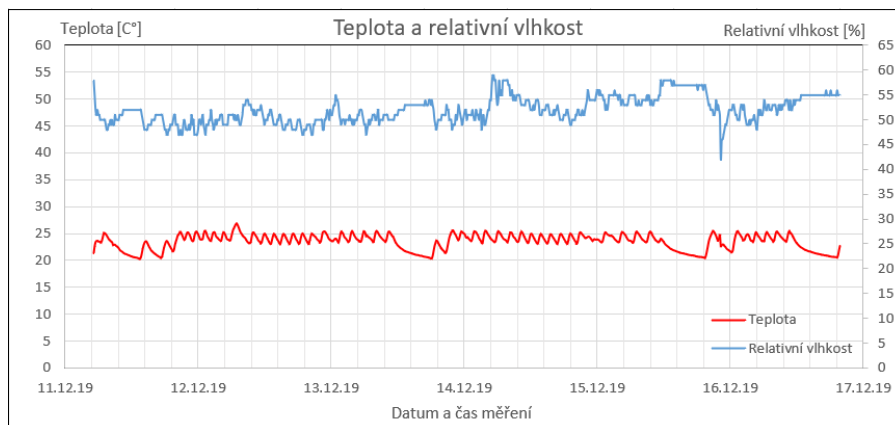
Tab. 8.9 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 5.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	20,2	23,4	26,8
Relativní vlhkost	[%]	42	52,0	59
CO ₂	[ppm]	407	1074	2147
VOC	[mg/m ³]	2,7	8	13,7
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	17,2	500



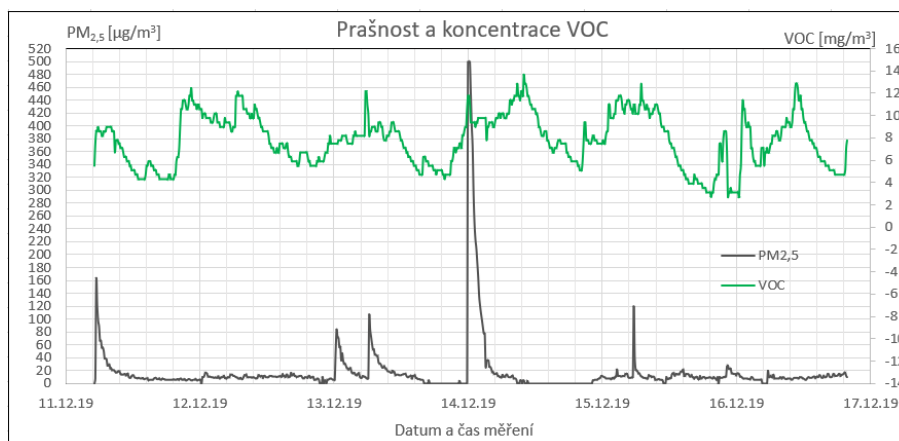
Obr. 8.16 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 5.

Jedná se o dům, který obývají 3 osoby. Dvě osoby v domě průměrně pobývají 15 hodin a jedna 9-10 hodin denního času. V domě se větrá otevřenými okny, která jsou těsná a plastová. Z grafu na obr. 8.16 je vidět závislost koncentrace CO₂ na obsazenosti osobami. Průměrná koncentrace CO₂ se držela v doporučených hodnotách <1500 ppm, viz tab. 6.2. Koncentrace byla během měření několikrát překročena, kdy nejvyšší hodnota koncentrace dosáhla 15. 12. hodnoty 2147 ppm. Respondent mi po bližší komunikaci sdělil, že 15. 12. měl v domě oslavu narozenin a nacházelo se zde více osob.



Obr. 8.17 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 5.

V bytě se vytápí na 22 °C, teplota v bytě je podle tab. 8.9 o stupeň a půl vyšší, než uvádí respondent, a kolísá mezi 20 až 26,8 °C. Kolísání teploty bude způsobeno pomalou odezvou otopné soustavy na měnící se teplotu a vyššími tepelnými ztrátami budovy, která je nezateplená a starší více než 10 let. Teplota 26,8 °C může být zvýšena v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Relativní vlhkost v domě je podle tab. 8.9 v rozmezí 42 až 59 %, což je podle tab. 6.1 v doporučeném rozmezí. Respondent uvádí, že v domě má problém s vlhkostí. Tento problém se netýká podle měření vlhkosti ve vzduchu, ale nejspíš se jedná o vlhkost způsobenou tepelnými mosty přes nezateplenou obálku budovy.



Obr. 8.18 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $PM_{2,5}$ u respondenta č. 5.

U hmotnostní koncentrace prachových částic dle grafu z obr. 8.18 jsou několikrát měřené vysoké koncentrace prachu. Tento fakt je zvláštní, protože v dotazníku je uvedeno, že se v domě netopí kamny, nekouří se a nepoužívají se svíčky. Jedinými možnými zdroji tak

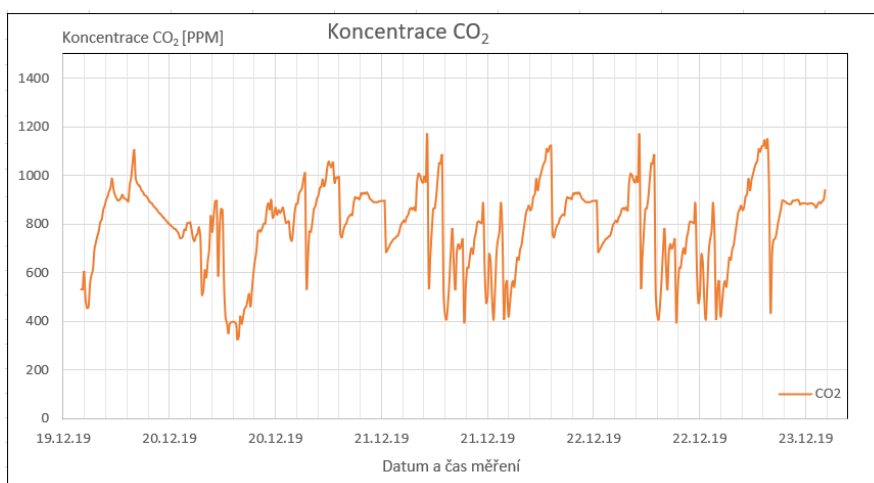
vysokých koncentrací v tomto případě je časté vaření nebo vnik prachu z venkovního prostředí. V blízkosti domu se nachází průmyslová zóna a petrochemický podnik, ale dle dat ČHMÚ nebyly v tuto dobu překročeny imisní limity. Zvláště u hodnoty z 14. 12., která dosáhla $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je nepravděpodobné ji dosáhnout pomocí uvedených zdrojů z dotazníku. V prostoru domu muselo dojít k hoření, ze kterého se uvolňuje nejvyšší počet jemných prachových částic. V našem případě se nejspíše jednalo o svíčky, s ohledem na vánoční zvyky. Tato hodnota je vyšší podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $\text{PM}_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentrace VOC se pohybovala konstantně a v nízkých hodnotách a podle vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví viz tab. 6.3 je v rozmezí doporučených hodnot.

8.5.6 Respondent č. 6

Pro respondenta č. 6, v místě měření Praha Horní Počernice, jsou v tab. 8.10 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $\text{PM}_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 19. 12. 2019 18:50 až 23. 12. 2019 7:00.

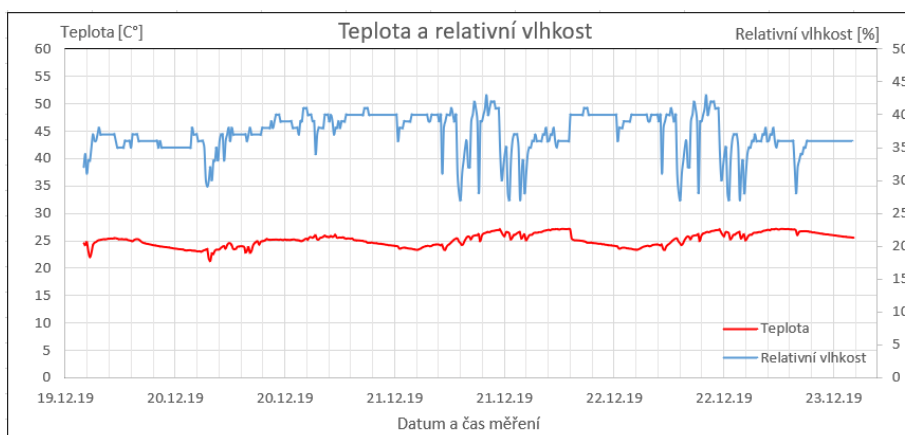
Tab. 8.10 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 6.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	21,26	24,80	27,1
Relativní v	[%]	27	37,0	43
CO_2	[ppm]	325	789	1158
VOC	[mg/m ³]	0	10	19,2
$\text{PM}_{2,5}$	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	19,2	70



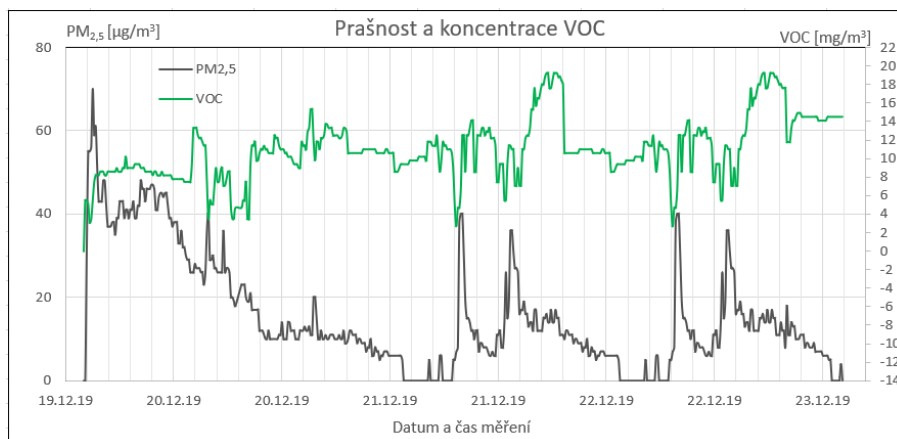
Obr. 8.19 Graf průběhu koncentrace CO_2 u respondenta č. 6.

Jedná se o dům, který obývají 4 osoby. Tři osoby v domě průměrně pobývají mezi 10-11 hodinami a jedna osoba mezi 7-8 hodinami denního času. V domě se větrá otevřenými okny, která jsou méně těsná a plastová. Z grafu na obr. 8.19 je vidět závislost koncentrace CO₂ na obsazenosti osobami. Průměrná koncentrace CO₂ z tab. 8.10 se držela v doporučených hodnotách <1500 ppm, viz tab. 6.2. Zajímavé je, že i při plné obsazenosti domu nebyly měřeny vysoké koncentrace CO₂. Evidentně respondenti doma často větrají a zároveň tomu napomáhá přirozené větrání netěsnostmi oken. Další možností je, že se v místnosti umístění měřicího zařízení nenacházely všechny čtyři osoby najednou nebo se zde dlouho nezdržovaly.



Obr. 8.20 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 6.

V bytě se vytápí na 23 °C, teplota je podle tab. 8.9 o dva stupně vyšší, než uvádí respondent, a kolísá mezi 21 až 27 °C. Kolísání teploty bude způsobeno stářím budovy, která je starší 10 let, je nezateplněná, a má tudíž vyšší tepelné ztráty. Zároveň ke klasickému vytápění otopnou soustavou se v domě přitápí pomocí kamen s uzavřeným ohništěm, které způsobuje zvyšování teploty až na uvedených 27 °C. Tato teplota může být zvýšena i v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Tento jev je vidět na grafu na obr. 8.20, kde je patrné zvýšení teploty a následné postupné snižování v důsledku přitápění v kamnech. Relativní vlhkost je v domě podle tab. 8.10 v rozmezí 27 až 43 %, což podle tab. 6.1 není v doporučeném rozmezí a může způsobovat vysušování sliznice a problémy s dýcháním. Nízká relativní vlhkost je v důsledku vysušování vzduchu teplým vzduchem od kamen. Nicméně respondent si na problémy s vlhkostí nestěžuje.



Obr. 8.21 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 6.

Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.10 je 19,2 µg/m³ a maximální hmotnostní koncentrace je 70 µg/m³, nicméně podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³. K vyšší průměrné hmotnostní koncentraci prachových částic přispívá topení v kamnech a používání svíček. Na grafu z obr. 8.21 je vidět, jak se koncentrace prachových částic zvyšovala během přitápění v kamnech a postupně snižovala až do dalšího zátopu. Od 21. 12. do 23. 12. lze pozorovat podobnost v koncentraci prachových částic způsobenou pravidelným přikládáním v kamnech. Koncentrace VOC vykazuje stejný průběh jako koncentrace prachových částic, tento jev může být způsobený vonnými svíčkami, které uvolňují pachy, a zvyšují tudíž koncentraci VOC. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví viz tab. 6.3.

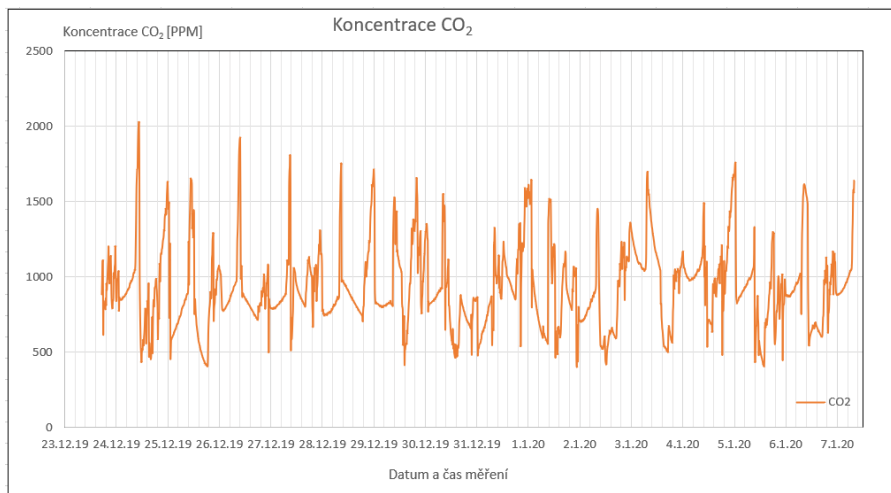
8.5.7 Respondent č. 7

Pro respondenta č. 7, v místě měření Praha Stodůlky, jsou v tab. 8.11 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 23.12.2019 17:10 až 07.01.2020 8:00.

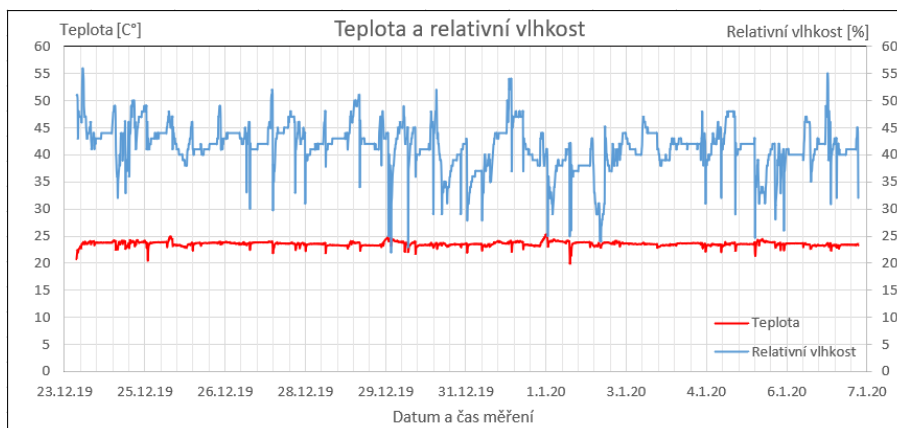
Tento respondent nevyplnil doplňující technický dotazník.

Tab. 8.11 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 7.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	19,9	23,5	25,2
Relativní vlhkost	[%]	22	41,5	56
CO ₂	[ppm]	406	930	2028
VOC	[mg/m ³]	2,7	9	15,3
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	4,4	135

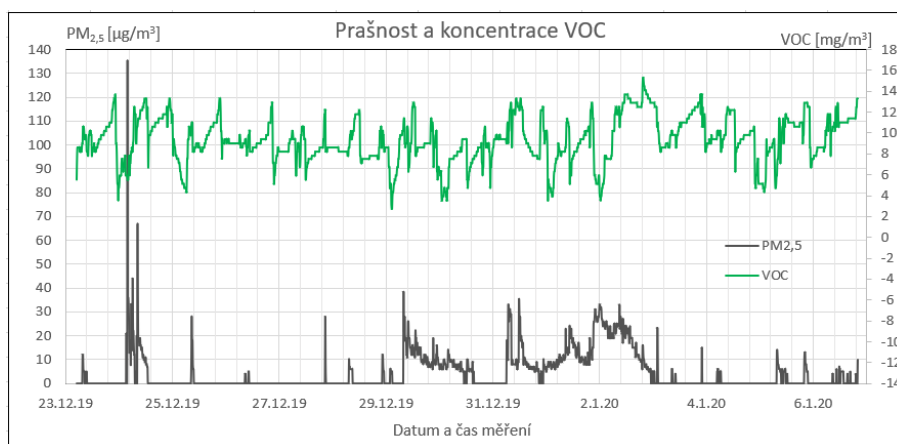
Obr. 8.21 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 7.

Na grafu z obr. 8.21 je průběh koncentrace CO₂, na kterém je vidět, že koncentrace často překračovala doporučenou úroveň koncentrace CO₂ <1500 ppm viz tab. 6.2. Z předchozích vyhodnocení lze konstatovat, že v této domácnosti se pohybují tři a více osoby a je nejspíš vybavena nuceným větráním, protože koncentrace CO₂ rychle stoupala a následně byla rychle snížena na běžnou úroveň.



Obr. 8.22 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 7.

Z tab. 8.11 je patrné, že teplota kolísala mezi 20 až 25,2 °C a průměrná teplota byla 23,5 °C. Mezi relativní vlhkostí a teplotou je v grafu na obr. 8.22 vidět závislost v poklesu a stoupání relativní vlhkosti. Když teplota stoupala (otopný systém topil), klesala relativní vlhkost vlivem vysoušení vzduchu, naopak když teplota klesala, relativní vlhkost vzduchu stoupala. Podle tab. 6.1 je relativní teplota v domácnosti o něco nižší, než tato norma doporučuje.



Obr. 8.23 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $PM_{2,5}$ u respondenta č. 7.

Na grafu z obr. 8.23 jsou průběhy koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace prachu. Maximální koncentrace prachových částic, nejspíše v důsledku svíčky, cigaretového kouře nebo kamen, viz tab. 8.11, dosáhla koncentrace $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ale nepřesáhla hodinovou koncentraci stanovenou normou podle tab. 6.4 vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a zároveň byla několikrát zvýšena na koncentraci blízkou $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z tab. 8.11 je vidět průměrná koncentrace prachu během měření, která byla $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví, viz tab. 6.3.

