

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Ludvík Jüthner

Zhodnocení kvality vnitřního prostředí v kavárnách

Cafe indoor air quality assessment

Bakalářská práce

Školitel: RNDr. Naděžda Zíková, Ph.D.

Oponent: RNDr. Ludmila Mašková, Ph.D.

Praha, 2019

Abstrakt

Kavárny jsou velmi specifická prostředí, těšící se čím dál větší popularitě. Prostory hojně využívané zejména pro schůzky, práci či učení však doposud nebyly v rámci zhodnocení mikroklimatu podrobně prozkoumány. Přitom právě potenciální špatné mikroklimatické podmínky mohou mít negativní vliv nejen na zaměstnance, ale také na zákazníky.

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocením kvality ovzduší v kavárenských prostorách a následným porovnáním s právními předpisy, definující příznivý stav pro dané prostředí. Cílem práce je experimentálně zjistit, zda hodnoty teploty a relativní vlhkosti spolu s koncentracemi $PM_{2,5}$ a oxidu uhličitého na příkladu třech vytipovaných kavárnách nacházejících se v centru města Prahy jsou v normě s přijatelnými hodnotami dle právních předpisů. K tomu byly autorem stanoveny tři předpoklady k prozkoumání: 1) zmíněné prostory nepodléhají přísným kontrolám hygienické služby a naměřené hodnoty tudíž nebudou odpovídat právním předpisům 2) počet lidí zhoršuje hodnotu CO_2 a teploty a 3) kavárna s vchodem do rušné ulice poskytne vyšší koncentrace $PM_{2,5}$. Výsledky byly zjišťovány pomocí experimentálního měření v zimních měsících. Teoretická část vymezuje pojem mikroklimatu, popisuje problematiku vnitřních prostor, kde podrobně diferencuje tři primární faktory – fyzikální, chemické a biologické, podílející se na kvalitě vnitřního ovzduší. Experimentální část poskytuje informace o průběhu měření, použití přístrojů DustTrak DRX (8533, TSI) pro zjištění koncentrací $PM_{2,5}$ a ručního snímače oxidu uhličitého Telaire 7001, který je schopen kromě CO_2 monitorovat a zaznamenávat také hodnoty teploty a relativní vlhkosti. Za deset dní měření v předem stanovených časových úsecích byly ve všech třech kavárnách vyhodnoceny koncentrace zmíněných mikroklimatických faktorů jako přijatelné vyhláškou č. 316/2007 Sb. Dále se prokázala velmi silná pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a koncentracemi CO_2 , naopak velmi slabá závislost mezi počtem lidí a teplotou či RH. V kavárně B byl následně potvrzen předpoklad, že vchod do kavárny z dopravou řízené ulice bude mít za následek vyšší koncentrace $PM_{2,5}$. V porovnání závislosti koncentrací zmíněných faktorů na denní době byla prokázána statisticky významná závislost pouze u CO_2 a $PM_{2,5}$, závislost koncentrací vůči prostředí tří vytipovaných kaváren byla prokázána pouze u $PM_{2,5}$.

Klíčová slova: mikroklima, kavárenské prostory, $PM_{2,5}$, oxid uhličitý, teplota, relativní vlhkost

Abstract

Cafes are specific places with increasing popularity these days. However, the spaces used mainly for meetings, work or studying have not been yet explored in detail from the microclimate point of view, although suboptimal microclimatic conditions can have a negative effect not only on employees but also on customers.

The bachelor thesis deals with an evaluation of air quality in coffee shops and juxtaposes its findings with the legislation that defines beneficial conditions for the particular environment. The aim of the thesis is to determine whether the values of temperature, relative moisture including the concentration of PM_{2,5} and carbon dioxide, based on an example of three specific coffee shops situated in the center of Prague, correspond with the acceptable standard quotes stipulated by the law. To that end, the author explores three assumptions: 1) the selected spaces are not strictly controlled by the Public Health Authority in comparison for instance with hospitals and therefore the recorded values do not correspond with the regulations, 2) the number of people worsens the CO₂ values and 3) coffee shops with an entrance facing a busy street show a higher concentration of PM_{2,5}. The results were achieved by experimental measuring in Winter months.

The theoretical part defines the concept of microclimate, describes problematic of indoor spaces where it differentiates in detail the three primary factors - physical, chemical and biological, contributing to indoor air quality. The experimental part provides the information about the measurement process, the DustTrak DRX (8533, TSI) instrument for detecting PM_{2,5} concentrations and the Telaire 7001 hand-held carbon dioxide sensor, which is able to monitor and record temperature and relative humidity values in addition to CO₂. For ten days of measurement, the concentrations of the mentioned microclimatic factors in all three cafés were evaluated as acceptable by decree č. 316/2007 Sb. Furthermore, a strong positive correlation between the number of people and CO₂ concentrations was shown, and on the contrary, a very weak dependence between the number of people and temperature or RH values was found. In Café B, the assumption that the entrance to the café from a traffic-controlled street would have an effect on higher concentrations of PM_{2,5} was subsequently confirmed. In comparison with the dependence of the concentrations of the mentioned factors on the time of day, the dependence was demonstrated only for CO₂ and PM_{2,5}, the dependence of concentration on the environment of three selected cafes was demonstrated only for PM_{2,5}.

Key words: microclimate, cafes, PM_{2,5}, carbon dioxide, temperature, relative humidity

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté) informace budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená bakalářská práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do systému SIS.

V Praze, dne

Podpis

Poděkování:

Rád bych poděkoval své vedoucí, RNDr. Naděždě Zíkové, Ph.D., za pomoc při sestavení celého experimentu, za cenné rady, čas věnovaný pro doladění veškerých detailů práce a za trpělivost, kterou mi mnohokrát poskytla. Dále děkuji své rodině a příteli za veškerou podporu.

Obsah

Abstrakt.....	2
1 Úvod.....	6
2 Cíle práce	7
3 Teoretická část	8
3.1 Mikroklima.....	8
3.1.1 Faktory utvářející mikroklima	8
3.2 Mikroklima měst	9
3.3 Vnitřní prostory	11
3.3.1 Veřejné vnitřní prostory	12
3.4 Fyzikální činitele mikroklimatu	14
3.4.1 Atmosférický aerosol	15
3.5 Chemické faktory	17
3.5.1 Oxid uhličitý	18
3.5.2 Těkavé organické látky	19
3.6 Biologické faktory.....	19
4 Praktická část	21
4.1 Uspořádání experimentu	21
4.1.1 Charakteristika lokalit	21
4.2 Přístrojové vybavení	22
4.3 Statistické vyhodnocení	23
4.4 Výsledky	25
4.4.1 Kavárna A	25
4.4.2 Kavárna B	28
4.4.3 Kavárna C	32
4.4.4 Vzájemné porovnání výsledků z jednotlivých kaváren	36
5 Diskuze.....	40
6 Závěr	42
Použitá literatura	43

1 Úvod

Kvalita vnitřního ovzduší je pro člověka velmi aktuální téma. S měnícím se životním stylem trávíme ve vnitřních prostorách stále více času. Dnes se jedná o zhruba 80 % z celého dne (Turiel, 1985, Asadi et al 2013). Kvalita vzduchu uvnitř domů, kanceláří, škol nebo jiných soukromých a veřejných budov se tedy stala základním determinantem pro zdravý život (WHO, 2010).

Problematika kvality vnitřního ovzduší zahrnuje řadu oblastí jako ekologie, architektura, chemie, strojírenství či medicína (Mendes, 2008). Má tak multidisciplinární charakter. Vnitřní ovzduší je mimo jiné důležitým faktorem pro posuzování rizik spojených s expozicí znečišťujících látek (Maroni, 1995). Řada studií upozorňuje v souvislosti s globální změnou klimatu na významná zdravotní rizika spojená se zvyšující se úrovní znečištění ovzduší polutanty, například pyly. Právě koncentrace pylů v posledních desetiletích výrazně stoupla a s nimi i počet jedinců s alergickými příznaky, kam patří mimo jiné alergická rýma, zánět spojivek, astma aj. (Patella et al, 2018). Studie z oblasti medicíny prokazují nepříznivé účinky špatné kvality vnitřního ovzduší na lidské zdraví. Mezi nejvíce ohrožené patří starší lidé, děti nebo osoby trpící respiračními chorobami, dále například jedinci vykonávající fyzicky náročné aktivity (Guo et al, 2018, Schwartz, 1997).

Ke zhodnocení kvality vnitřního prostředí v restauračním sektoru a potravinářském průmyslu vznikl zatím pouze omezený počet studií. Tato zařízení jsou přitom důležitá sociální shromaždiště. Díky doplňkovým službám jako je Wi-Fi nebo pracovní plochy se zásuvkami vyhledává mnoho, především mladých, lidí kavárny jako alternativu svého pracoviště. Jedná se však o prostory, kde mohou být pracovníci, ale i skupiny hostů/ zákazníků vystaveni škodlivým polutantům nacházejících se uvnitř v prostoru (Lung et al, 2004, The Economists, 2003). Přitom třeba nezletilé osoby, částí hosté, jsou vůči znečištěnému vnitřnímu ovzduší více citliví. Nemají plně vyvinutou dýchací soustavu a imunitní systém. Je proto důležité nastavit ideální mikroklimatické podmínky, aby mohl správně probíhat jejich rozvoj v učení (Samson et al, 2017, Lee et al, 2000).