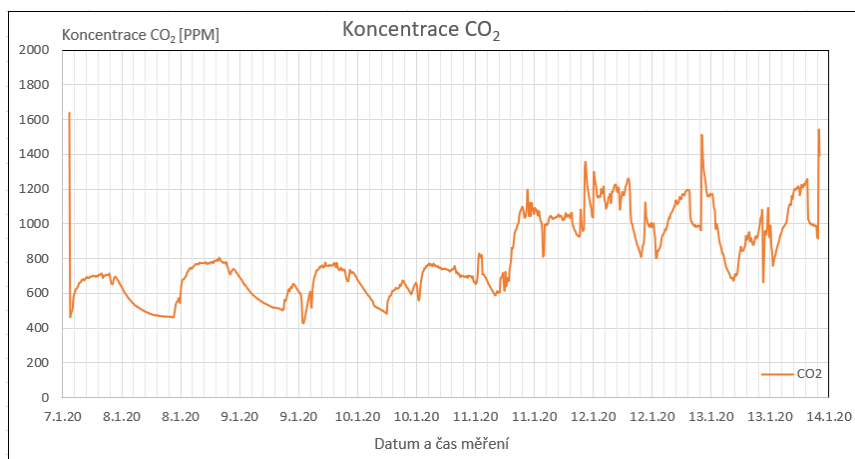
8.5.8 Respondent č. 8

Pro respondenta č. 8, v místě měření Řitka, jsou v tab. 8.12 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $PM_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 7. 1. 2020 22:50 až 14. 1. 2020 7:40.

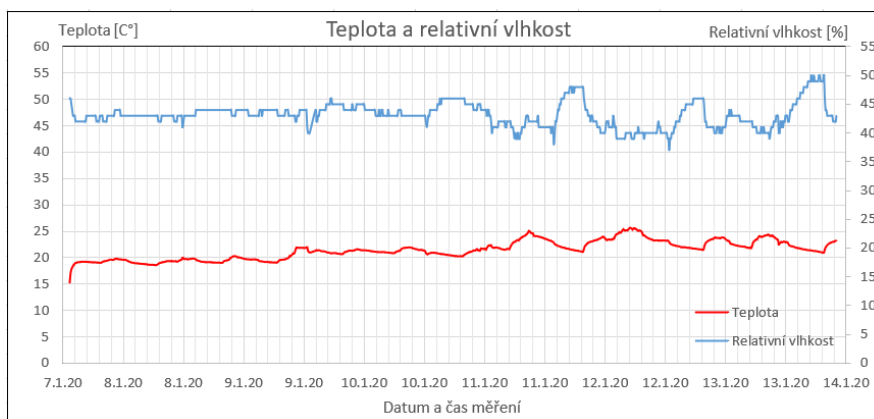
Tento respondent nevyplnil doplňující technický dotazník.

Tab. 8.12 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 8.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	15,3	21,4	25,7
Relativní vlhkost	[%]	37	43,1	50
CO ₂	[ppm]	426	805	1642
VOC	[mg/m ³]	0	7	14,1
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	2,8	80

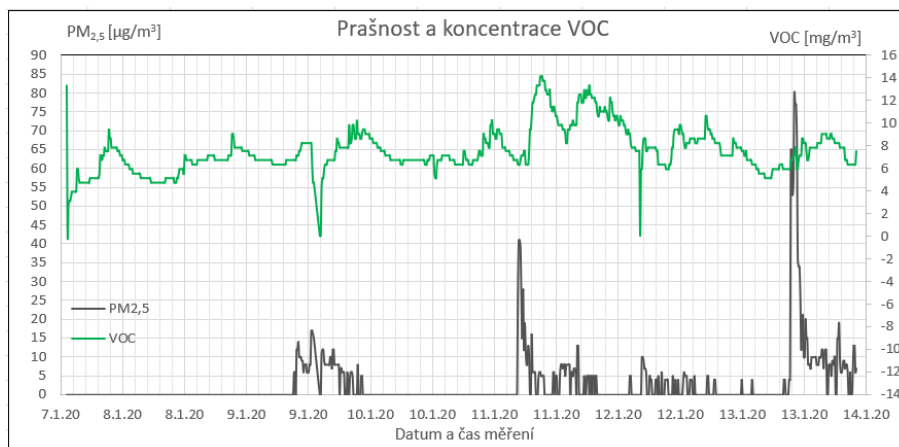
Obr. 8.24 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 8.

Na grafu z obr. 8.24 je průběh koncentrace CO₂, na kterém je vidět, že koncentrace několikrát překročila doporučenou úroveň koncentrace CO₂ <1500 ppm viz tab. 6.2. Z předchozích vyhodnocení lze usuzovat, že v této domácnosti se pohybují maximálně tři osoby a je větraná pouze infiltrací, ventilací okny nebo provětráváním okny. Z grafu lze vypořadovat i zvýšenou přítomnost osob v domácnosti od 11. 1. do 14. 1. V tab. 8.12 je maximální hodnota koncentrace CO₂, která dosáhla 1642 ppm, a průměrná koncentrace, která byla 805 ppm.



Obr. 8.25 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 8.

Z tab. 8.12 je patrné, že teplota kolísala mezi 15,3 až 25,7 °C a průměrná teplota byla 21,4 °C. Mezi relativní vlhkostí a teplotou je v grafu na obr. 8.25 vidět závislost v poklesu a stoupání relativní vlhkosti. Když teplota stoupala (otopný systém topil), klesala relativní vlhkost vlivem vysoušení vzduchu, naopak když teplota klesala, relativní vlhkost vzduchu stoupala. Teplota 15,3 °C je nízká a nejspíš jí bylo dosaženo zapomenutým otevřeným oknem během větrání. Teplota 25,7 °C může být zvýšena v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy.



Obr. 8.26 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $PM_{2,5}$ u respondenta č. 8.

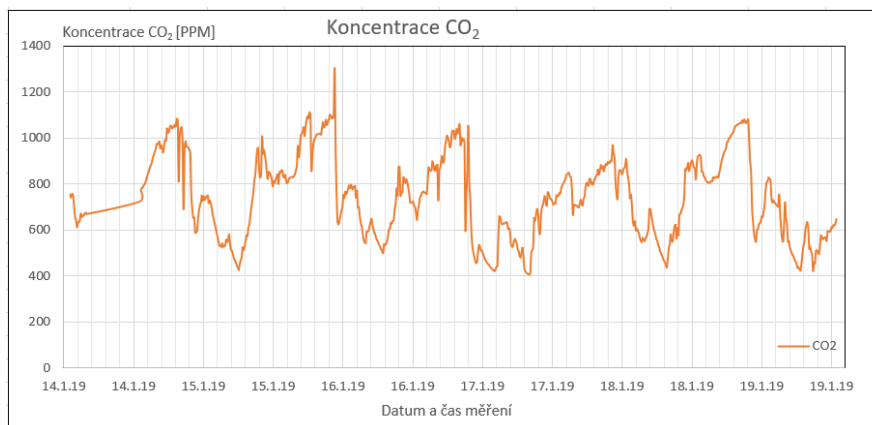
Na grafu z obr. 8.26 jsou průběhy koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace prachu. V tab. 8.12 je vidět nejvyšší hmotnostní koncentrace prachu, která byla $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na grafu je vidět, že hmotnostní koncentrace prachu nepřekročila doporučenou hodnotu podle tab. 6.4 z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ta byla nejspíše dosažena svíčkou, cigaretovým kouřem, kamny nebo vnějším vnikem prachu z vnějšího prostředí. Průměrná koncentrace prachu během měření byla $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentrace VOC je v rozmezí doporučených hodnot z vyhlášky č. 6/2003 Ministerstva zdravotnictví viz tab. 6.3.

8.5.9 Respondent č. 9

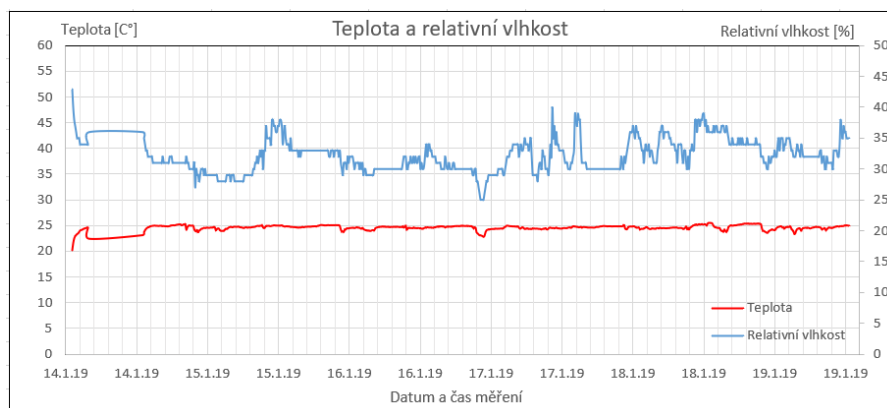
Pro respondenta č. 9, v místě měření Praha 7, jsou v tab. 8.13 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $PM_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 14. 01. 2020 10:40 až 19. 01. 2020 22:30.

Tab. 8.13 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 9.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	18,1	24,7	25,6
Relativní vlhkost	[%]	25	32,1	48
CO ₂	[ppm]	404	740	1300
VOC	[mg/m ³]	0	9	17,6
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	13,6	51

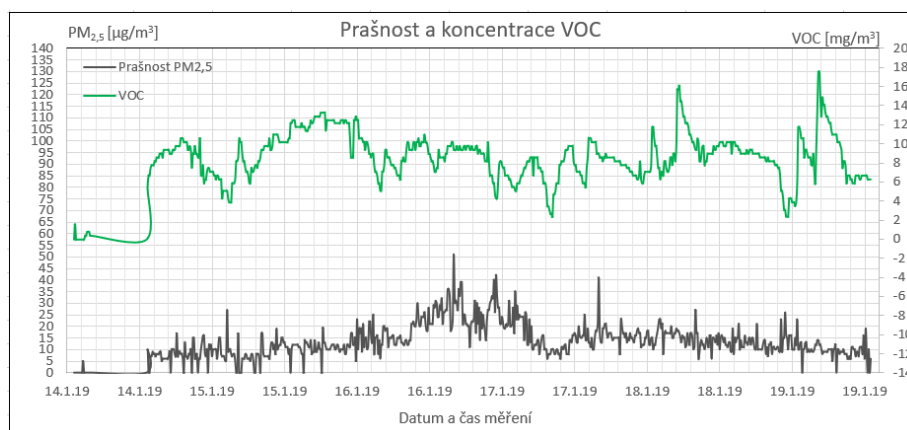
Obr. 8.27 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 9.

Jedná se o dům, který obývají 4 osoby. Všechny osoby v domě průměrně tráví 12 hodin. V domě se větrá otevřenými okny a okna jsou méně těsná a plastová. Z grafu na obr. 8.27 je vidět závislost koncentrace CO₂ na obsazenosti osobami. Průměrná koncentrace CO₂ z tab. 8.13 se držela v doporučených hodnotách <1500 ppm, viz tab. 6.2. Zajímavé je, že i při plné obsazenosti domu nebyly měřeny vysoké koncentrace CO₂. Evidentně respondenti doma často větrají a zároveň napomáhá přirozené větrání netěsnostmi oken. Další možností je, že se v místnosti umístění měřicího zařízení nenacházely všechny čtyři osoby zároveň nebo se zde dlouho nezdržovaly.



Obr. 8.28 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 9.

V bytě se vytápí na 22 °C, teplota v bytě podle tab. 8.13 je o dva stupně vyšší, než uvádí respondent, a kolísá mezi 18 až 25,6 °C. Kolísání teploty bude způsobeno netěsností oken budovy a nezateplením samotné budovy. Zároveň ke klasickému vytápění otopnou soustavou se v domě přitápí pomocí kamen s uzavřeným ohništěm, které způsobuje zvyšování teploty až na uvedených 25,6 °C. Tato teplota může být zvýšena i v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Relativní vlhkost v domě podle tab. 8.10 je v rozmezí 25 až 48 %, což podle tab. 6.1 není v doporučeném rozmezí a může způsobovat vysušování sliznice a problémy s dýcháním. Nízká relativní vlhkost je v důsledku vysušování vzduchu od vytápění otopnou soustavou a kamny. Nicméně respondent nemá v bytě pocit suchého vzduchu.



Obr. 8.29 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $PM_{2,5}$ u respondenta č. 9.

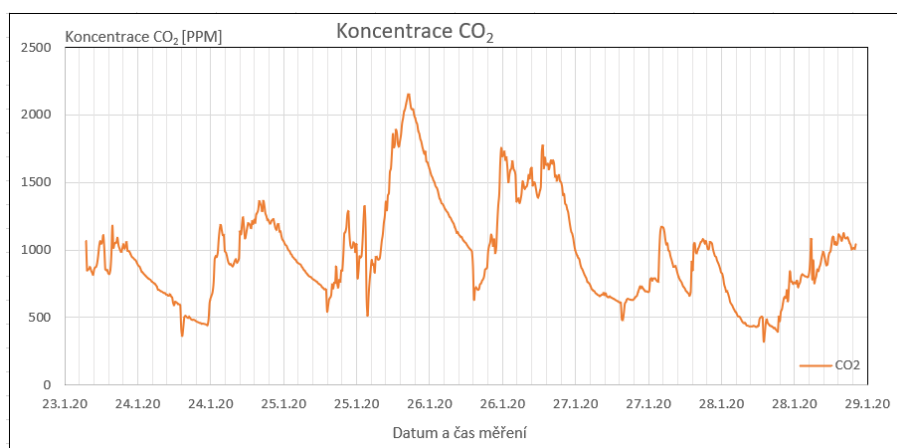
Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.13 je $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a maximální hodnota je $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nicméně podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tato norma nebyla po celou dobu měření překročena i přesto, že se v bytě topí kamny s uzavřeným ohništěm, viz graf obr. 8.29. Z grafu je patrné, že se v kamnech za celou dobu měření nejspíš netopilo. Prašnost v bytě byla zvyšována v důsledku větrání bytu otevřenými okny, protože se byt nachází na frekventované pražské ulici. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí. Koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.3.

8.5.10 Respondent č. 10

Pro respondenta č. 10, v místě měření Návsi, jsou v tab. 8.14 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 23. 01. 2020 15:30 až 28. 01. 2020 22:10.

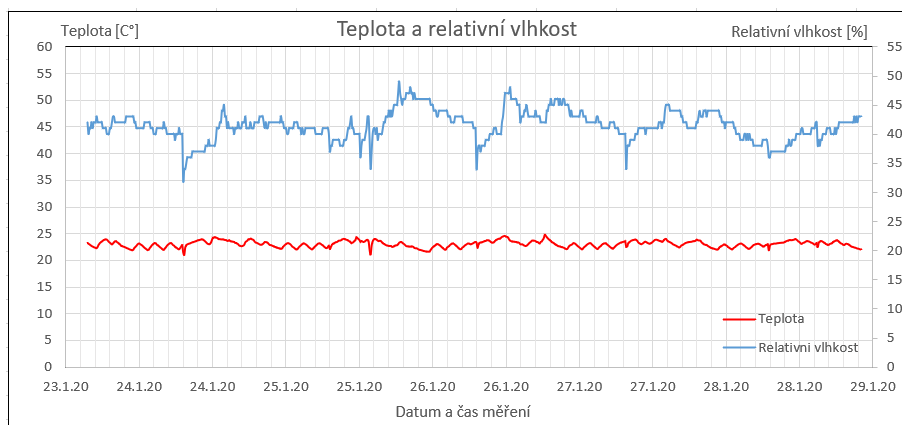
Tab. 8.14 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 10.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	21	23	24,8
Relativní vlhkost	[%]	32	41,4	49
CO ₂	[ppm]	325	979	2156
VOC	[mg/m ³]	0	9	19,2
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	10,58	96



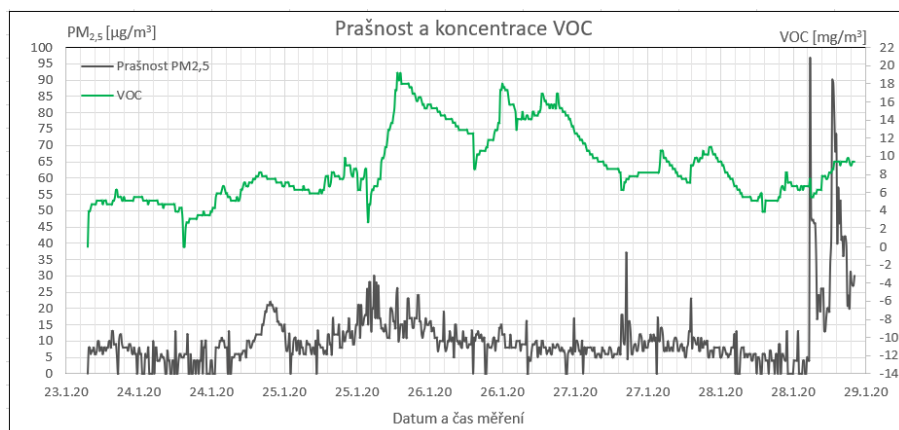
Obr. 8.30 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 10.

Jedná se o dům, který obývá 5 osob. Všechny osoby v domě průměrně tráví 15 hodin. V domě se větrá otevřenými okny a okna jsou těsná a plastová. Z grafu na obr. 8.30 je vidět závislost koncentrace CO₂ na obsazenosti osobami. Koncentrace CO₂ z tab. 8.14 několikrát překročila doporučenou koncentraci <1500 ppm, viz tab. 6.2. Nejvyšší koncentrace CO₂ bylo dosaženo v neděli 26. 1., a to 2156 ppm.



Obr. 8.31 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 10.

V bytě se vytápí na 22 °C, teplota je v bytě podle tab. 8.14 o jeden stupeň vyšší, než uvádí respondent, a kolísá mezi 21 až 24,8 °C. Jedná se o zateplený dům s těsnou obálkou a těsnými okny, tudíž kolísání teploty je nejspíš způsobeno pomalou odezvou otopné soustavy. Relativní vlhkost v domě podle tab. 8.14 je v rozmezí 32 až 49 %, což podle tab. 6.1 v není v doporučeném rozmezí. Respondent nemá v bytě pocit suchého vzduchu.



Obr. 8.32 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 10.

Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.14 je 10,6 µg/m³. Maximální hmotnostní koncentrace je v období 28.1. až 29.1., viz graf z obr. 8.32, 96 µg/m³, ale nepřesáhla hodinovou koncentraci stanovenou normou podle tab. 6.4 vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³. V domě nejsou kamna, nekouří se ani se nepoužívají svíčky, tudíž prašnost byla zvýšena buď v důsledku větrání bytu otevřenými okny, nebo činností samotných respondentů. Dům se nachází ve středně znečištěném prostředí se

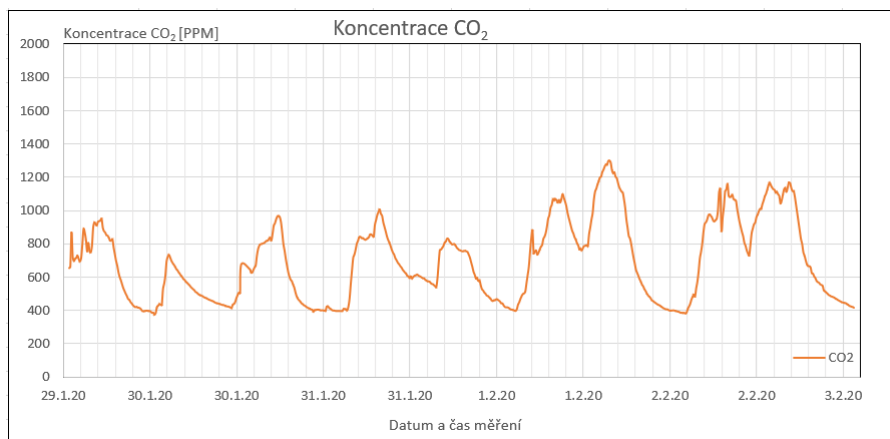
sousedy, kteří topí pevnými palivy. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí, zvláště v období 25. 1. až 27. 1., kdy se koncentrace prudce zvýšila, takové zvýšení koncentrace může mít za následek silně neparfémovaná osoba nebo použití jiných vonných nebo čisticích prostředků. Přesto koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.3.

8.5.11 Respondent č. 11

Pro respondenta č. 11, v místě měření Týn nad Bečvou, jsou v tab. 8.15 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 29. 01. 2020 17:40 až 03. 02. 2020 06:30.

Tab. 8.15 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 11.

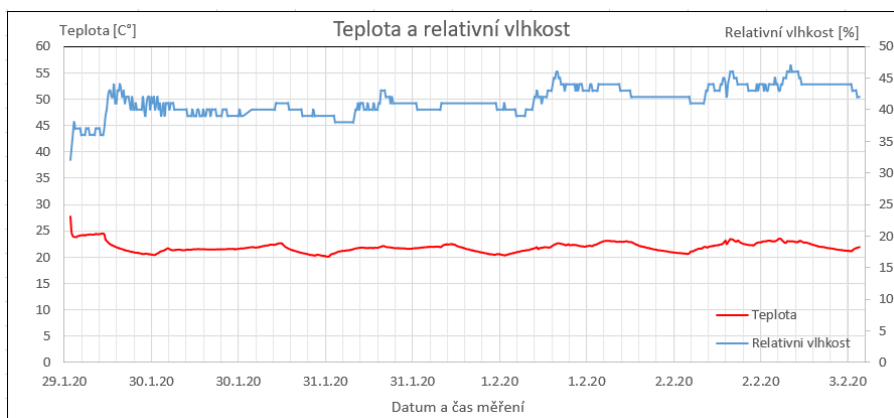
	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	20,2	21,9	27,7
Relativní vlhkost	[%]	32	41,4	47
CO ₂	[ppm]	372	692	1299
VOC	[mg/m ³]	0	7	12,5
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	2,2	21



Obr. 8.33 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 11.

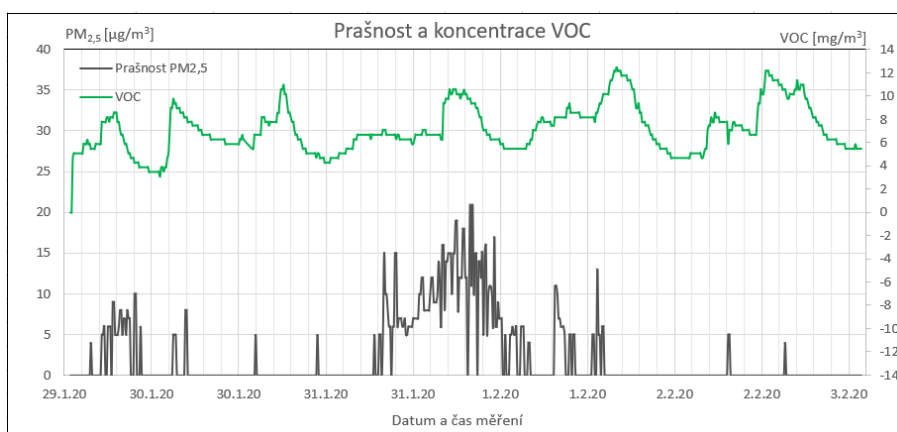
Jedná se o dům, který obývají 4 osoby. Všechny osoby v domě průměrně tráví 12 hodin. V domě se větrá otevřenými okny a okna jsou méně těsná a plastová. Z grafu na obr. 8.33 je vidět závislost koncentrace CO₂ na obsazenosti osobami. Koncentrace CO₂ z tab. 8.14 nepřekročila doporučenou koncentraci <1500 ppm, viz tab. 6.2. Nejvyšší koncentrace CO₂ bylo dosaženo 1299 ppm. Zajímavé je, že i při plné obsazenosti domu nebyly měřeny

vysoké koncentrace CO_2 . Evidentně respondenti doma často větrají a zároveň napomáhá přirozené větrání netěsnostmi okna. Další možností je, že se v místnosti umístění měřícího zařízení nenacházely všechny čtyři osoby zároveň nebo se zde dlouho nezdržovaly.



Obr. 8.34 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 11.

V bytě se vytápí na 21 °C, teplota v bytě podle tab. 8.15 se pohybovala okolo 22 °C a kolísala mezi 20 až 27,7 °C. Zároveň ke klasickému vytápění otopnou soustavou se v domě přitápí pomocí kamen s uzavřeným ohništěm, které způsobuje zvyšování teploty až na 27,7 °C. Tato teplota může být zvýšena i v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Relativní vlhkost v domě je podle tab. 8.15 v rozmezí 32 až 47 %, což podle tab. 6.1 není v doporučeném rozmezí. Nízká relativní vlhkost je v důsledku vysušování vzduchu od vytápění otopnou soustavou a kamny. Respondent uvedl, že nemá v bytě pocit suchého vzduchu.



Obr. 8.35 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $\text{PM}_{2,5}$ u respondenta č. 11.

Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.15 je $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a maximální hmotnostní koncentrace je $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace vyšší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $\text{PM}_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i přesto, že se v domě topí kamny. Dům se nachází v čisté lokalitě. Na grafu z obr. 8.35 je vidět průběh koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí. Koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.4.

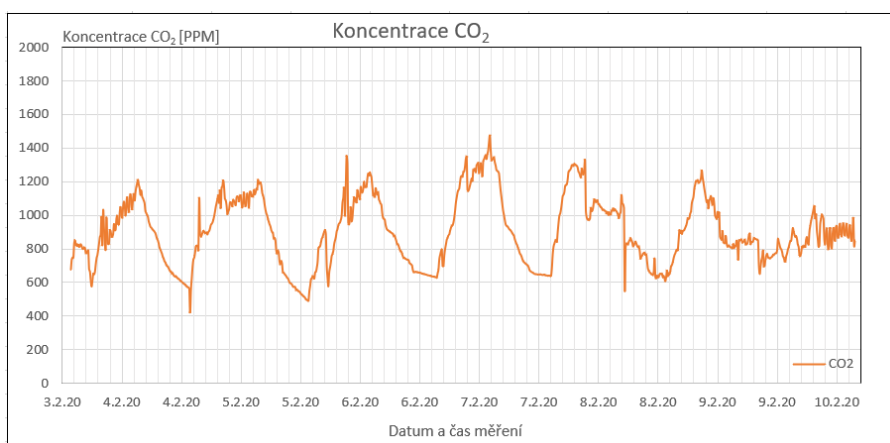
8.5.12 Respondent č. 12

Pro respondenta č. 12, v místě měření neznámém, jsou v tab. 8.16 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $\text{PM}_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 03. 02. 2020 16:10 až 10. 02. 2020 06:00.

Tento respondent nevyplnil doplňující technický dotazník.

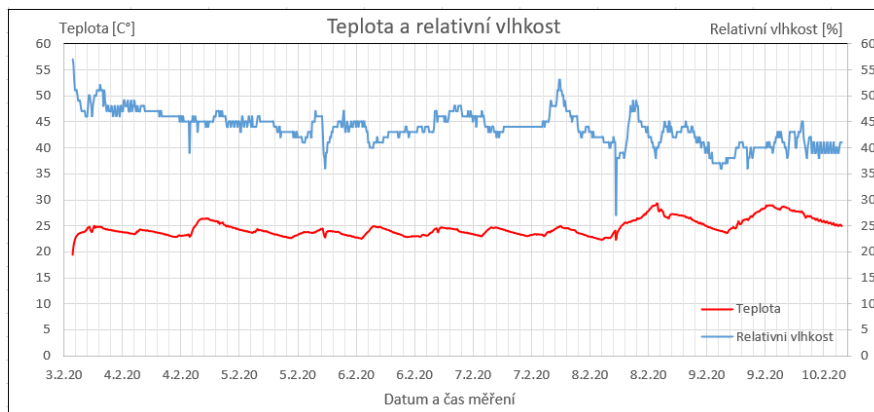
Tab. 8.16 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 12.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	19,4	24,6	29,2
Relativní vlhkost	[%]	27	43,8	57
CO_2	[ppm]	423	903	1475
VOC	[mg/m ³]	0	9	16,1
$\text{PM}_{2,5}$	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	11	60



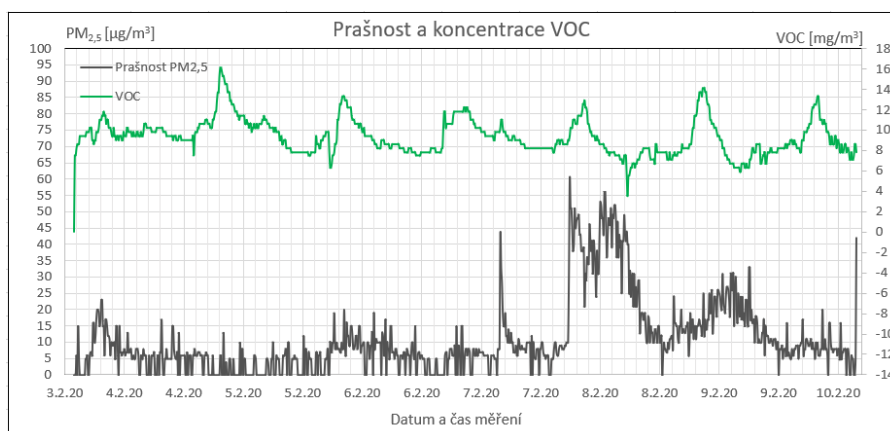
Obr. 8.36 Graf průběhu koncentrace CO_2 u respondenta č. 12.

Koncentrace CO_2 z tab. 8.16 nepřekročila doporučenou koncentraci <1500 ppm, viz tab. 6.2. Nejvyšší koncentrace CO_2 bylo dosaženo 1475 ppm. Na grafu z obr. 8.36 je průběh koncentrace CO_2 během celého měření. V období 9. 2. až 10. 2. je vidět snížená koncentrace CO_2 nejspíš v důsledku menšího počtu osob v domácnosti. Z předchozích vyhodnocení lze usuzovat, že v této domácnosti se pohybuje okolo tří osob.



Obr. 8.37 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 12.

Z tab. 8.16 je patrné, že teplota kolísala mezi 19,4 až 29,2 °C a průměrná teplota byla 24,6 °C. Na grafu z obr. 8.37 je vidět průběh teploty a relativní vlhkosti během měření. Z vysoké dosažené teploty 29,2 °C lze předpokládat, že v domě nebo bytě se přitápí nebo topí pomocí kamen nebo tato teplota může být zvýšena v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Dále se dá předpokládat, že dům nebo byt má vyšší tepelné ztráty, tudíž nebude zateplený a bude mít méně těsná okna. Relativní vlhkost se pohybuje v rozmezí 27 až 57 %. Mezi teplotou a relativní vlhkostí lze pozorovat závislost, kdy od 7. 2. docházelo k zvyšování teploty v měřené místnosti, a tudíž k poklesu relativní vlhkosti. Tento jev byl pravděpodobně způsoben topením v kamnech nebo jiným topným zdrojem.



Obr. 8.38 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce $\text{PM}_{2,5}$ u respondenta č. 12.

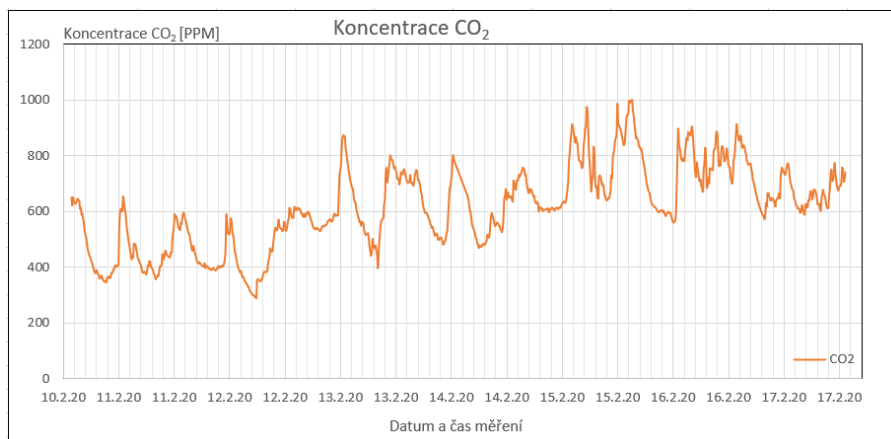
Na grafu z obr. 8.38 jsou průběhy koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace prachu. Podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ je $<80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Od 7. 2. je na grafu vidět zvýšená hmotnostní koncentrace prachu, nejspíše v důsledku přitápění kamny. Tento jev lze vidět již na grafu z obr. 8.37, kde v tuto dobu stoupá výrazně teplota. Z tab. 8.16 je vidět nejvyšší hmotnostní koncentrace prachu, která byla $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Průměrná koncentrace prachu během měření byla $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentrace VOC se po celou dobu měření pohybovala ve skoro stejné míře. Koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.4. Zároveň koncentrace VOC vykazuje jistou pravidelnost, která mohla být způsobena používáním vonné svíčky nebo jiných běžných aromatických prostředků používaných v domácnostech.

8.5.13 Respondent č. 13

Pro respondenta č. 13, v místě měření Štítina, jsou v tab. 8.17 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $PM_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 10. 02. 2020 21:00 až 17. 02. 2020 20:30.

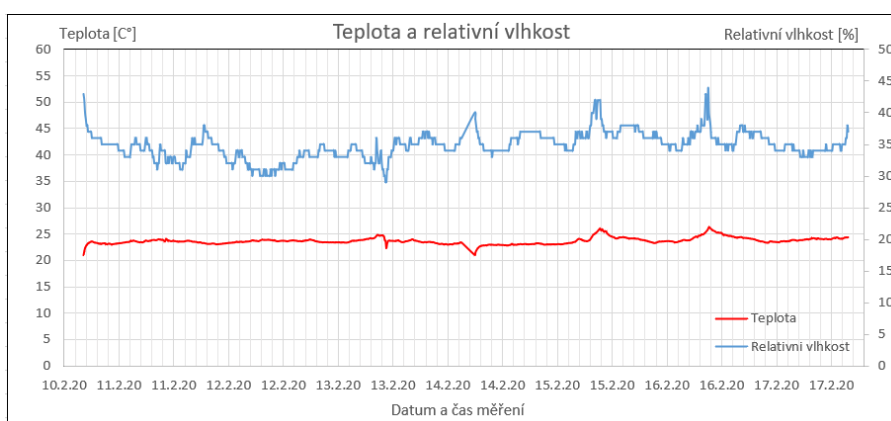
Tab. 8.17 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 13.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	20,9	23,7	26,4
Relativní vlhkost	[%]	29	34,8	44
CO_2	[ppm]	289	611	998
VOC	[mg/m3]	0	4	12,9
$PM_{2,5}$	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	1,1	33



Obr. 8.39 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 13.

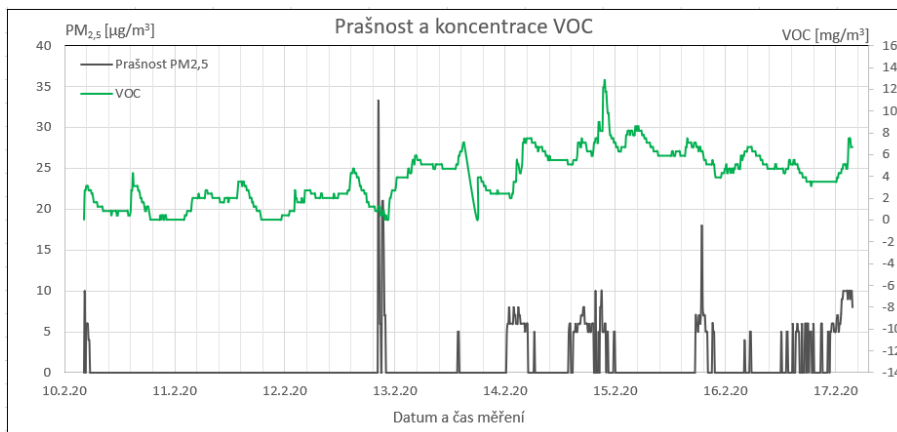
Z dotazníku je patrné, že v domě bydlí 4 osoby, z nichž 3 tráví v průměru 12 hodin a jedna 7-8 hodin denního času v domě. Zároveň víme, že se jedná o zateplený, těsný starší dům s těsnými dřevěnými okny. Jako typ větrání je uvedené nucené větrání. Z grafu na obr. 8.39 a tab. 8.17 je vidět, že koncentrace CO₂ klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z dotazníku a je patrná zvýšená koncentrace během víkendů. Podle tab. 6.2 z kapitoly 6 se průměrná hodnota CO₂ drží v doporučených hodnotách <1500 ppm. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ byla 998 ppm, které se dosáhlo za plné obsazenosti domu. Oproti předešlým respondentům je vidět velký vliv nuceného větrání. Jedná se o domy se stejnými vlastnostmi na těsnost obálky a obsazenost. Nicméně koncentrace CO₂ jsou výrazně nižší. Tudíž je patrný vliv nuceného větrání na koncentraci CO₂.



Obr. 8.40 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 13.

Z tab. 8.17 je patrné, že teplota kolísala mezi 20,9 až 26,4 °C a průměrná teplota byla 23,7 °C, ta je skoro o 2 °C vyšší, než respondent uvádí. V domě se vytápí jak otopnou

soustavou, tak pomocí kamen s uzavřeným ohništěm, které způsobuje zvyšování teploty až na 26,4 °C. Tato teplota může být zvýšena i v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Na grafu z obr. 8.40 je vidět průběh teploty a relativní vlhkosti během měření. Relativní vlhkost se pohybuje v rozmezí 29 až 44 %. Respondent uvedl, že vzduch při vytápění zvlhčuje a má pocit suchého vzduchu. I přes zvlhčování vzduchu v bytě jsou hodnoty relativní vlhkosti podobné jako u respondentů, kteří uvedli, že vzduch v domácnosti nezvlhčují.



Obr. 8.41 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 13.