Pro účely této práce předpokládáme, že kvalita ovzduší kavárenských prostor se liší dle několika faktorů. Zohledňujeme denní dobu měření a také umístění kavárny, kde bereme v potaz vliv exteriéru na vnitřní mikroklima, a proto se zaměřujeme především na umístění kavárny, ať už do rušné, dopravou řízené ulice, nebo do klidného sektoru. Další na sebe navazující faktory, představují velikost kavárny a počet lidí pohybujících se uvnitř vzhledem k tomu, že vyšší míra koncentrace lidí ve špatně větraném prostoru přispívá ke zhoršení mikroklimatických podmínek. V této práci byly ke stanovení kvality ovzduší vybrány tyto faktory: teplota, relativní vlhkost, koncentrace oxidu uhličitého a množství aerosolových částic v prostředí.

2 Cíle práce

Cílem práce je experimentálně zjistit, zda hodnoty vybraných faktorů utvářejících mikroklima jako je relativní vlhkost, teplota, koncentrace oxidu uhličitého a aerosolových částic uvnitř tří výtípaných kaváren v Praze odpovídají normám přijatelných podle relevantních právních předpisů, kde každá kavárna má svá specifika a odlišnosti oproti ostatním. Výsledky z jednotlivých kaváren poté porovnat mezi sebou a následně i s předepsanými limity pro daný typ prostředí.

S přihlédnutím ke stanovenému cíli práce byly autorem zvoleny tři předpoklady k prozkoumání. Zaprvé předpokládáme, že zmíněné prostory nebudou podléhat přísným kontrolám hygienické služby například oproti nemocnicím a naměřené hodnoty tudíž nebudou odpovídat právním předpisům. Druhým předpokladem je, že v kavárnách majících vchod do dopravou řízené ulice bude koncentrace aerosolových částic větší než u kaváren s vchodem do vnitrobloku či do parku. Jako třetí předpoklad bylo určeno, že se vzrůstajícím počtem lidí v prostoru budou koncentrace oxidu uhličitého růst. Naopak počet lidí nebude výrazně ovlivňovat teplotu nebo relativní vlhkost v kavárnách, protože výtopné a klimatizační systémy zabudované v prostoru kaváren by teoreticky měly být schopny regulovat teplotu na požadovanou hodnotu. Narušení regulované teploty člověkem by mohlo nastat v případě, pokud by v prostorách setrvalo velké množství lidí.

3 Teoretická část

3.1 Mikroklima

Mikroklima je charakterizováno jako klima velmi malých oblastí vyčleněných horizontálně do 1 kilometru, v němž jsou patrné vlivy s jakoukoliv osou rotace víru. Z vertikálního hlediska je rozsah omezen výškou vrstvy, která přiléhá k zemskému povrchu. Právě tam se projevují odlišnosti od okolního podnebí širšího dosahu. Homogenní aktivní povrch, jako jsou lesy, holá půda nebo vodní plocha, je pak nejčastějším činitelem formujícím mikroklima (Středová et al., 2011). Starší literatura uvádí definici mikroklimatu také jako soubor klimatických podmínek panujících při zemi do výšky dvou metrů. Takto při zemi mohou existovat zcela odlišné mikroklimatické podmínky, právě díky vazbě na zemský povrch (Geiger, 1957). Barry a Blanken (2016) mikroklima obecně charakterizují jako klimatické podmínky na malých prostorových škálách mezi zemí a atmosférou. Můžeme tak studovat, pozorovat či měřit mikroklima pater v rámci vegetace nebo pod povrchem půdy (Barry, Blanken, 2016). Rotach a Calanca (2002) pak vysvětlují zmíněný pojem jako „statistický stav atmosféry ve vrstvě, která je přímo ovlivňována charakteristikami pod ní ležícího povrchu“. Dle jejich studie se tedy jedná o dlouhodobý stav s jakousi variabilitou na určitém místě (Rotach, Calanca, 2002). Soubor klimatických podmínek měřených v blízkosti zemského povrchu je proměnlivý, protože mikroklima je ovlivňováno faktory jako je rychlost větru, teplota, vlhkost a světlo. Například samotná existence mikroklimatu velmi závisí na daném rázu vyšších kategorií klimatu, takže při silném proudění se mikroklima nemusí ani vyvíjet (Středová et al., 2011, Geiger, 1965). Soubor klimatických podmínek měřených v blízkosti zemského povrchu je proměnlivý, protože mikroklima je ovlivňováno faktory jako je rychlost větru, teplota, vlhkost a světlo. Například samotná existence mikroklimatu velmi závisí na daném rázu vyšších kategorií klimatu, takže při silném proudění se mikroklima nemusí ani vyvíjet (Středová et al., 2011, Geiger, 1965).

Živé organismy přímo souvisí s mikroklimatem, které ovlivňují, a přitom jsou jím samy ovlivňovány, protože hraniční vrstva mezi atmosférou a zemí je životním prostředím většiny živočichů (Rosenberg et al. 1974). Mikroklima je tedy určitou mírou vnímáno jako determinant ekologických vzorců v rostlinných a živočišných komunitách. Je tedy významným činitelem při ovlivňování ekologických procesů, jako je růst a vývoj organismů, dýchání půdy nebo koloběh živin (JiquanChen et al., 1999).