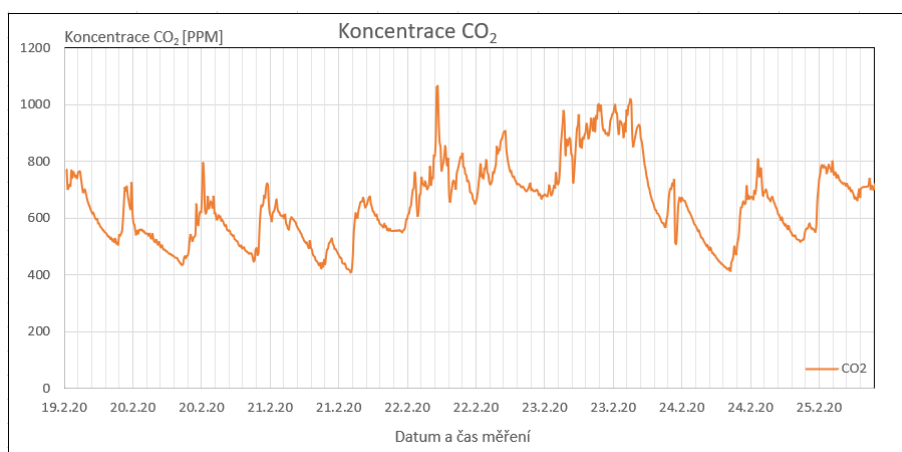
Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.17 je 1,1 µg/m³ a nejvyšší hmotnostní koncentrace prachu se dosáhlo 33 µg/m³. Podle tab. 6.4 je hmotnostní koncentrace nižší, než se uvádí ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb, kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³ i přesto, že se v domě topí kamny. Dům se nachází ve středně znečištěné lokalitě a v domácnosti se používají často svíčky. Z grafu na obr. 8.41 je vidět, že hmotnostní koncentrace prachových částic i přes topení v kamnech a používání svíček se drží na mnohem nižších koncentracích než u předchozích respondentů s kamny. Respondent uvedl, že v domácnosti používá čističku vzduchu. Ta v kombinaci s nuceným větráním udržuje hmotnostní koncentraci prachových částic a koncentraci VOC na nízkých hodnotách. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí a koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.4.

8.5.14 Respondent č. 14

Pro respondenta č. 14, v místě měření Kuřim, jsou v tab. 8.18 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 19. 02. 2020 19:40 až 25. 02. 2020 17:30.

Tab. 8.18 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 14.

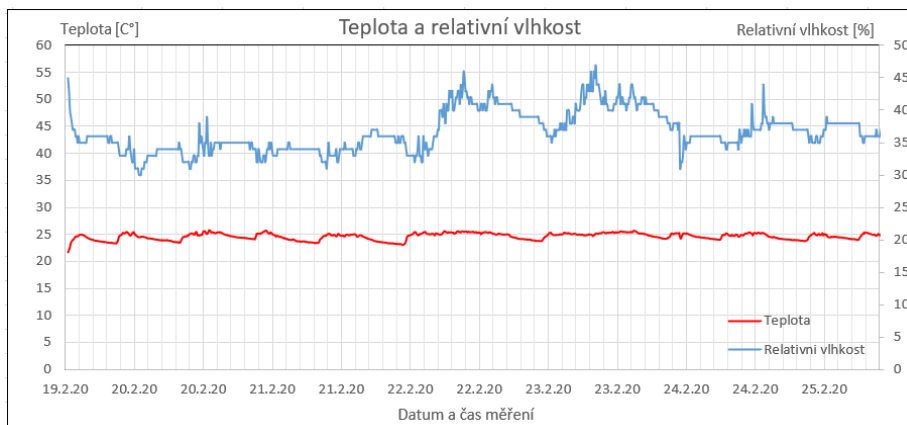
	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	21,7	24,6	25,7
Relativní vlhkost	[%]	30	36,7	47
CO ₂	[ppm]	410	651	1064
VOC	[mg/m ³]	0	7	10,2
PM _{2,5}	[μg/m ³]	0	0,05	6



Obr. 8.42 Graf průběhu koncentrace CO₂ u respondenta č. 14.

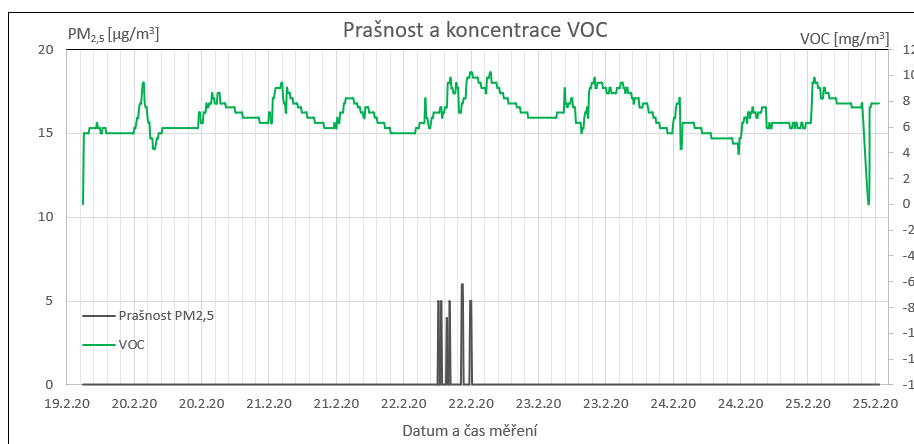
Z dotazníku je patrné, že v domě bydlí 4 osoby, z nichž 3 tráví v průměru 13 hodin a jedna 9-10 hodin denního času v domě. Zároveň víme, že se jedná o zateplený, těsný starší dům s těsnými dřevěnými okny. Jako typ větrání je uvedené větrání ventilací okny a provětráváním okny. Z grafu na obr. 8.42 a tab. 8.18 je vidět, že koncentrace CO₂ klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z dotazníku a je patrná zvýšená koncentrace během víkendu. Podle tab. 6.2 z kapitoly 6 se průměrná hodnota CO₂ drží v doporučených hodnotách <1500 ppm. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ byla 1064 ppm, které se dosáhlo za plné obsazenosti domu. I přesto, že se jedná o dům s podobnými vlastnostmi na těsnost obálky a obsazenost jako u některých předchozích respondentů, je o dost nižší koncentrace CO₂. Důvodem nižší koncentrace CO₂ bude nejspíš pravidelnější a intenzivnější přirozené větrání ventilací okny

a především provětráváním místnosti otevřenými okny. Roli může hrát i kratší doba strávená všemi čtyřmi osobami zároveň v místnosti, kde probíhalo měření.



Obr. 8.43 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 14.

Z tab. 8.18 je patrné, že teplota kolísala mezi 21,7 až 25,7 °C a průměrná teplota byla 24,6 °C. Respondent uvedl, že v domácnosti vytápí na 22 °C. Tato teplota je o 2,6 °C vyšší, než je uvedeno. V domě se topí otopnými tělesy. Z grafu na obr. 8.43, na křivce průběhu teploty, jsou vidět jednotlivé intervaly zatápění otopné soustavy, kdy v pravidelných intervalech teplota rychle stoupá a následně pozvolna klesá na teplotu, při které se znovu sepne vytápění otopnými tělesy. Teplota mohla být také ovlivňována v důsledku vnitřních zisků od vaření, žehlení nebo průchodem slunečního záření průsvitnými povrchy. Relativní vlhkost se pohybuje v rozmezí 30 až 47 %. V období 22. 2. až 24. 2. relativní vlhkost nabývá vyšší hodnoty než po zbytek průběhu měření. Tento nárůst vlhkosti může být způsobený přítomností osob vzhledem k tomu, že se jedná o víkend nebo vznikem vlhkosti z vaření, místnost je propojená s kuchyní.



Obr. 8.44 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 14.

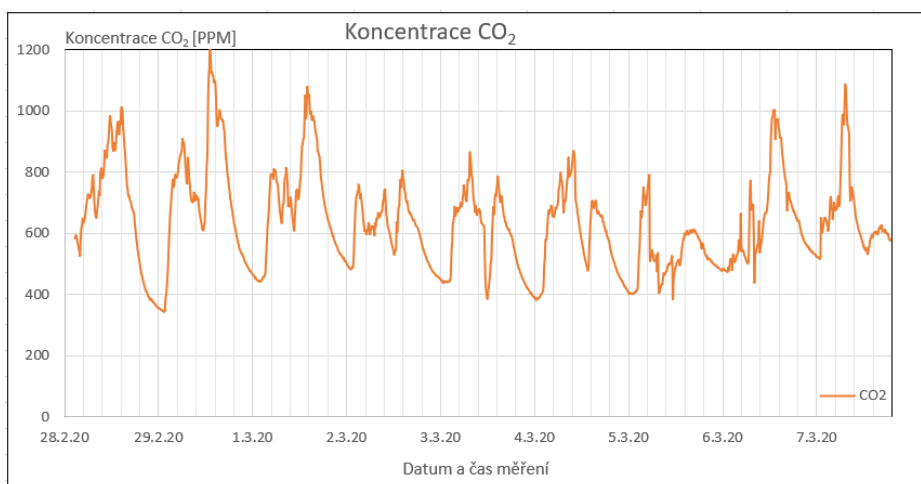
Dům se nachází v čisté lokalitě v zástavbě a průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.18 je $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a nejvyšší hmotnostní koncentrace prachu se dosáhlo $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tak nízké hmotnostní koncentrace prachových částic nebylo dosaženo během měření u žádného jiného respondenta. Na grafu z obr. 8.44 je vidět zvláštní průběh koncentrace prachových částic, kdy po převážnou dobu měření je hmotnostní koncentrace prachových částic $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a jen v krátkém rozmezí 22. 2. 12:30 až 22. 2. 15:00 se pohybuje kolem $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Z toho vyplývá, že buď vnitřní ovzduší domu opravdu obsahuje tak nízkou hmotnostní koncentraci prachových částic, nebo došlo k poruše záznamu dat z čidla prašnosti, což se jeví pravděpodobnější. U koncentrace VOC je vidět také nižší hodnoty než v předešlých případech, ale je patrné, že koncentrace VOC se po celou dobu měření měnila, a tudíž se dá považovat za odpovídající skutečnému stavu.

8.5.15 Respondent č. 15

Pro respondenta č. 15, v místě měření Moravské Bránice, jsou v tab. 8.19 minimální, maximální a průměrné hodnoty měřených vnitřních parametrů teploty, relativní vlhkosti, koncentrace CO_2 , VOC a hmotnostní koncentrace prachových částic frakce $\text{PM}_{2,5}$. Měření kvality vnitřního prostředí probíhalo v období 28. 02. 2020 07:20 až 07. 03. 2020 23:50.

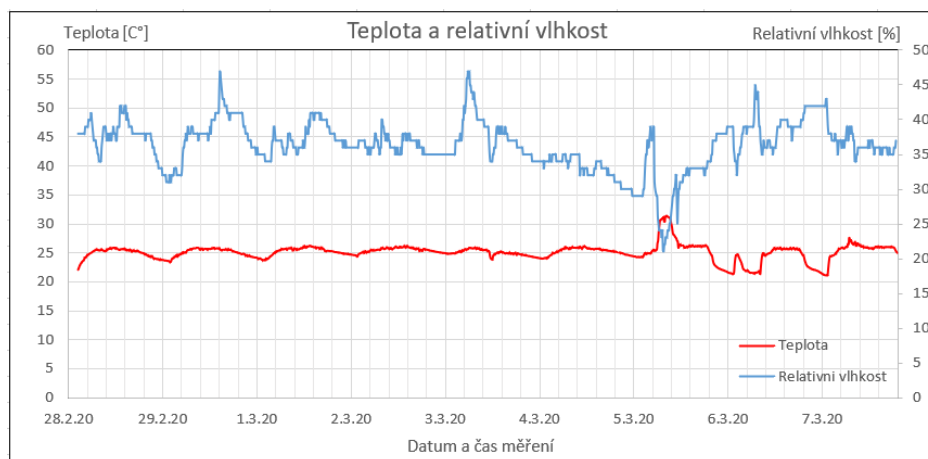
Tab. 8.19 Minimální, maximální a průměrné hodnoty měření u respondenta č. 15.

	jednotka	hodnota		
	[-]	min.	průměrná	max.
Teplota	[C°]	21	25,1	31,5
Relativní v	[%]	21	36,3	47
CO_2	[ppm]	343	633	1222
VOC	[mg/m3]	0	5	10,6
$\text{PM}_{2,5}$	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	4	168



Obr. 8.45 Graf průběhu koncentrace CO_2 u respondenta č. 15.

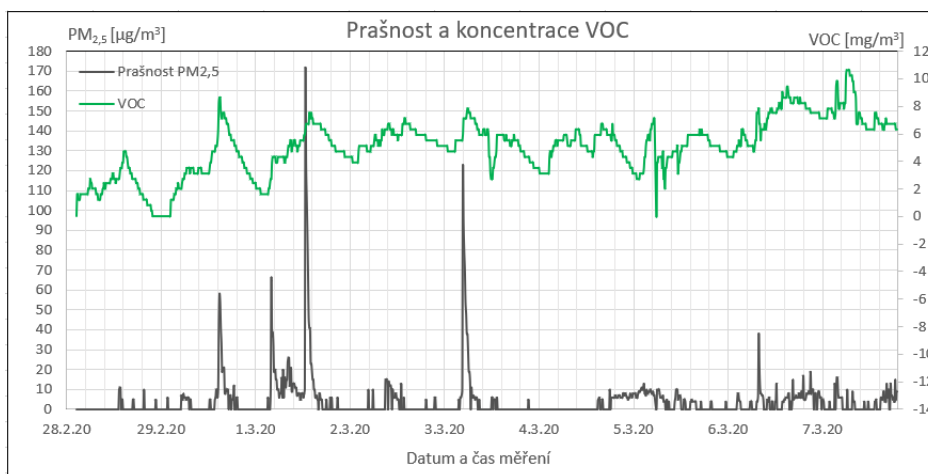
Z dotazníku je patrné, že v domě bydlí 4 osoby, z nichž 2 tráví v průměru 15 hodin a dvě 9-10 hodin denního času v domě. Jako typ větrání je uvedeno větrání otevřenými okny. Dům má plastová těsná okna a obálka budovy je také těsná. Z grafu na obr. 8.45 a tab. 8.19 je vidět, že koncentrace CO₂ klesá a stoupá podle obsazenosti domu zhruba podle denního harmonogramu z dotazníku. 29. 2. až 1. 3. je patrná zvýšená koncentrace CO₂ během víkendu. Podle tab. 6.2 v kapitole 6 průměrná hodnota CO₂ se drží v doporučených hodnotách <1500 ppm. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ byla 1222 ppm, které se dosáhlo za plné obsazenosti domu. I přesto, že se jedná o dům s podobnými vlastnostmi na těsnost obálky a obsazenost jako u některých předchozích respondentů, je o dost nižší koncentrace CO₂. Důvodem nižší koncentrace CO₂ bude nejspíš pravidelnější a intenzivnější větrání místnosti otevřenými okny. Roli může hrát i kratší doba strávená všech čtyř osob zároveň v místnosti, kde probíhalo měření.



Obr. 8.46 Graf průběhu teploty a relativní vlhkosti u respondenta č. 15.

Z tab. 8.19 je patrné, že teplota kolísala mezi 21 až 31,5 °C a průměrná teplota byla 25,5 °C. Respondent uvedl, že v domácnosti vytápí na 23 °C. Tato teplota je o 2,5 °C vyšší, než je uvedeno. V domě se topí otopnými tělesy. Z grafu na obr. 8.46 na křivce průběhu teploty je 5. 3. kolem 12:00 vidět prudký nárůst teploty až na 31,5 °C, nejspíš v důsledku přetopení místnosti vařením nebo pečením v kuchyni, která je s měřenou místností propojená, dále mohla být teplota zvýšená v důsledku slunečních zisků průsvitnými plochami. Této domněnce přispívá, že se jedná o dobře zateplenou novostavbu s těsnými a plastovými okny, tudíž dům nemá vysoké tepelné ztráty a vnitřní tepelné zdroje jsou schopny zvýšit výrazně vnitřní teplotu. Během víkendu 6. 3. až 8. 3. je vidět častější větrání otevřenými okny v domě, teplota v místnosti rychle klesala na nižší teploty než během předešlého průběhu měření v místnosti, kdy topná soustava začala topit dřív, než teplota klesla pod hodnotu 23 °C. Relativní vlhkost se pohybuje

v rozmezí 21 až 47 %. Z grafu na obr. 8.46 je možné z křivky průběhu relativní vlhkosti pozorovat snižování a zvyšování relativní vlhkosti v důsledku snížení nebo zvýšení teploty v místnosti.



Obr. 8.47 Graf průběhu koncentrace VOC a hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u respondenta č. 15.

Průměrná hmotnostní koncentrace prachových částic z tab. 8.19 je 4 µg/m³ a nejvyšší hmotnostní koncentrace prachu dosáhla 168 µg/m³, podle tab. 6.4 nepřesáhla hodinovou koncentraci stanovenou ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., kde doporučená hodnota hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} je <80 µg/m³. Dům se nachází ve středně znečištěné lokalitě, kde v okolí topí soused pevnými palivy. Z grafu na obr. 8.47 je vidět, že hmotnostní koncentrace prachových částic v období 1. 3. až 3. 3. prudce stoupla a následně klesla. Rychlé klesání koncentrace prachu je v důsledku použití domácí čističky vzduchu. U koncentrace VOC je vidět návaznost na přítomnost lidí a koncentrace VOC nepřekračuje doporučenou normu z vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, viz tab. 6.4.

8.6 Celkové vyhodnocení měření

V tab. 8.20 jsou průměrné hodnoty teploty, relativní vlhkosti, CO₂, VOC, PM_{2,5} pro všechna měření. V tab. 8.21 jsou maximální hodnoty teploty, relativní vlhkosti, CO₂, VOC, PM_{2,5} pro všechna měření. V tab. 8.22 jsou minimální hodnoty teploty, relativní vlhkosti, CO₂, VOC, PM_{2,5} pro všechna měření. V tab. 8.23 jsou uvedeny vybrané technické vlastnosti budov, které vyplnili respondenti v dotazníku. Zpracování a vyhodnocení všech naměřených dat je v příloze č. 4.

Tab. 8.20 Průměrné hodnoty naměřených dat u všech respondentů.

č. měření	teplota	rl. vlhkost	CO ₂	VOC	PM _{2,5}
[-]	[C°]	[%]	[ppm]	[%]	[μg/m ³]
Průměrná hodnota					
Respondent č.1	23,10	51,5	1102	11,6	13,3
Respondent č.2	20,41	53,2	694	9,8	11,5
Respondent č.3	23,58	37,3	712	5,9	3,5
Respondent č.4	24,29	39,3	715	5,4	2,7
Respondent č.5	23,45	52	1074	7,8	17,2
Respondent č.6	25,03	37	796	11,0	15,6
Respondent č.7	23,51	41,5	930	9,3	4,4
Respondent č.8	21,45	43,1	805	7,5	2,8
Respondent č.9	24,65	32,1	740	8,6	13,6
Respondent č.10	23,02	41,4	979	8,8	10,6
Respondent č.11	21,91	41,4	692	7,2	2,2
Respondent č.12	24,57	43,8	903	9,3	11
Respondent č.13	23,71	34,8	611	3,8	1,1
Respondent č.14	24,57	36,7	651	7,0	0,05
Respondent č.15	25,10	36,3	633	5,0	4

Tab. 8.21 Maximální hodnoty naměřených dat u všech respondentů.

č. měření	teplota	rl. vlhkost	CO ₂	VOC	PM _{2,5}
[-]	[C°]	[%]	[ppm]	[%]	[μg/m ³]
Maximální hodnota					
Respondent č.1	27,24	59	1717,76	17,3	79
Respondent č.2	21,34	60	1250,56	18	101,04
Respondent č.3	26,28	56	1194,88	11	136
Respondent č.4	26,1	49	1081,6	8,6	16
Respondent č.5	26,76	59	2146,56	13,7	500,16
Respondent č.6	27,1	43	1158,4	19,2	70
Respondent č.7	25,18	56	2027,52	15,3	135,04
Respondent č.8	25,66	50	1642,24	14,1	80
Respondent č.9	25,56	48	1300,48	17,6	51
Respondent č.10	24,76	49	2155,52	19,2	96
Respondent č.11	27,7	47	1298,56	12,5	21
Respondent č.12	29,22	57	1474,56	16,1	60
Respondent č.13	26,4	44	997,76	12,9	33
Respondent č.14	25,7	47	1063,68	10,2	6
Respondent č.15	31,5	47	1222,4	10,6	168

Tab. 8.22 Minimální hodnoty naměřených dat u všech respondentů.

č. měření	teplota	rl. vlhkost	CO ₂	VOC	PM _{2,5}
[-]	[C°]	[%]	[ppm]	[%]	[μg/m ³]
Minimální hodnota					
Respondent č.1	20,08	30	396,8	0	0
Respondent č.2	17,24	44	411,84	2,7	0
Respondent č.3	19,12	31	406,72	1,6	0
Respondent č.4	20,24	34	357,76	0	0
Respondent č.5	20,22	42	406,72	2,7	0
Respondent č.6	21,26	0	324,96	0	0
Respondent č.7	19,88	22	405,76	2,7	0
Respondent č.8	15,34	37	425,92	0	0
Respondent č.9	18,06	25	403,84	0	0
Respondent č.10	21	32	324,96	0	0
Respondent č.11	20,16	32	371,84	0	0
Respondent č.12	19,4	27	422,72	0	0
Respondent č.13	20,88	29	288,96	0	0
Respondent č.14	21,7	30	409,92	0	0
Respondent č.15	21,04	21	342,72	0	0

Tab. 8.23 Vybrané technické vlastnosti budov z technického dotazníku.

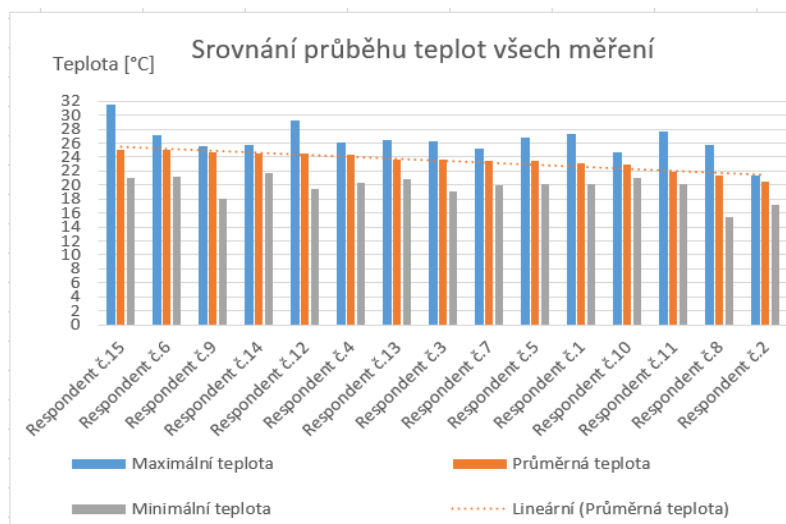
	počet os.	typ. obal.	zatepleni	typ budovy	typ oken	větrani	krb	vytápění	lokalita	svíčky	čistička
Respondent č.1	4	těsná	zateplená	dům rekonstrukce	plastová	okny	ano	podlahové	středně	ne	ne
Respondent č.2	2	těsná	zateplená	dům rekonstrukce	dřevěná	okny	ne	OT	středně	ano	ne
Respondent č.3	4	těsná	zateplená	novostavba	plastová	nucené	ano	OT	čistá	ne	ne
Respondent č.4	1	těsná	zateplená	byť rekonstrukce	plastová	okny	ne	OT	středně	ne	ne
Respondent č.5	3	těsná	nezatepel	starší 10 let	plastová	okny	ne	OT	středně	ne	ne
Respondent č.6	4	těsná	nezatepel	starší 10 let	mín. plast.	okny	ano	OT	středně	ano	ne
Respondent č.7	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno
Respondent č.8	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno
Respondent č.9	4	min. těs.	nezatepel	dům rekonstrukce	mín. plast.	okny	ano	OT	středně	ne	ne
Respondent č.10	5	těsná	zateplená	starší 10 let	plastová	okny	ne	OT	středně	ne	ne
Respondent č.11	4	těsná	zateplená	dům rekonstrukce	mín. plast.	okny	ano	OT	čistá	ne	ne
Respondent č.12	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno	neudáno
Respondent č.13	4	těsná	zateplená	starší 10 let	dřevěná	nucené	ano	OT	středně	ano	ne
Respondent č.14	4	těsná	zateplená	starší 10 let	dřevěná	okny	ne	OT	čistá	ne	ne
Respondent č.15	4	těsná	nezatepel	dům rekonstrukce	plastová	okny	ne	OT	středně	ne	ne

8.6.1 Vyhodnocení průběhu teplot

Vyhodnocení podobnosti průběhu teploty u respondentů je v příloze č. 5.

Tab. 8.24 Maximální, průměrná a minimální teplota u všech měření.

Teplota			
č. měření	Max.	Průměr	Min.
[-]	[C°]	[C°]	[C°]
Respondent č.15	31,5	25,10	21,04
Respondent č.6	27,1	25,03	21,26
Respondent č.9	25,56	24,65	18,06
Respondent č.14	25,7	24,57	21,7
Respondent č.12	29,22	24,57	19,4
Respondent č.4	26,1	24,29	20,24
Respondent č.13	26,4	23,71	20,88
Respondent č.3	26,28	23,58	19,12
Respondent č.7	25,18	23,51	19,88
Respondent č.5	26,76	23,45	20,22
Respondent č.1	27,24	23,10	20,08
Respondent č.10	24,76	23,02	21
Respondent č.11	27,7	21,91	20,16
Respondent č.8	25,66	21,45	15,34
Respondent č.2	21,34	20,41	17,24



Obr. 8.48 Graf s průběhem teplot u všech měření.

V tab. 8.24 jsou maximální, průměrná a minimální teplota všech měření a barevně vyznačené průměrné teploty s podobnou teplotou během měření. Na obr. 8.48 je sloupcový graf s vnesenými maximálními, průměrnými a minimálními teplotami pro všechny respondenty.

Žlutě vyznačení respondenti č. 15 a 6 uvedli, že vytápí v domě na 23 °C. V obou případech se jedná o starší nezateplené budovy s plastovými okny, kde topí otopnými tělesy. U respondenta č. 6 se topí navíc v krbu.

Oranžově vyznačení respondenti č. 9, 14, 12 a 4 uvedli, že vytápí na teplotu mezi 22 až 23 °C. Ve všech případech se jedná o zateplené budovy s plastovými nebo dřevěnými těsnými okny. Respondent č. 9 kromě vytápění otopnou soustavou topí v kamnech.

Zeleně vyznačení respondenti č. 13, 3, 7, 5, 1 a 10 uvedli, že vytápí na teplotu 21 až 22 °C. Všichni respondenti kromě respondenta č. 5 mají zateplený dům/byt po rekonstrukci nebo nově postavený s těsnými plastovými nebo dřevěnými okny, jediný respondent č. 5 má starší nezateplený dům. Respondenti č. 1 a 3 topí podlahovým vytápěním a kamny, zbylí respondenti vytápí pouze pomocí otopné soustavy.

Modře vyznačení respondenti č. 11, 8 a 2 uvedli, že vytápí na 22 °C. Jedná se o těsné, zateplené domy po rekonstrukci s dřevěnými a plastovými okny. Vytápí se pomocí otopných těles a respondent č. 11 navíc topí pomocí kamen.

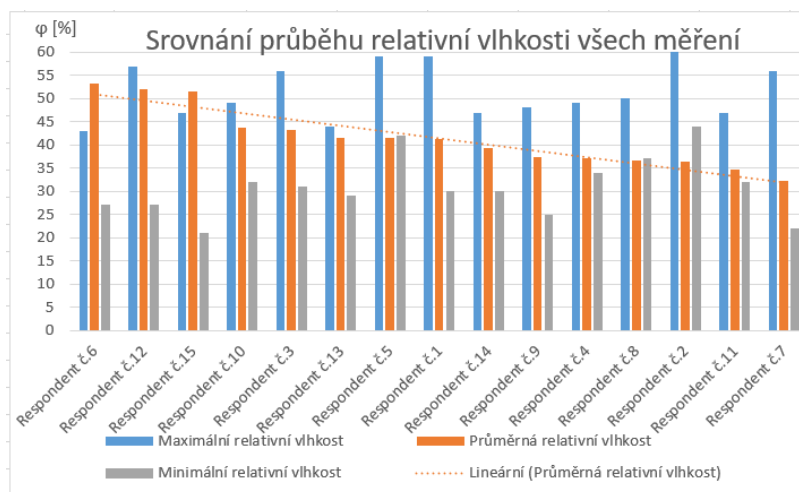
Z naměřených a vypracovaných dat vyplývá, že největší vliv na průběh teplot má, zdali je budova zateplená a má kvalitní těsná okna. Dále se dá říct, že pokud je starší budova po rekonstrukci a je zateplená s těsnými okny, má podobné vlastnosti jako nově postavené

domy. Velký vliv na průběh teplot má vytápění v kamnech, které způsobuje nadměrné zvyšování teplot v místnosti. Velký vliv na průběh teplot má i samotný zásah respondentů, kteří mohli během měření zvyšovat nebo snižovat teplotu vytápění podle svých potřeb. Z průměrných naměřených teplot vyplývá, že u žádného respondenta nebyla udržena požadovaná teplota na vytápění, to bylo nejspíš způsobeno nepřesným měřením čidla, které měří vyšší teplotu, než je ve skutečnosti. Ověření přesnosti čidla měřící teplotu by mělo být předmětem dalšího měření.

8.6.2 Vyhodnocení průběhu relativní vlhkosti

Tab. 8.25 Maximální, průměrná a minimální relativní vlhkost u všech měření.

č. měření	Relativní vlhkost		
	Max.	Průměrná	Min.
[-]	[%]	[%]	[%]
Respondent č.6	43	53,16	27
Respondent č.12	57	51,96	27
Respondent č.15	47	51,54	21
Respondent č.10	49	43,76	32
Respondent č.3	56	43,13	31
Respondent č.13	44	41,54	29
Respondent č.5	59	41,45	42
Respondent č.1	59	41,36	30
Respondent č.14	47	39,30	30
Respondent č.9	48	37,29	25
Respondent č.4	49	37,04	34
Respondent č.8	50	36,70	37
Respondent č.2	60	36,34	44
Respondent č.11	47	34,78	32
Respondent č.7	56	32,14	22



Obr. 8.49 Graf s průběhem relativní vlhkosti u všech měření.

Vyhodnocení podobnosti průběhu relativní vlhkosti u respondentů je v příloze č. 6.

V tab. 8.25 jsou maximální, průměrná a minimální relativní vlhkost všech měření a barevně vyznačené průměrná relativní vlhkost u respondentů s podobnou relativní vlhkostí během měření. Na obr. 8.48 je sloupcový graf s vynesenu maximální, průměrnou a minimální relativní vlhkostí pro všechny respondenty.

Žlutě vyznačení respondenti č. 6, 12 a 15 mají nejvyšší relativní vlhkost v domácnosti a podle normy z tab. 6.4 se blíží doporučeným hodnotám. Respondent č. 15 uvedl, že během otopného období má pocit suchého vzduchu, a vzduch v domácnosti proto zvlhčuje. Ostatní respondenti jsou s vlhkostí spokojení.

Oranžově vyznačení respondenti č. 10, 3, 13, 5 a 1 mají nižší relativní vlhkost v domácnosti, než je doporučená hodnota v normě z tab. 6.4, ale přesto se dá ještě brát za dostačující. Respondenti č. 10 a 3 uvedli, že vzduch v domácnosti nezvlhčují a s vlhkostí nejsou spokojení. Respondenti č. 5 a 1 uvedli, že vzduch v domácnosti nezvlhčují a s vlhkostí jsou spokojení. Respondent č. 3 uvedl, že má pocit suchého vzduchu, a v domácnosti proto vzduch zvlhčuje.

Zeleně vyznačení respondenti č. 14, 9, 4, 8, 2, 11 a 7 mají nízkou relativní vlhkost v domácnosti, než je dle doporučené hodnoty v normě z tab. 6.4 a bylo by třeba vlhkost vzduchu zvyšovat. Všichni respondenti uvedli, že nemají pocit vlhkého vzduchu, vzduch v domácnosti nezvlhčují a s vlhkostí vzduchu jsou spokojení.

Z naměřených a zpracovaných dat vyplývá, že zvlhčování vzduchu během otopného období má velký vliv na úroveň vlhkosti vzduchu. Zároveň je vidět, že i u respondentů,

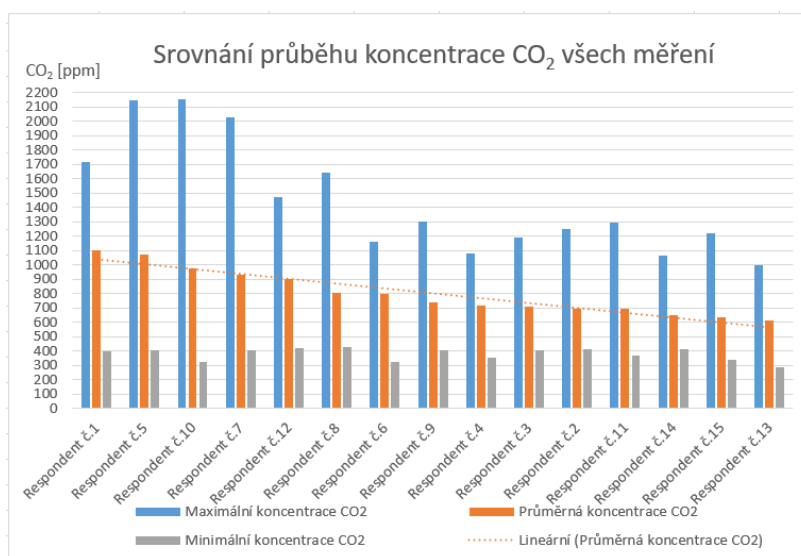
kteří v domácnosti vzduch nezvlhčovali, byla často přijatelná vlhkost vnitřního vzduchu. Tím se potvrzuje, že na vlhkost vzduchu v domácnosti má vliv i samotná přítomnost lidí, četnost vaření a větrání. U zeleně vyznačených respondentů je vidět, že vnímání vlhkosti je subjektivní pocit a i fakt, že tyto respondenti mají nízkou relativní vlhkost vzduchu v domácnosti, nepocítují suchý vzduch a nestěžují si na něj. Vliv má samotná metoda měření relativní vlhkosti, která udává poměrný vztah množství vodních par ve vzduchu při dané teplotě. Více vypovídající hodnotou by bylo měření měrné vlhkosti vzduchu, která udává poměr hmotnosti vodní páry a suchého vzduchu.

8.6.3 Vyhodnocení průběhu koncentrace CO₂

Vyhodnocení podobnosti průběhu koncentrace CO₂ u respondentů je v příloze č. 7.

Tab. 8.26 Maximální, průměrná a minimální koncentrace CO₂ u všech měření.

Koncentrace CO ₂			
č. měření	Max.	Průměrná	Min.
[-]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Respondent č.1	1717,76	1102	396,8
Respondent č.5	2146,56	1074	406,72
Respondent č.10	2155,52	979	324,96
Respondent č.7	2027,52	930	405,76
Respondent č.12	1474,56	903	422,72
Respondent č.8	1642,24	805	425,92
Respondent č.6	1158,4	796	324,96
Respondent č.9	1300,48	740	403,84
Respondent č.4	1081,6	715	357,76
Respondent č.3	1194,88	712	406,72
Respondent č.2	1250,56	694	411,84
Respondent č.11	1298,56	692	371,84
Respondent č.14	1063,68	651	409,92
Respondent č.15	1222,4	633	342,72
Respondent č.13	997,76	611	288,96



Obr. 8.50 Graf s průběhem koncentrace CO₂ u všech měření.

V tab. 8.26 jsou maximální, průměrná a minimální koncentrace CO₂ u všech měření a barevně vyznačené průměrná koncentrace CO₂ u respondentů s podobnou koncentrací CO₂ během měření. Na obr. 8.50 je sloupcový graf s vynesenu maximální, průměrnou a minimální koncentrací CO₂ pro všechny respondenty.

Žlutě vyznačení respondenti č. 1, 5, 10 a 12 přesáhli doporučenou hodnotu koncentrace CO₂, která je <1500 ppm. Zároveň tito respondenti mají nejvyšší průměrnou koncentraci CO₂. Společným rysem je počet osob obývajících domácnost, která se pohybuje od 5 do 3, jako způsob větrání používají okenní ventilaci nebo provětrávání okny a obálka budovy a okna jsou těsná.

Zeleně vyznačení respondenti č. 7, 8, 6, 9, 4, 2, 11, 14 a 15 nepřesáhli během měření doporučenou koncentraci CO₂, která je <1500 ppm. Počet osob obývajících tyto domácnosti je od 1 až po 4. Všechny domácnosti k větrání používají okenní ventilaci nebo provětrávání okny. Obálky budovy jsou těsné a okna jsou většinou méně těsná plastová nebo dřevěná.

Modře vyznačení respondenti č. 3 a 13 nepřesáhli během měření doporučenou koncentraci CO₂, která je <1500 ppm a mají jedny z nejnižších maximálních, průměrných a minimálních koncentrací CO₂. Obě domácnosti obývají 4 osoby a společnou vlastností těchto domácností je, že k větrání používají nucené větrání.