3.1.1 Faktory utvářející mikroklima

Mikroklima určitého místa má celou řadu faktorů, které působí na různých úrovních. Globální faktory, jako je makroklima nebo zeměpisná poloha, vymezují hlavně hraniční podmínky. Teplota a vlhkost vzduchu a půdy, sluneční záření a rychlost větru patří mezi přední faktory utvářející mikroklima (Barry, Blanken, 2016). Dalšími určujícími pak je například evaporace nebo množství

atmosférických srážek (Busby et al., 1978). Mikroklima specifického území je však utvářeno primárně vlastnostmi povrchu (Rotach, Calanca, 2002). Interakce mezi strukturou a složením vegetace, topografií nebo například vlastnostmi půdy vytváří specifickou variabilitu mikroklimatu (Kovács et al. 2016). Topografií jako jeden z klíčových faktorů se míní nadmořská výška, orientace vůči světovým stranám nebo sklon terénu (Ashcroft, Gollan 2012). Vliv vegetace na mikroklima je znám ze studií již delší dobu (Geiger, 1957). Sleduje se zejména struktura porostu, kde uvádíme například hustotu porostu, průměr kmenů, stupeň vegetačního zápoje nebo přítomnost mrtvého dřeva, dále druhovým složením (Kovács et al., 2017, Weng et al., 2007), typem vegetace (Suggitt et al., 2011) nebo stářím vegetace (Frey et al., 2016). Zmíněný vegetační zápoj dokáže odrazit či částečně pohltit příchozí sluneční záření a tím snížit dopad záření k zemi. Následkem je ochlazení prostředí podrostu nebo zmírnění případných extrémních teplot (Ashcroft, Gollan 2012, Hardwick et al. 2015, Von Arx et al. 2012).

3.2 Mikroklima měst

Mikroklima měst lze chápat jako lokální klima (tedy na místní úrovni města), které je dáno morfologickými podmínkami a městskou strukturou utvářející místní klimatické zóny (Steward, Oke, 2012). Ze studie prováděné v Bahía Blanca (Argentina) byl vyvozen závěr určující zvláštní termohygomrické chování v určitých částech měst, podporující teorii městských klimatických zón. Městské mikroklima zahrnuje prostor, ve kterém jsou voda, vzduch a půda nejvíce znečištěny a představují velmi různorodě strukturované prostory (Dimoudiet al., 2013). Mění přírodní krajinu, významně mění radiační rovnováhu a obsah tepla na urbanizované oblasti (Federico Ferrelli et al., 2018). Městské mikroklima bývá také převážně ovlivněno fyzikálně-urbanistickými geometrickými parametry, zdroji tepla lokální oblasti nebo jinou antropogenní činností.

Klimatické změny utvářející se v oblasti měst jsou označovány termínem městský tepelný ostrov (urban heat island, dále jen UHI). Tepelný ostrov, utvářející se v prostoru měst vlivem vytváření a úniku tepla z prostoru nebo zachycování tepla vlivem vyššího podílu znečišťujících látek v ovzduší, způsobuje vyšší teplotu vzduchu. Jedná se tedy o oblast lokalizovanou nad městskou aglomerací, která má oproti venkovským okolím vyšší teplotou vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry (Sobíšek, 2004). Odhadování intenzity UHI je podmíněno mnoha faktory jako je lokální půdní pokryv, velikost zkoumaného města, celková městská populace, zeměpisná šířka a délka nebo městské parametry (poměr zeleného faktoru, typ zástavby). UHI je jeden z nejvíce dokumentovaných problémů týkající se změny klimatu. Tento jev se od 19. století, kde byl poprvé zaznamenán v Londýně, výrazně navýšil s rozvojem průmyslu a technologií, jako jsou například klimatizace, automobilová doprava nebo topné systémy. Samotný trend urbanizace mající za následek zvětšování plochy UHI vede k dalším potenciálním zkoumaným problematikám, jako je městský skleníkový

efekt, radiační bilance městských kaňonů či ohrožení takzvaného tepelného komfortu (Santamouris, 2019).