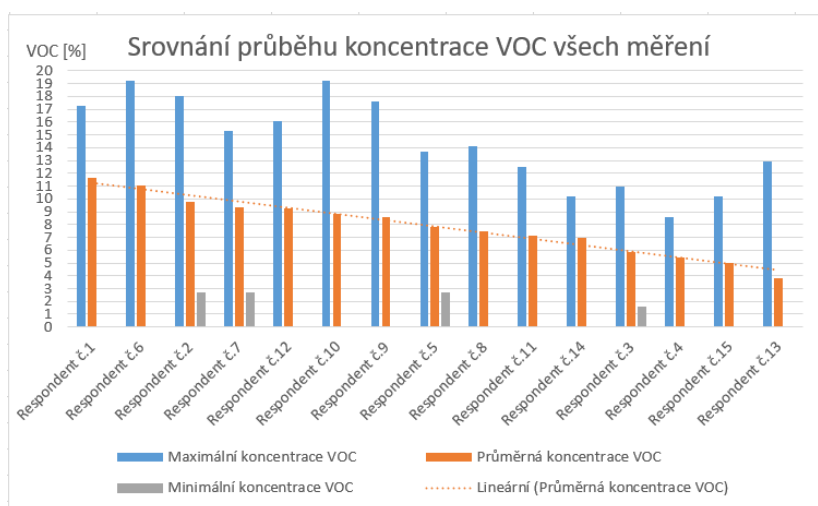
Z naměřených a vypracovaných dat vyplývá, že na koncentraci CO₂ má největší vliv počet osob nacházejících se v měřeném prostoru. Koncentraci CO₂ ovlivňuje způsob a intenzita větrání, kdy s použitím pravidelného a intenzivního větrání otevřeným oknem lze udržet koncentraci CO₂ v bezpečných koncentracích i v místech, kde se nachází větší množství osob, nevýhodou tohoto větrání je zvyšování tepelných ztrát větráním během otopného období. Nejlepších výsledků se dosáhlo u nuceného větrání, kde koncentrace nedosahovaly vysokých hodnot i v domácnostech s větším počtem osob a zároveň k poklesu vyšších koncentrací docházelo rychleji než u větrání okny.

8.6.4 Vyhodnocení průběhu koncentrace VOC

Vyhodnocení podobnosti průběhu koncentrace VOC u respondentů je v příloze č. 8.

Tab. 8.27 Maximální, průměrná a minimální koncentrace VOC u všech měření.

Koncentrace VOC			
č. měření	Max.	Průměrná	Min.
[-]	[%]	[%]	[%]
Respondent č.1	17,3	11,6	0
Respondent č.6	19,2	11,0	0
Respondent č.2	18	9,8	2,7
Respondent č.7	15,3	9,3	2,7
Respondent č.12	16,1	9,3	0
Respondent č.10	19,2	8,8	0
Respondent č.9	17,6	8,6	0
Respondent č.5	13,7	7,8	2,7
Respondent č.8	14,1	7,5	0
Respondent č.11	12,5	7,2	0
Respondent č.14	10,2	7,0	0
Respondent č.3	11	5,9	1,6
Respondent č.4	8,6	5,4	0
Respondent č.15	10,2	5,0	0
Respondent č.13	12,9	3,8	0



Obr. 8.51 Graf s průběhem koncentrace VOC u všech měření.

V tab. 8.27 jsou maximální, průměrná a minimální koncentrace VOC u všech měření a barevně vyznačené průměrná koncentrace VOC respondentů s podobnou koncentrací VOC během měření. Na obr. 8.51 je sloupcový graf s vynesenu maximální, průměrnou a minimální koncentrací VOC pro všechny respondenty.

Z naměřených a zpracovaných dat vyplývá, že na produkci VOC v domácnostech má největší vliv přítomnost lidí, kteří svou přítomností mají vliv na koncentraci VOC. Dále na koncentraci VOC má vliv použití domácích čisticích a vonných prostředků, uvolňování z povrchu zařízení domácnosti a samotné konstrukce budovy. Nicméně z průběhu měření a technického dotazníku jsem nebyl schopen dobře odhadnout důvod a situaci, proč se koncentrace VOC mění, nebo nemění. Proměnných, na kterých tento

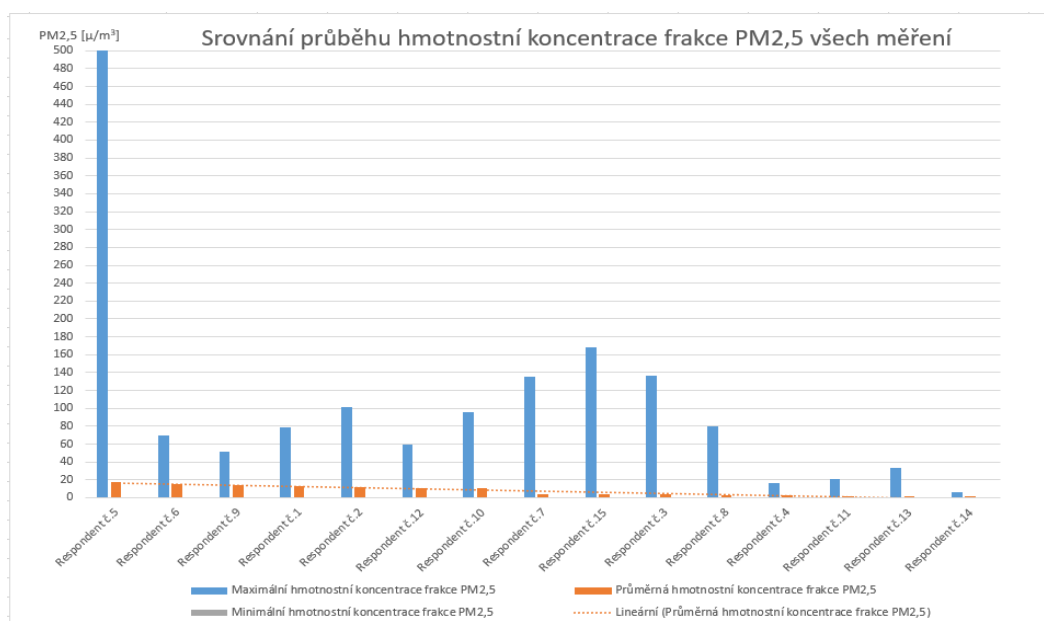
jev závisí, je tolik, že znemožňuje přesnější vyhodnocení. Důležitým výsledkem je, že v měřených domácnostech nedocházelo k překračování doporučených norem a u žádných respondentů ani nebyly naměřeny žádné vysoké nebo hraniční hodnoty.

8.6.5 Vyhodnocení průběhu hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5}

Vyhodnocení podobnosti průběhu hmotnostní koncentrace prachu frakce PM_{2,5} u respondentů je v příloze č. 9.

Tab. 8.28 Maximální, průměrná a minimální hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u všech měření.

Hmotnostní koncentrace frakce PM _{2,5}			
č. měření	Max.	Průměrná	Min.
[-]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	[µg/m ³]
Respondent č.5	500,2	17,2	0
Respondent č.6	70,0	15,6	0
Respondent č.9	51,0	13,6	0
Respondent č.1	79,0	13,3	0
Respondent č.2	101,0	11,5	0
Respondent č.12	60,0	11	0
Respondent č.10	96,0	10,6	0
Respondent č.7	135,0	4,4	0
Respondent č.15	168,0	4	0
Respondent č.3	136,0	3,5	0
Respondent č.8	80,0	2,8	0
Respondent č.4	16,0	2,7	0
Respondent č.11	21,0	2,2	0
Respondent č.13	33,0	1,1	0
Respondent č.14	6,0	0,05	0



Obr. 8.52 Graf s průběhem hmotnostní koncentrace frakce PM_{2,5} u všech měření.

V tab. 8.28 jsou maximální, průměrná a minimální hmotnostní koncentrace prachu u všech měření a barevně je vyznačena průměrná hmotnostní koncentrace prachu u respondentů s podobnou hmotnostní koncentrací prachu během měření. Na obr. 8.52 je sloupcový graf s vynesenu maximální, průměrnou a minimální hmotnostní koncentrací prachu pro všechny respondenty.

Žlutě vyznačení respondenti č. 5, 6, 9, 1, 2, 12 a 10 se nacházejí ve středně znečištěné oblasti a respondenti č. 2 a 6 uvedli, že doma zapalují svíčky. Respondent č. 10 používá domácí čističku vzduchu. Respondenti č. 1, 6 a 9 topí doma v kamnech s uzavřeným ohništěm.

Zeleně vyznačení respondenti č. 7, 15, 3, 8, 4, 2, 11 a 13 se nacházejí v čisté až středně znečištěné oblasti. Respondenti č. 3, 11 a 13 topí doma v kamnech, ale respondent č. 3 a 13 používá domácí čističku vzduchu a nucené větrání vzduchu. Zbývající respondenti větrají pomocí oken.

Modře vyznačený respondent č. 14 dosáhl nejmenší maximální i průměrné hmotnostní koncentrace prachu. Podle průběhu měření se ale nejspíš jednalo o chybu způsobenou nepřesným měřením čidla prašnosti.

Červeně vyznačení respondenti topí doma v kamnech s uzavřeným ohništěm.

Z naměřených a vypracovaných dat vyplývá, že největší vliv na produkci prachu během měření mělo topení v kamnech a používání svíček. Dále se dá říct, že vnější prostředí má omezený vliv na prašnost v domácnosti, protože ve většině případů produkce prachových částic v domácnosti pochází z běžných domácích činností, jako je vaření, topení, hoření svíček, a samotnou produkcí částic z lidských nebo zvířecích těl. Hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ vnějšího ovzduší většinou při běžných rozptylových podmínkách dosahuje nízkých hodnot mezi 2 až $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tudíž se dá předpokládat, že hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ vyšší než uvedených $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ budou pocházet z vnitřních zdrojů.

U respondentů č. 3 a 13 je vidět velký vliv kombinace nuceného větrání a čističky vzduchu, přestože se u respondentů topí v kamnech, udržovala se nízká koncentrace prachu a v případě nadměrného zvýšení koncentrace prachu došlo k rychlému poklesu na nízké hodnoty.

U respondenta č. 5 je nejvyšší průměrná hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ a zároveň se dosáhlo maximálního měřicího rozsahu čidla prašnosti. Tato data jsou zřejmě zkreslená z důvodu úmyslného zvýšení koncentrace prachu v blízkosti čidla, a tudíž by tento respondent ve skutečnosti neměl vysoké hodnoty koncentrace prachu.

Během všech měření průměrné hodnoty hmotnostní koncentrace prachu frakce $PM_{2,5}$ byly podle tab. 8.28 nízké v rozmezí od 0,05 až do 17,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a tudíž z dlouhodobého hlediska úroveň koncentrace prachu byla dobrá a bez větších účinků na lidské zdraví.

9 OVĚŘENÍ ČIDLA PRAŠNOSTI POMOCÍ OPTICKÉHO ANALYZÁTORU TSI MODEL 330

9.1 Prachový spektrometr TSI Model 330

Jedná se o zařízení s duální technologií prachového aerosolového spektrometru a s monitorováním prachových částic. Model 330 je kompaktní přenosné zařízení s možností měřit kontinuálně počet částic ve vzduchu nebo měřit distribuci počtu částic. Naměřená data lze zobrazit v jednotce počtu částic na litr nebo jako hmotnostní koncentraci v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zařízení je celkově schopno analyzovat 16 velikostních frakcí, viz tab. 9.1, kde jsou zároveň další technické specifikace zařízení. [27]

Tab. 9.1 Technické specifikace zařízení TSI Model330 [27]

Model 3330 Optical Particle Sizer Specifications	
Particle Size Range	0.3 to 10 μm
Size Channels	Up to 16, user adjustable size channels with the ability to save size channel settings.
Size Channel Configurations	Boundaries for all size channels except the first and the last channel can be changed. This enables you to program custom size channels.
Display	Graphical or tabular size distribution displayed with count, mass, linear or log normalizations, totals (count, number and mass concentrations). All displayed
Size Resolution	5% @ 0.5 μm per ISO 21501-1
Zero Count	<1 count per 1 minute
Flow Rate	Sample Flow of 1.0 L/min Sheath Flow of 1.0 L/min
Flow Accuracy	Sample Flow of 1.0 L/min $\pm 5\%$ accuracy internal flow controlled
Operational Temp	32 to 113°F (0 to 45°C)
Storage Temp	-4 to 140°F (-20 to 60°C)
Operational Humidity	0 to 95% RH, non-condensing
Time Constant	1 second
Data Logging	Internal on-board memory
Log Interval	User adjustable, 1 second to 24 hours
Physical Size (HWD)	5.3 x 8.5 x 8.8 in. (13.5 x 21.6 x 22.4 cm)
Weight	Base unit (without battery) 4.35 lb (~2 kg), 5.3 lb (~2.4 kg) – with 1 battery 6.25 lb (~2.8 kg) – with 2 batteries
Communications	USB (Host and Device) and Ethernet. Stored data accessible using flash memory drive
Power-AC (AC Adapter)	100 – 240 VAC 50-60 Hz Universal line cord with multiple adapter plugs
Power-DC	24V DC at 2.5A
Analog Out	User selectable output, 0 to 5V @ 15 mA or 4 to 20 mA with maximum impedance of 250 Ohms. User selectable scaling range

9.2 Popis prachového spektrometru

Na obr. 9.1 je popis a znázornění přední strany zařízení a na obr. 9.2 je popis a znázornění zadní strany zařízení.

- 1- Vstupní tryska
- 2- Zapnutí/vypnutí přístroje
- 3- Tužka pro ovládání LCD displeje
- 4- Vstup pro komunikaci se zařízením
- 5- Výfuková tryska



Obr. 9.1 Přední strana TSI Model330. [27]



Obr. 9.2 Zadní strana přístroje TSI Model330. [27]

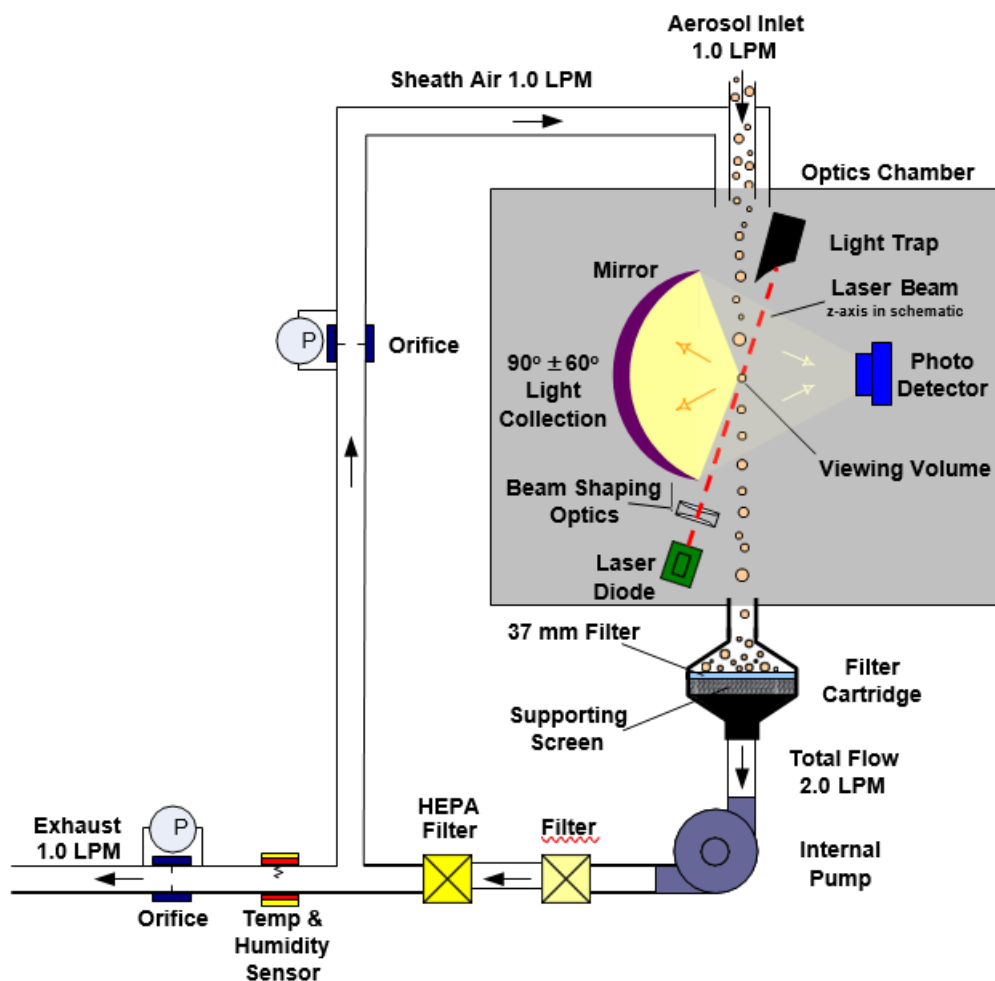
9.3 Princip měření

Zařízení funguje na principu ortogonální nefelometrie, viz obr. 9.3, tedy rozptylu světla z polovodičové diody na jednotlivých částicích prachu. Uvnitř měřicí komory prochází analyzovaný nasávaný vzduch přes paprsek z polovodičové laserové diody. Částice procházející přes paprsek světla laseru, rozptylují světlo ve formě pulzů. Přebytké laserové světlo je zaostřeno do světelné pasti. Signál vytvořený odrazem prachové částice procházející paprskem laseru je přesměrován zrcadlem o 90° až 60° na přijímací diodu neboli detektor. Nastavení detektoru se nazývá detekce rozptylu světla posunuté o 90° až 60° . Tímto optickým nastavením detektoru se zvyšuje rozptýlené světlo shromážděné detektorem a optimalizuje se poměr signálu a šumu. Proto lze detekovat i velmi malé částice až do $0,3 \mu\text{m}$. Po zesílení signál z diody projde vícekanálovým klasifikátorem velikosti. Zde jsou částice klasifikovány a přiděleny k příslušné velikostní frakci.

Vzduch vyfukovaný ventilátorem z měřicí komory je zachycován odnímatelným gravimetrickým filtrem, který slouží pro gravimetrickou metodu vyhodnocení. Ventilátor zároveň slouží k odvádění ochranného vzduchu, ten je přefiltrován a nasáván pumpou do optické komory, aby zajistil neusazování prachových částic na optice měřicího zařízení. Pro správnou funkčnost měřicího zařízení musí být zajištěn konstantní přívod $1,0 \text{ l/min}$ ochranného vzduchu.

Celé zařízení se ovládá pomocí dotykového LCD. Pro lepší ovládání je součástí zařízení tužka pro psaní na LCD displej.

Na začátku každého měření je proveden automatický test. Zde se kontrolují všechny optické, pneumatické a elektronické komponenty. Poté se zahájí skutečné měření a na LCD displeji lze pozorovat aktuální měřená data. Měřená data je možné ukládat do interní paměti zařízení nebo rovnou přenášet do externího počítače s nainstalovaným softwarem Aerosol Instrument Manager, který zajišťuje sběr, interpretaci, import a export. Zařízení zaznamenává v intervalu od 1 sekundy do 60 minut. [27]



Obr. 9.3 Schéma principu měření zařízení TSI Model330. [27]

9.4 Ověření čidla prašnosti

Součástí měření kvality vnitřního prostředí v bytech bylo ověření přesnosti měření čidla prašnosti QSA2700D. Měření mělo probíhat v uzavřené měřicí komoře v laboratoři Ústavu techniky životního prostředí pomocí optického spektrometru Grimm 1.109. Během ověřovacího měření došlo k poruše optického spektrometru Grimm 1.109, u něhož se poškodil přenosový port R232 a následně bylo znemožněno zpracovat měřená data.