Studie uvádějí dva základní typy UHI – tepelný ostrov povrchu města a tepelný ostrov městské atmosféry. V základní charakteristice se liší vznikem, možnou identifikací a klasifikací, časovým průběhem intenzity, maximální a průměrnou intenzitou, dopadem na lidské aktivity nebo možnost jejich zeslabení (Akbari et al., 2008). Definice tepelného ostrova městské atmosféry (Atmospheric Urban Heat Island, dále jen AUHI) pojem vysvětluje jako relativně zvýšenou teplotu vzduchu v urbánních oblastech oproti přírodním oblastem v okolí, kde je vzduch relativně chladnější. Rozdílnost teploty městských a venkovských aktivních povrchů je však stále větší než disparita (různost) teploty vzduchu nad městem a vzduchu okolí (Akbari et al., 2008). AUHI lze vertikálně členit na tepelný ostrov v přízemní vrstvě atmosféry tzv. baldachýnu (UCL – UHI) a tepelný ostrov v mezní vrstvě atmosféry (UBL – UHI). UCL (Urban Canopy Layer) je snadno identifikován stacionárními meteorologickými stanicemi, které mají měřidlo ve výšce dvou metrů, protože bývá ohraničován povrchem zdola a vrcholky stromů nebo střech budov shora (Slabá, 1972). V této vrstvě AUHI je velice významná jakákoliv teplotní změna, protože se zde nachází veškeré dění lidské aktivity (Oke, 1982). V porovnání s UBL (Urban Boundary Layer) vykazuje UCL vyšší hodnoty intenzity a výraznější denní chod (Oke, 1976). Druhý pojem, tepelný ostrov povrchu města (Surface Urban Heat Island, dále SUHI) pojednává přímo o relativně zvýšené teplotě antropogenního povrchu například silnic, chodníků nebo střech oproti aktivním přírodním povrchům v městském okolí. Právě rozdíly mezi přírodními a antropogenními povrchy jsou markantní zejména ve dny, kdy je vyšší pozitivní energetická bilance povrchu než v noci. Rozdíly jsou patrné i při změně ročních období. V létě jsou vyšší hodnoty teplotní disparity než v zimě (Roth et al., 1989).

Daná teplota povrchu přímo ovlivňuje teplotu okolní atmosféry, především v přízemní vrstvě. Urbánní oblasti pokryté antropogenními materiály vykazují daleko vyšší teplotu aktivního povrchu než přírodní povrchy kryté vegetací, které mají zejména v době insolace teplotu povrchu daleko nižší a svůj okolní vzduch tak tolik neoteplují. V urbánních oblastech se akumulované teplo dostává v době negativní energetické bilance zpět na povrch a zapříčiňuje maximální intenzitu AUHI zejména v nočních hodinách. Díky působení větru se vzduch v atmosféře promíchává, dochází tedy k výměně teploty, a proto vztah mezi teplotou aktivního povrchu a teplotou v přízemní vrstvě atmosféry není konstantní (Akbari et al., 2008).

Zvýšenou teplotu lze pozorovat nejen primárně v urbánních zónách, ale v porovnání s rurálními oblastmi také v suburbánních zónách. V období, kdy nastává pozitivní energetická bilance povrchu, můžeme pozorovat případy teplotně chladnějších vysoce urbánních oblastí (městská centra) oproti méně urbanizovaným plochám (rezidenční oblasti). Tento jev je popsán jako Urban Cool Island (UCI). Rozdíl teplot je pak oproti UHI výrazně nižší (Rizwan et al, 2008, Shigeta et al., 2009). Forma

UCI nazývaná Greenspace Cool Island (GCI) charakterizuje schopnost zelených ploch díky zastínění povrchu a vyšší absorpci krátkovlnného záření vytvářet zmíněný UCI ve městech, která se projevuje snížením povrchové a lokální teploty vzduchu. Studie GCI poukazující na vztah mezi charakteristikami zeleného prostoru a chladivým účinkem svého okolí však nejsou doposud plně prozkoumány (Srivanit, Iamtrakul, 2019).

3.3 Vnitřní prostory

Termínem vnitřní prostředí definujeme uzavřený prostor. Tento prostor působí na člověka hned několika faktory. Nejvýznamnější, primární faktory, jsou fyzikální, mikrobiální, biologické nebo chemické (Zmrhal, 2014). Vnitřní prostory se tak mohou stát činiteli majícími zásadní vliv na pohodu a zdraví člověka, který se zde vyskytuje. Z pohledu druhé strany také člověk aktivně či pasivně ovlivňuje svým pobytem nebo činností samotný prostor (Dufka, 2005), zejména vzduch. Příkladem je vaření (užívání plynových sporáků nebo karmy), aplikace čisticích prostředků pro udržení čistoty domácnosti nebo chování zvířat. Zmíněnými činnostmi dochází ke zvýšení koncentrace roztočů v místnosti, plísní či jejich spor v místnostech (Hůnová, Janoušková 2004). Pro správnou cirkulaci vzduchu v prostoru je proto vhodné efektivní větrání, které snižuje zvýšené koncentrace CO₂, způsobené člověkem, vlhkost a tím i vznik možných plísní (Drkal, Lain, Zmrhal, 2015; Srdečný, Macholda, 2004).

Velké množství literatury uvádí koncentrační poměr znečišťujících látek (např. těkavých organických látek), které jsou určeny k odhalení relativního vztahu vnitřního a venkovního prostředí (Pope, Dockery, 2006). Samotná konstrukce budovy ovlivňuje jak vnitřní, tak i vnější mikroklima. Špatná kvalita vnitřního vzduchu v různých typech veřejně prospěšných budov, například nemocnic, může významně ovlivnit nárůst výskytu různých typů civilizačních onemocnění (American Society of Heating, 1989).