Z důvodu nemožnosti měřit pomocí optického spektrometru Grimm 1.109 bylo domluveno a naplánováno měření za pomoci Ing. Jakuba Ondráčka, Ph.D. na Ústavu chemických procesů Akademie věd České republiky. Zde bylo zapůjčeno k měření zařízení TSI Model 330, viz kapitola 9.2, a měřilo se v předem vyrobeném měřicím boxu.

9.4.1 Měřicí box

Měřicí box jsem vyrobil pomocí lepenkové krabice o velikosti 1400x400x400 cm a objemu 0,224 m³. Krabice nebyla na vrchní straně úplně těsná, aby byla zachována možnost otevření vrchního dílu pro vložení vonné svíčky, měřicích zařízení a možnost přísávání vzduchu pro rychlé odvětrání pomocí ventilátoru. Přísávaný laboratorní vzduch minimálně ovlivňoval měření, protože koncentrace prachových částic v laboratoři se pohybovala řádově v jednotkách 1 až 10 µg/m³.

Do jedné strany krabice byla vyříznuta díra a byl vložen malý ventilátor pro chlazení počítačů. Ventilátor při napájení 12 V měl rychlost 1500 otáček za minutu. Z důvodu snížení rychlosti větrání měřicího boxu byly sníženy otáčky ventilátoru na 500 otáček za minutu pomocí napájení 4 V baterií. S tímto nastavením vyvětrání měřicího boxu trvalo přibližně dvě minuty. Na obr. 9.4 je vidět sestavený měřicí box pro ověřovací měření.



Obr. 9.4 Měřicí box pro ověření přesnosti čidla prašnosti QSAD2700D.

9.4.2 Postup měření

Před měřením bylo nejdříve třeba nastavit správně optické spektrometry nastavením režimu měření hmotnostní koncentrace prachu a zadat tzv. gravimetrický faktor, to je vlastně měrnou hmotnost částic. Pro gravimetrický faktor byla po konzultaci s Ing. Vladimírem Krajákem, zaměstnancem SZÚ se zaměřením na poradenství v ochraně ovzduší, zvolena hodnota 1,0 a zároveň byl pro porovnání zvolen faktor s hodnotou 1,22 zjištěný dle [28] pro městský aerosol ve Vídni.

Do měřicího boxu bylo umístěno čidlo prašnosti QSAD2700D a dva optické spektrometry TSI Model330 tak, aby byly rovnoměrně rozmístěny, viz obr. 9.5. Možnost použití dvou shodných spektrometrů byla využita pro zpřesnění měření a ověření správnosti.

Pro požadované zvýšení koncentrace prachu v měřicím boxu na maximální hodnotu ($500 \mu\text{m}^3$), kterou je schopno měřit čidlo prašnosti, byla použita vonná svíčka. Zapálená vonná svíčka byla umístěna doprostřed mezi čidlo prašnosti a optické spektrometry, následně byla vonná svíčka zhasnuta a měřicí box byl uzavřen. Tímto postupem jsem dosáhl požadované maximální hodnoty. Po uzavření měřicího boxu byl spuštěn malý ventilátor, který urychloval odvod prachových částic ven z měřicího boxu.

Průběh měření jsem pozoroval pomocí laptopu, na kterém jsem sledoval snižování koncentrace prachu měřeného pomocí čidla prašnosti. V momentě, kdy se hodnota koncentrace prachu přestala snižovat, bylo měření ukončeno. Měření jsem opakoval třikrát se sekvencí zápisu měřených dat dvakrát po deseti sekundách a jednou po jedné sekundě. Po ukončení měření byly naměřené hodnoty z optických spektrometrů nahrány do počítače ve formátu xlsx. Naměřené hodnoty z čidla prašnosti jsem si stáhl z cloud serveru Synco.



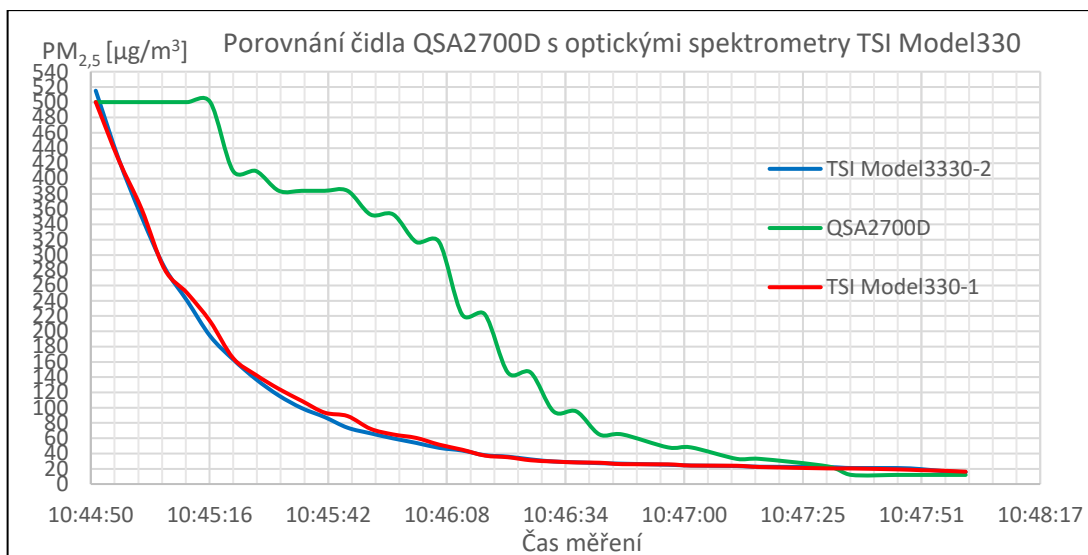
Obr. 9.5 Umístění čidla prašnosti a optických spektrometrů v měřicím boxu.

9.5 Vyhodnocení naměřených dat

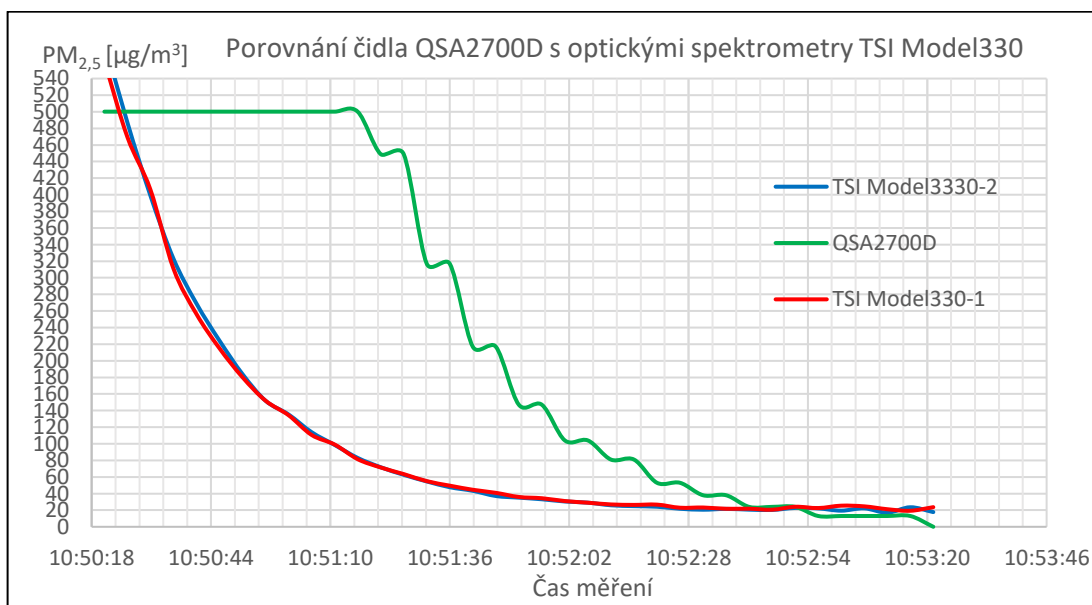
Naměřená data byla porovnána a vyhodnocena pomocí softwaru Excel vynesáním do grafů. Celkově byly vytvořeny dva grafy pro měřicí sekvenci po 10 sekundách a jeden graf pro měřicí sekvenci po 1 sekundě. Měření optickými spektrometry probíhalo při nastavení gravimetrického faktoru 1,0, tudíž při vynásobení jiným gravimetrickým faktorem lze tak snadno získat jemu odpovídající hmotnostní koncentraci prachových částic. Hodnota gravimetrického faktoru byla změněna z důvodu neznalosti gravimetrického faktoru, se kterým měří čidlo prašnosti QSA2700D a jenž je nastaven z výroby a není udáván. To sloužilo k ověření, zdali rozdílné naměřené hodnoty jsou z důvodu nepřesnosti čidla nebo nesprávně zadaného gravimetrického faktoru.

Na obr. 9.6 a 9.7 je vyhodnocení měření se sekvencí měření po 10 sekundách, s gravimetrickým faktorem 1,0. Na grafu lze vidět, že oba optické spektrometry TSI Model 330 měří hmotnostní koncentraci částic skoro se stejnou přesností, a díky tomu jde konstatovat, že měřená koncentrace pomocí optických spektrometrů v měřicím boxu je správná. Měřená data pomocí čidla prašnosti QSA2700D se od naměřených dat pomocí optických spektrometrů značně liší. Prachové čidlo měří hmotnostní koncentraci výrazně vyšší než optické spektrometry a zároveň vykazuje skokovou změnu. Při vysokých koncentracích od 500 až do 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ měřilo čidlo prašnosti pětikrát až třikrát vyšší koncentrace oproti optickým spektrometrům. Od 200 až do 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ čidlo prašnosti měřilo až dvojnásobně vyšší koncentrace oproti optickým spektrometrům. Čidlo prašnosti měří přesněji až při nízkých hmotnostních koncentracích zhruba pod 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kdy rozdíl oproti optickým spektrometrům je okolo 20 až 40 %. Tato skoková změna je lépe vidět na obr. 9.8 se sekvencí měření po 1 sekundě.

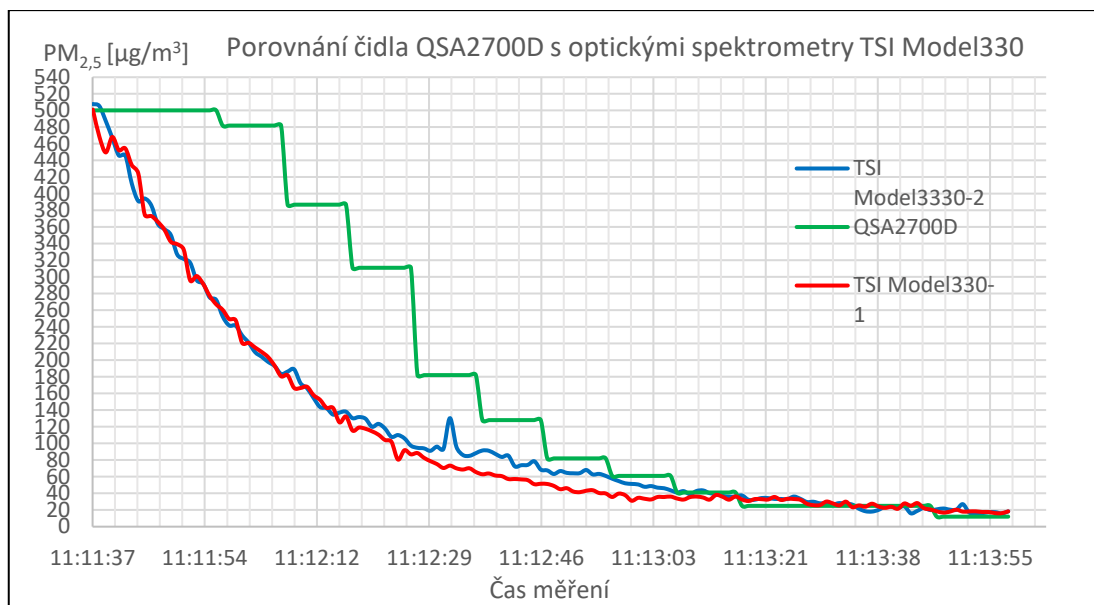
Vyhodnocení porovnávacího měření prachového senzoru s optickými spektrometry je v příloze č. 10.



Obr. 9.6 Graf pro první měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 10 sekundách.



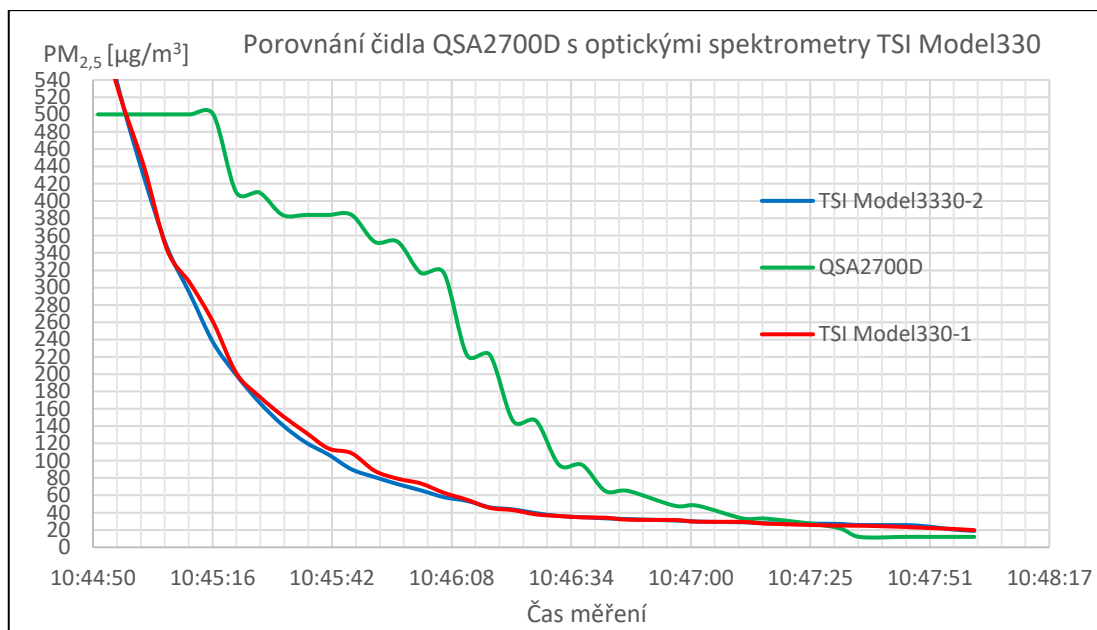
Obr. 9.7 Graf pro druhé měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 10 sekundách.



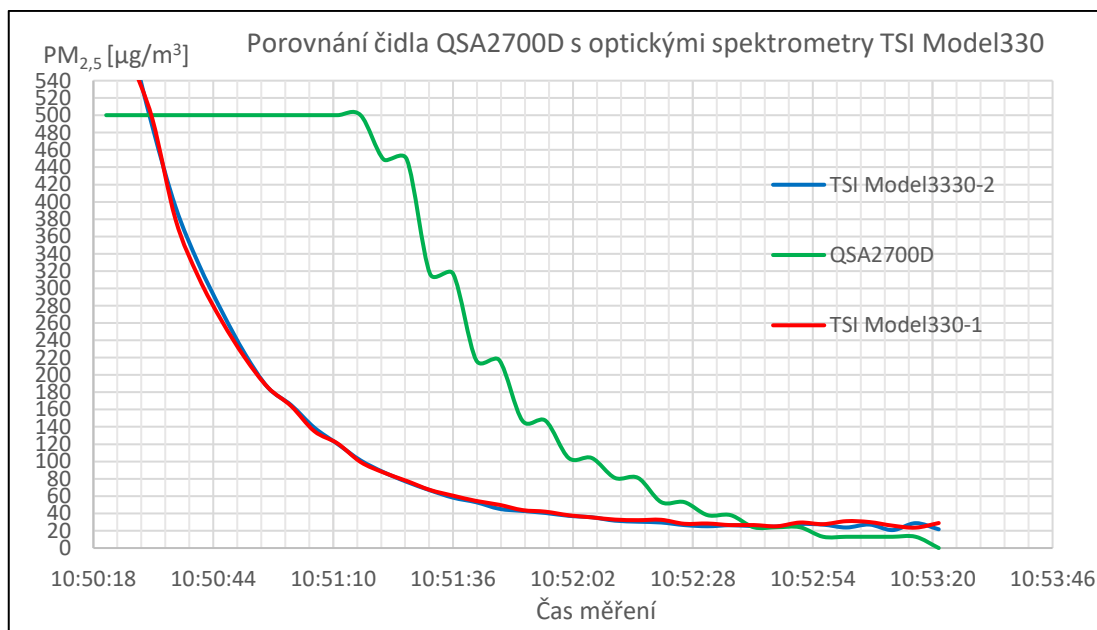
Obr. 9.8 Graf pro třetí měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 1 sekundě.

Na obr 9.6, 9.7 a 9.8 je vidět, že ve všech případech hodnoty měřených dat čidlem prašnosti QSA2700D jsou výrazně vyšší než hodnoty měřených dat pomocí optických spektrometrů TSI Model 330 a čidlo prašnosti má dlouhou dobu odezvy. Čidlo prašnosti měří oproti optickým spektrometrům nepřesně při vyšších hmotnostních koncentracích a tento rozdíl se s klesající hmotnostní koncentrací snižuje.

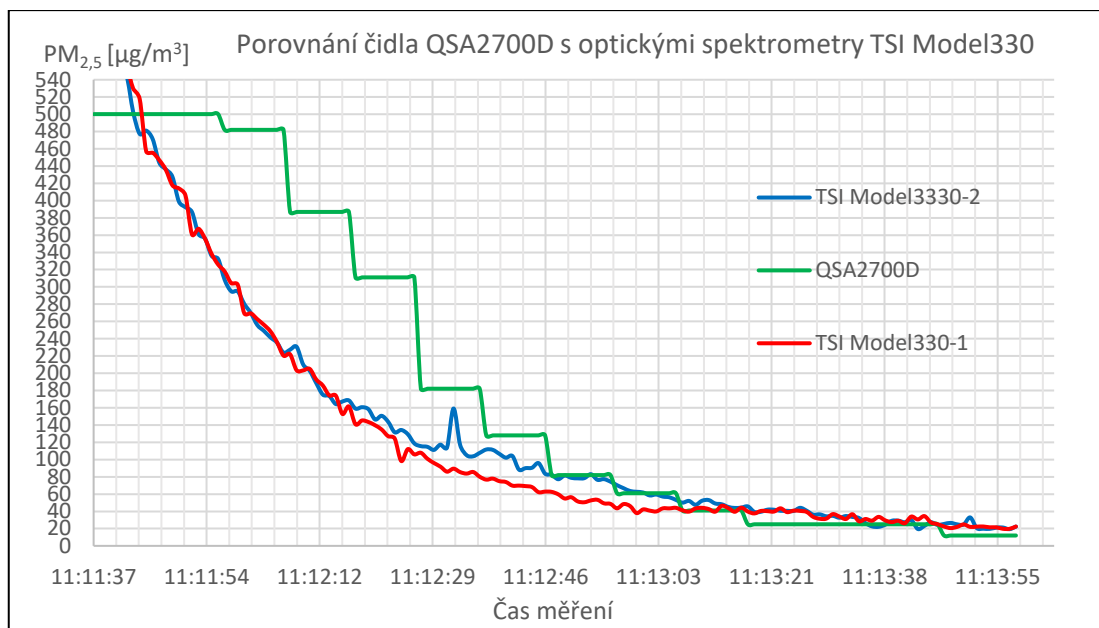
Naměřená data po vynásobení gravimetrickým faktorem 1,22 lze vidět na obr. 9.9, 9.10 a 9.11. Po vynásobení měřených dat optickými spektrometry vzhledem ke značným rozdílům mezi průběhem zjištěného pomocí TSI Modelu 330 a pomocí čidla prašnosti QPA2700D nedošlo k výrazné změně rozdílu naměřených hodnot čidlem prašnosti. Vliv vyššího gravimetrického faktoru je zřejmý v tab. 9.2, kde je vidět, že rozdíl od průměrných relativních odchylek je kolem 23,5 %. Zlepšení je pouze u vyšších koncentrací, a naopak u nižších koncentrací dochází k zhoršení. Lze tudíž vyloučit nepřesnost měření způsobené rozdílnými gravimetrickými faktory a řešit korekci pomocí gravimetrického faktoru nemá smysl.



Obr. 9.9 Graf pro první měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 10 sekundách s gravimetrickým faktorem 1,22 pro analyzátořem TSI Model 330.



Obr. 9.10 Graf pro druhé měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 10 sekundách s gravimetrickým faktorem 1,22 pro analyzátořem TSI Model 330.



Obr. 9.11 Graf pro třetí měření ověření čidla prašnosti se sekvencí po 1 sekundě s gravimetrickým faktorem 1,22 pro analyzátořem TSI Model 330.

Při vypočítání relativní odchylky měření čidla prašnosti QSA2700D vůči porovnávacím datům z optických spektrometrů vyšly vysoké relativní odchylky během vyšších hmotnostních koncentrací a o něco nižší během měření nižších hmotnostních koncentrací. V tab. 9.2 jsou uvedeny průměrné relativní odchylky pro všechna 3 měření. Z vypočítaných relativních odchylek vyplývá, že čidlo prašnosti měřilo s mnohem vyšší nepřesností, než se uvádí v technickém manuálu pro čidlo prašnosti QSA2700D viz kapitola 8, obr. 8.2, kde je uvedeno, že při měření frakce $PM_{2,5}$ čidlo prašnosti má vzájemný rozptyl vůči různým čidlům $\pm 15 \mu/m^3$ a $\pm 15 \%$ odchylku od naměřené hodnoty.

Tab. 9.2 Průměrné relativní odchylky pro porovnávací měření.

1. měření		2. měření		3. měření	
měření po 5 s		měření po 5 s		měření po 1 s	
průměrná relativní odchylka		průměrná relativní odchylka		průměrná relativní odchylka	
C - faktor 1,0	C - faktor 1,22	C - faktor 1,0	C - faktor 1,22	C - faktor 1,0	C - faktor 1,22
[%]					
192,2	146,8	222,490	172,6	272,8	196,8

Tato nepřesná data naměřená čidlem prašnosti mohou být způsobena špatným zápisem dat KNX sběrnici nebo samotným čidlem prašnosti. Během samostatného pokusného měření jsem proto zvýšil v měřicím boxu hmotnostní koncentraci částic na maximální

hodnotu a nechal měřicí box přirozeně větrat otvorem pro větrací ventilátor. Tento experiment jsem prováděl pro různé časové sekvence zápisu dat a sledoval jsem aktuálně zobrazovaná měřená data čidlem prašnosti na LCD displeji a data zasílaná měřicím zařízením na cloud Synco. Časové sekvence jsem zvolil 1 s, 5 s, 15 s, 30 s a 1 minutu. Ve všech případech bylo patrné, že se hodnoty liší od aktuálně zobrazovaných hodnot na LCD displeji a hodnot zaslaných na cloud Synco. Hodnoty na LCD displeji klesaly pozvolna s lineární charakteristikou, ale data, která se zapsala pro daný moment na cloud Synco, byla odlišná a po většinu měření se jedna zapsaná hodnota opakovala pro několik dalších zapsaných časových sekvencí, viz tab. 9.3 a 9.4.

Tab. 9.3 Zápis dat se sekvencí po 5 s.

02.07.2020	10:41:15	500.16
02.07.2020	10:41:20	500.16
02.07.2020	10:41:25	500.16
02.07.2020	10:41:30	500.16
02.07.2020	10:41:35	500.16
02.07.2020	10:41:40	500.16
02.07.2020	10:41:45	500.16
02.07.2020	10:41:50	500.16
02.07.2020	10:41:55	500.16
02.07.2020	10:42:00	500.16
02.07.2020	10:42:05	417.92
02.07.2020	10:42:10	417.92
02.07.2020	10:42:15	146.00
02.07.2020	10:42:20	146.00
02.07.2020	10:42:25	87.04
02.07.2020	10:42:30	87.04
02.07.2020	10:42:35	60.00
02.07.2020	10:42:40	60.00
02.07.2020	10:42:45	33.00
02.07.2020	10:42:50	33.00
02.07.2020	10:42:55	21.00

Tab. 9.4 Zápis dat se sekvencí po 1 s.

02.07.2020	11:10:13	500.16
02.07.2020	11:10:14	500.16
02.07.2020	11:10:15	500.16
02.07.2020	11:10:16	500.16
02.07.2020	11:10:17	500.16
02.07.2020	11:10:18	500.16
02.07.2020	11:10:19	500.16
02.07.2020	11:10:20	500.16
02.07.2020	11:10:21	500.16
02.07.2020	11:10:22	500.16
02.07.2020	11:10:23	500.16
02.07.2020	11:10:24	500.16
02.07.2020	11:10:25	500.16
02.07.2020	11:10:26	500.16
02.07.2020	11:10:27	500.16
02.07.2020	11:10:28	500.16
02.07.2020	11:10:29	500.16
02.07.2020	11:10:30	500.16
02.07.2020	11:10:31	500.16
02.07.2020	11:10:32	500.16
02.07.2020	11:10:33	481.92

Z technických parametrů použité KNX sběrnice v měřicím zařízení je uvedeno, že KNX sběrnice je schopna zapisovat měřená data od časové sekvence 1 s až po 60 minut. V technickém manuálu čidla prašnosti QSA2700D není uvedené žádné doporučení pro zvolení časové sekvence zápisu dat, naopak je zde komunikační tabulka, podle které by čidlo prašnosti mělo být schopné s použitou KNX sběrnici komunikovat s dostatečnou rychlostí.

Proto chyba měření bude s nejvyšší pravděpodobností způsobena nepřesným zápisem dat z regulačního čidla RDF870KNX. Čidlo prašnosti QSA2700D komunikuje přes protokol

Modbus, ale data z měřícího zařízení na datový cloud Synco jsou zaznamenávána a zasílána z KNX sběrnice. Z toho důvodu na měřícím zařízení je čidlo RDF870KNX, jenž převádí komunikaci z Modbus na elektrický signál v rozmezí 0–10 V. Během tohoto přenosu dochází pravděpodobně k filtrování měřených hodnot, a tudíž ke zkreslení naměřených dat. Tyto nepřesnosti zápisu dat se zřejmě projevovaly i během samotného měření kvality vnitřního ovzduší v domácnostech. Pro přesnější ověření by bylo potřeba provést dlouhodobější ověřovací měření s pozvolnější změnou koncentrace prachových částic a ověřit a případně opravit přenos měřených dat. Ze získaných dat z krátkodobého ověřovacího měření se ukazuje, že čidlo prašnosti měří nepřesně, v tomto ohledu se nejví jako vhodné pro orientační měření koncentrace prachových částic.

10 ZÁVĚR

V teoretické části diplomová práce pojednává o teorii vnitřního prostředí a zároveň se v této části práce věnuje působení škodlivin na lidské zdraví a předpisům a zákonům, jenž platí pro kvalitu vnitřního prostředí. Součástí teorie je stručný popis metod a způsobů měření kvality vnitřního prostředí.

V praktické části se práce věnuje experimentům měření kvality vnitřního prostředí ve vybraných domácnostech a porovnávacímu měření čidla prašnosti v laboratorních podmínkách pomocí optických spektrometrů.

V prvním experimentu jsem se věnoval sběru dat pomocí sestaveného měřicího zařízení, jenž bylo zapůjčeno od firmy Siemens. Měřicí zařízení se skládá z čidel umožňující měřit teplotu, relativní vlhkost, koncentraci CO₂, koncentraci VOC a hmotnostní koncentraci prachových částic frakce PM_{2,5}. Měření probíhalo na území České republiky u patnácti vybraných respondentů, kdy každý respondent měl zařízení nainstalované u sebe v domácnosti po dobu jednoho týdne. Respondenti zároveň vyplnili doplňující technický dotazník, který pomohl k upřesnění technicko-konstrukčních vlastností budovy a harmonogramu denního provozu v domácnosti. Součástí experimentu je vyhodnocení naměřených dat každého respondenta, kdy jsem pomocí vyplněného technického dotazníku a zpracovaných grafů s průběhem měřených veličin zjišťoval kvalitu vnitřního prostředí a vlivy, které tuto kvalitu ovlivňují nebo ovlivňovaly. Na závěr byla data celkově zhodnocena na základě společných nebo rozdílných vlastností měřených parametrů u respondentů.

Výsledky z prvního experimentu ukazují, že největší vliv na kvalitu vnitřního prostředí mají technicko-stavební vlastnosti budovy, jako zateplení, provedení oken, těsnost obálky budovy, systém použitý k vytápění, dále pak způsob větrání, zvlhčování vzduchu, případně čištění vzduchu pomocí čističek vzduchu a dále harmonogram denního provozu v domácnosti, jako je počet osob pobývajících v domácnosti, četnost větrání, četnost vaření, používání svíček apod. Z experimentu dále vyplývá, že se domácnosti dají rozdělit do několika skupin, které mají díky technicko-stavebnímu provedení podobné podmínky vnitřního prostředí, i přestože mají odlišný denní harmonogram. Celkově se dá říct, že domácnosti, u kterých probíhalo měření, mají kvalitní vnitřní prostředí a největší problémy s kvalitou vnitřního prostředí nejčastěji představuje koncentrace CO₂ a koncentrace prachových částic, které lze zlepšit použitím pravidelného a intenzivního provětrávání otevřenými okny. Do budoucna by bylo vhodné k vnitřnímu měření kvality

prostředí přidat i měření kvality vnějšího prostředí, které by napomohlo k určení míry, jakou ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí.

V druhém experimentu byla ověřena přesnost čidla hmotnostní koncentrace prachových částic QSA2700D v simulovaných podmínkách. Ověřování probíhalo v připraveném měřicím boxu v laboratoři Ústavu chemických procesů Akademie věd České republiky pomocí dvou optických spektrometrů TSI Model 330. Do měřicího boxu bylo vloženo měřicí zařízení s čidlem prašnosti spolu s optickými spektrometry. V měřicím boxu byla zvýšena koncentrace prachových částic pomocí zapálené svíčky a následně byl prostor měřicího boxu větrán pomocí malého počítačového ventilátoru. Tento postup byl opakován třikrát s různými časovými intervaly zápisu dat, a to dvakrát se zápisem dat po pěti sekundách a jednou se zápisem po jedné sekundě. Z naměřených dat byly sestaveny grafy s průběhem klesání hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5} podle čidla prašnosti QSA2700D a optických spektrometrů TSI Model 330, na kterých bylo vidět, s jakým rozdílem čidlo prašnosti měří.

Výsledky z druhého experimentu ukazují, že při porovnávacím měření čidla prašnosti QSA2700D s dvěma optickými spektrometry TSI Model 330 jsou naměřené hodnoty prachovým čidlem výrazně odlišné od naměřených hodnot optickými spektrometry. Výsledky ukázaly, že prachové čidlo měří nepřesně a není vhodné ani pro orientační měření koncentrace prachových částic. Nepřesné měření čidla prašnosti je způsobeno chybným zápisem měřených hodnot, kdy se v měřicím měřeném čase zapisují stejné koncentrace prachových částic, i přestože samotné čidlo na displeji zobrazuje jinou koncentraci prachu. Pro zjištění chyby by bylo vhodné provést dlouhodobější měření s pozvolnějším klesáním koncentrace prachových částic. Nejvhodnější by bylo použití laboratorní uzavřené komory s přirozeným větráním. Dalším krokem by byla kontrola samotného čidla prašnosti a ověření, z jakého důvodu dochází k chybnému zápisu dat, a tento problém řešit.

Čidlo prašnosti QSA2007D se z pohledu prvního experimentu (po nutném odladění a zpřesnění) jeví ve funkci regulátoru větrání nejvhodnější v domácnostech, kde se topí v kamnech nebo krbu. Toho se dá využít při propagaci čidla prašnosti, protože velice snadno lze ukázat zvýšenou koncentraci prachových částic v prostoru při topení kamny nebo krbem. I čidlo prašnosti tuto změnu koncentrace prachových částic rychle zaznamená a může spustit větrání dané místnosti a snížit koncentraci prachových částic na nižší koncentraci.

11 SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] ZMRHAL V., *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada Publishing a.s., 2013. 94 s. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [2] DOLEŽÍLKOVÁ H., *Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu*. tzb-info.cz [online]. 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>.
- [3] MATHAUSEROVÁ Z., *Požadavky na jednotlivé faktory vnitřního prostředí budov a jejich zajištění*. tzb-info.cz [online]. 2015 [cit. 2020-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/12280-pozadavky-na-jednotlive-faktory-vnitriho-prostredi-budov-a-jejich-zajisteni>.
- [4] PAPEŽ K., KABERHEL M. a kol., *Kvalita vnitřního prostředí*. ČVUT, Stavební fakulta, 1997. ISBN 978-80-010-1578-0.
- [5] JOKL M., *Teorie vnitřního prostředí budov, vydání dotisk – Vydavatelství ČVUT, Praha, 1993, 261 stran, 177 obrázků, ISBN 80-01-00481-3*
- [6] Zákon č. 201/2012 Sb., *o ochraně ovzduší*. Ministerstvo vnitra České republiky [online]. Ministerstvo vnitra, 2012 [cit. 2020-06]. Dostupné z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=201/2012&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.
- [7] ČMHÚ., *Znečištění ovzduší na území české republiky v roce 2011* [online]. 2012. Praha: ČHMÚ, 2012 [cit. 2020-7]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap2421.html>
- [8] HOLLEROVÁ J., *Prašnost na pracovišti*. Státní zdravotní ústav [online]. 2007, str. 4 [cit. 2020-7]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>.
- [9] HNILICOVÁ H., *Emise PM10 a jejich zdroje*. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2007, str. 7 [cit. 2020-7]. Dostupné z: <https://s3.eucentral1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/sharedprod/svcement.cz/uploads/2016/07/sd2008-prednaska-hh-emise-pm10-a-jejich-zdroje.pdf>

- [10] BRZEZINA J., *Suspendované částice (PM) – otázky a odpovědi*. Český hydrometeorologický ústav Brno [online]. 2018 [cit. 2020-7]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/12/01/suspendovane-castice-pm-otazky-a-odpovedi/>.
- [11] HEMERKA J. a VYBÍRAL P., *Ochrana ovzduší*. Praha: Česká technika-Nakladatelství ČVUT, 2010, 148 stran, ISBN 978-80-01-04646-3.
- [12] NOVÝ R. a KOL., *Technika prostředí*. 2. Praha: Česká technika-Nakladatelství ČVUT, 2006, 262 stran, ISBN 80-01-03492-5.
- [13] MATUŠKA T., *Experimentální metody v technice prostředí*. Praha: Česká technika-Nakladatelství ČVUT, 2005, 200 stran, 156 obrázků, ISBN 80-01-03291-4.
- [14] ĎAĎO S. a KREIDL M., *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Česká technika-Nakladatelství ČVUT, 1996, 313 stran, ISBN 80-01-01500-9.
- [15] VAFEK Z., *Možnosti měření oxidu uhličitého – měřicí přístroje a čidla. Vytápění větrání instalace* [online]. 2016 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/13910-moznosti-mereni-oxidu-uhliciteho-merici-pristroje-a-cidla>.
- [16] *PROTRONIX, Měřit CO2 často nestačí*. [online]. Chrudim: PROTRONIX s.r.o [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <https://www.careforair.eu/merit-co2-casto-nestaci-2/>.
- [17] VOJÁČEK A., *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 6. Senzory PM částic*. Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru [online]. 2019, **2019**(6) [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-vuzavrenych-mistnostech-6-senzory-pm-castic.html>.
- [18] *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2020-07]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [19] ČSN EN 12831. *Otopné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro tepelné ztráty*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [20] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [21] ČSN EN ISO 16000-26. *Vnitřní ovzduší – Část 26: Postup odběru vzorků při stanovení oxidu uhličitého (CO₂)*. Praha: Český normalizační institut, 2013.

[22] ČSN EN ISO 1600-11. *Stanovení emisí těkavých organických látek ze stavebních materiálů a nábytku*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[23] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb., *kteřou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*. Vydáno: Praha, Ministerstvo Zdravotnictví, 2003.

[24] *Čidla kvality vzduchu QPA10..., QPA20....* Zug: Siemens, 2017. ISSN CE1N1961cz.

[25] *Čidla jemných prachových částic*. Zug: Siemens, 2018. ISSN A6V11160938_cz-a.

[26] *Regulátory koncentrace prachových částic PM_{2,5} a kvality vzduchu*. Zug: Siemens, 2019. ISSN A6V11160938_cz_a.

[27] *Model 330 optical particle sizer spectrometer*. Minneapolis: TSI incorporated, 2011. ISSN 6004403.

[28] HAUCK H. Berner A. a KOL., *On the equivalence of gravimetric PM data with TEOM and beta-attenuation measurements*. Elsevier [online]. 2004, (9), 1149 [cit. 2020-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850204000667>

12 PŘÍLOHY

Součástí této práce je CD obsahující:

Příloha č. 1 Zodpovězené dotazníky respondenty č. 1 až 15.

Příloha č. 2 Vyhodnocení jednotlivých naměřených dat pro respondenty č. 1 až 15.

Příloha č. 3 Naměřená data od 11.11.2019 až 7.3.2020.

Příloha č. 4 Celkové vyhodnocení naměřených dat.

Příloha č. 5 Srovnání teploty.

Příloha č. 6 Srovnání relativní vlhkosti

Příloha č. 7 Srovnání koncentrace CO₂

Příloha č. 8 Srovnání koncentrace VOC.

Příloha č. 9 Srovnání hmotnostní koncentrace prachových částic frakce PM_{2,5}.

Příloha č. 10 Vyhodnocení porovnávacího měření prachového senzoru s optickými spektrometry.