Typ látek znečišťujících vnitřní ovzduší lze definovat několika parametry. Intenzita výměny vzduchu, specifčnost daného místa, emise z různých typů vnitřních materiálů a z vybavení prostor, větrací systém a čištění vzduchu přiváděného do budovy, přítomnost vnějších zdrojů emisí a tvorba sekundárního znečištění (Uhde & Salthammer, 2007). Zhruba od sedmdesátých let dvacátého století došlo v důsledku energetické krize ke změnám koncepcí ve výstavbě obytných a veřejných budov, kde záměrem bylo vytvořit místnosti, které by byly co nejvíce vzduchotěsné. K plnění této funkce se používala PVC okna, tepelná izolační vlna nebo izolace zdí polystyrenem vhodné tloušťky. Došlo tak k praktické eliminaci ztrát tepelné energie a proudění vzduchu mezi vnitřním prostorem budovy a venkovním prostředím. Z ekonomického hlediska byla zmíněná změna koncepce budov zcela správným krokem. Z hlediska vnitřního mikroklimatu však nedostatečná výměna vzduchu mezi vnitřním prostorem a venkovním prostředím měla za následek nárůst chemických sloučenin ve vnitřním prostoru budov, mající často negativní účinky na lidské zdraví (Zhang et al, 2003). Korelace výskytu

nemocí mezi takzvanými uživateli vzduchotěsných budov s úrovní obsahu mnoha znečišťujících látek tak ovlivnila zásadně pohled na hodnocení kvality ovzduší vnitřních prostor (Zhang et al, 2003).

V závislosti kvality ovzduší na zdraví jedince je vymezen pojem Syndrom nemocné budovy, který upozorňuje na možná onemocnění postihující jedince v prostředí se špatnými mikroklimatickými podmínkami v interiéru. Jedná se o nespecifické projevy různé závažnosti. Příznaky nemocí se utvářejí primárně vlivem znehodnocení vzduchu chemickými polutanty. Hlavními příznaky je únava, malátnost, nesoustředěnost, nepravidelná bolest hlavy, respirační potíže, které mohou při zhoršení přejít v alergie, podráždění spojivky, infekce dýchacích cest nebo dermatitidy. Potíže jsou pouze lokální, jedinci pociťují pocit nepohody, někdy mohou být až stresováni zmíněnými příznaky. Po opuštění prostoru rychle tyto příznaky ztrácejí. Hlavními škodlivinami jsou klimatizace a kouření v místnostech. Zajištěním dostatečného větrání, udržováním prostoru v dostatečné čistotě a nastavením vhodné teploty lze předejít syndromu nemocné budovy. Pro zlepšení je vhodné omezit nábytek a přístroje v interiéru. Vhodným postupem je obměna klimatizace za lepší model nebo, v nejhorších případech, zdravotně závadnou budovu zbourat a postavit novou, zdravotně nezávadnou (Provazník, Komárek, 2004).

3.3.1 Veřejné vnitřní prostory

Kvalita ovzduší vnitřních veřejných prostor byla předmětem několika studií kvůli rostoucímu znepokojení komunity vědeckých pracovníků ohledně účinků na zdraví jedince pobývajících v prostoru se špatnými mikroklimatickými podmínkami, zejména kvůli tomu, že lidé tráví v dnešní době více času v interiéru než v exteriéru (Canha et al, 2012). Z dostupných literárních zdrojů lze vyčíst, že člověk průměrně stráví až 40 % svého každodenního času ve veřejných prostorech. Vybrané sociální skupiny, například děti ve škole, zůstávají na těchto místech nenáhodným a regulovaným způsobem, tedy míra vystavení škodlivým látkám ve vzduchu jsou odlišné oproti skupinám jiným, například při jednorázových návštěvách v kancelářích (Samson et al, 2017).

Dle analýzy literárních zdrojů zaměřujících se na zhodnocení ovzduší vnitřních veřejných prostor byly zpozorovány dva hlavní faktory mající zásadní vliv na přítomnost škodlivých chemických sloučenin ve vnitřních prostorech. Prvním jsou používané druhy dokončovacích a dekorativních materiálů, včetně stavebních a konstrukčních materiálů. Druhým pak veškeré prováděné druhy činností, včetně činností prováděných člověkem. Každý pokoj by měl být posuzován v rámci zmíněných faktorů jako individuální specifické mikroprostředí, kde jsou zvažovány fyzikálně-chemické faktory jako proměnné vzhledem ke kvalitě vnitřního ovzduší. Primárním je dle pozorování odborníků definovat zdroje emisí, dostávajících se do vnitřních prostor, například možná blízkost dopravních cest nebo chemického složení vzduchu v interiéru v rámci zasazení budovy do specifické krajiny (Uhde, Salthammer, 2007). Aby bylo dosaženo zdravého vnitřního prostředí, je potřeba zajistit nejen čistý venkovní vzduch, ale rovněž omezit používání

spotřebních výrobků podílejících se na zvyšování VOC (těkavé organické látky). Z dlouhodobého hlediska by bylo vhodné sáhnout po výrobcích obsahující alternativní bezpečná rozpouštědla (Srivastava et al, 2007).

Díky široké rozmanitosti a specifičnosti veřejných budov mohou být kvalitativní a kvantitativní skladby vnitřního vzduchu podrobeny dynamickým změnám. Z tohoto důvodu nemohl být dosud vypracován žádný universální právní předpis upravující vnitřní mikroklima, který by zohledňoval informace o typu a přípustných hodnotách koncentrace chemických sloučenin ve veřejných prostorech. Mnohdy tak dochází k porovnávání výsledků vědeckých prací hodnotících mikroklima vnitřních prostor s informacemi obsaženými v právních předpisech, které definují typ a koncentraci dané chemické sloučeniny v atmosférickém vzduchu (Śmiełowska et al. 2017).

Veřejný vnitřní prostor klasifikovaný jako pracovní prostředí je podrobně zpracován předpisem pro mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí budov vlády č. 361/2007 Sb., kde se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Mikroklimatické podmínky jsou zde rozčleněny do čtyř kategorií, které jsou hodnoceny mírou nespokojenosti zaměstnanců s tepelnými podmínkami prostředí. Rozlišují se optimální, přípustné, dlouhodobě či krátkodobě únosné. Základním teplotním kritériem je operativní teplota t_o (C°), která se počítá z výsledné teploty vzduchu vnitřního ovzduší a rychlosti proudění vzduchu pro jednotlivé pracovní činnosti, charakterizované energetickým výdejem zaměstnance. Celoroční požadavky platné pro mikroklimatické podmínky ostatních typů prostředí, jakými jsou například školní zařízení, jsou stanoveny ve vyhlášce č.410/2005 Sb. Pro stravovací zařízení je platná vyhláška č. 137/2004 Sb., v novelizovaném znění 602/2006 Sb. (Mathauserová, 2008). Zmíněná novelizace proběhla při zapracování a převzetí několika Nařízení Parlamentu a Rady (ES) (Vyhláška č. 602/2006 Sb., MZ, 2006). Novelizací došlo k zániku všech hygienických požadavků na prostory určené stravovacím službám, nevyjímaje požadavků na mikroklimatické podmínky. Z důvodu bližší charakteristiky prostor, které slouží jako pracovní i pobytové místo, lze použít nařízení vlády č. 316/2007 Sb. pro pracovní prostředí – třída práce I. Ohledně požadavků na větrání je zákonem vymezena hodnota dávky vzduchu na osobu na pracovišti podle typu prováděné činnosti. Pro stravovací zařízení, kategorizovaná jako třída práce I, je požadovaná dávka vzduchu 50 m³/h (metr krychlový za hodinu) (Mathauserová, 2008).

Tab. 1: Celoročně a celosměnově přípustné mikroklimatické podmínky. Operativní teplota vzduchu je stanovena pro relativní vlhkost vzduchu 60 % - podle NV č. 361/2007 Sb. (Mathauserová, 2008)

Třída práce	E. výdej M [W.m ⁻²]	Operativní teplota t_o [C°]			Rych. proud. v_a [m.s ⁻¹]	Rel. vlhkost rh [%]
		t_o min	t_o opt	t_o max		
I	≤ 80	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 70

IIa	81 až 105	18	20 ± 2	27	0,1 až 0,2
IIb	106 až 130	14	16 ± 2	26	0,2 až 0,3
IIIa	131 až 160	10	12 ± 2	26	0,2 až 0,3
IIIb	161 až 200	10	12 ± 2	26	0,2 až 0,3

3.4 Fyzikální činitele mikroklimatu

Mezi fyzikální činitele ovlivňující mikroklima vnitřních prostor patří teplota, vlhkost vzduchu (včetně jeho cirkulace a tlaku). Literatura zmiňuje další faktory, jako je vliv zvuku, přítomnost radonu nebo aerosolových částic na celkovou kvalitu vnitřního ovzduší (Dufka, 2005).

V místnostech je důležitá regulace teploty dle roční doby nebo dle aktuálního stavu venkovní teploty. Nejvhodnější teplota pro člověka je uváděna v rozmezí hodnot 20-22 °C. Dále rozlišujeme ideální teplotu v letním a zimním období. V letním období by vnitřní teplota neměla přesáhnout 26 °C, v zimě je uváděno rozmezí vytápění 19,5-23,5 °C (Dufka, 2005).

Vlhkost se ve vnitřních prostorech přirozeně vyskytuje a nedokonalým odvodem může docházet ke zvýšené kondenzaci. Významným činitelem tohoto jevu je cyklická změna ročního období, projevující se pak například větráním prostor. Jedná se o negativní vliv, protože pokud vnitřní teplota rosného bodu převyšuje teplotu stěn, začne docházet ke zvlhnutí stěn a možnému výskytu plísní (Zmrhal, 2014, Dufka, 2005). Vlhkost v domě lze snížit například efektivním vytápěním či užitím ventilačních systémů a udržet tak hodnotu vlhkosti kolem 60 % (Balík, 2005). Hodnota vlhkosti je opět proměnná s ročním obdobím. Optimální vlhkost by se v letních měsících měla pohybovat okolo 40-60 %, v zimních měsících pak 20-40 % (Dufka, 2005). V jarních měsících trpí velké vnitřní nevytápěné místnosti, protože jsou po zimě prochládlé a venkovní vzduch dosahuje vyšší teploty. Příkladem jsou staré historické stavby, například hrady, zámky či kostely, kde vlivem větrání dochází ke kondenzaci vlhkosti na studených stěnách (Balík, 2008).

Hluk je dalším z řady fyzikálních faktorů. Má především negativní účinky na lidskou pohodu. Zdroji hluku jsou například venkovní doprava, ve vnitřním prostředí se pak hluk může vytvářet např. z chodu domácnosti. Pro člověka jsou vjemově nejbližší zvuky o frekvenci 1000-4000 Hz. Zvuky o frekvenci okolo 4000 Hz jsou člověkem těžko slyšitelné vlivem poškození sluchu hlukem. Už zvuky o vysoké zvukové frekvenci počínající hodnotou 2000 Hz jsou schopny působit rušivě. Hluk o intenzitě vyšší než 30 dB pak negativně působí na nervový systém člověka. Od 90 dB výš dochází k ohrožení sluchu a hluk od 120 dB dokáže ničit buňky a tkáně (Bencko, 2006).

Dalším faktorem je neionizující záření. V dnešní moderní době je člověk více vystaven mikrovlnám a radiovlnám, ať už z televizorů nebo mobilních telefonů. Toto elektromagnetické záření, vytvářející se v naší bezprostřední blízkosti, lze z pohledu frekvence charakterizovat jako

neionizující. Ze zdravotního hlediska ale toto záření může vyvolávat nespecifické neuropsychické a tepelné potíže (Bencko, 2006).

Mezi následující činitele působící negativně na vnitřní prostředí je radon. Jedná se o radioaktivní plyn vznikající rozpadem rádia. V přírodě se radon nachází například v podložních horninách nebo v půdě. Jelikož je radon plyn, do lidského organismu se může dostat vdechováním. Nedochází však k jeho kumulaci a radon se tak vydechováním dostává zpět do prostředí. Problémem je tvorba prvků olova či polonia právě z radonu, které se navazují na aerosol, ten po vdechnutí organismem přivádí zmíněné prvky do dolních dýchacích cest. V organismu nakonec dochází k ozařování (Hůnová, Janoušková, 2004).

3.4.1 Atmosférický aerosol

Atmosférický aerosol je suspenze pevných či kapalných částic, rozptýlených v plynu. Jedná se o polyfázový systém obsahující tisíce sloučenin s mnoha různými funkčními skupinami. Poprvé byl tento termín ve vědě použit v roce 1920 pod názvem hydrosol, kdy tento název charakterizoval suspenzi pevných částic v kapalině. Velikost částic je vyjádřena pomocí takzvaného aerodynamického průměru (aerodynamickým průměrem se rozumí průměr kulové částice o hustotě 1000 kg/m^3 , která se usazuje stejně rychle jako částice sledovaná). Studium atmosférického aerosolu je důležité především kvůli jeho vlivu na životní prostředí, kdy aerosol významně ovlivňuje celkové klima, viditelnost a kvalitu života. Působí tedy jak na vegetaci a faunu, tak i na člověka a jeho činnost (Braniš, Hůnová, 2009; Hinds, 1999).

3.4.1.1 Velikost a typ částic

Velikost částic je důležitá pro určení chování částic a popis fyzikálních vlastností. Částice se dělí na jemné a hrubé. Pomůckou pro selekci částic aerosolu dle velikosti je aerodynamický průměr $2,5 \mu\text{m}$ (Braniš, Hůnová, 2009; Hinds, 1999). Přesná kategorizace vzorku částic je velmi obtížná, protože v prostředí s vysokou relativní vlhkostí se mohou jemné částice formovat do frakcí částic hrubých. V opačném případě, díky nedostatku relativní vlhkosti, se pak hrubé částice mohou stát součástí částic jemných (Claiborn, 2000; Geller, 2004).

Původem hrubých částic jsou primární aerosoly vzniklé za působení mechanických sil na pevnou hmotu. Příkladem jsou částice uvolněné z povrchové těžby, zemědělství, půdní částice, mořský aerosol, bioaerosoly nebo částice vzniklé vulkanickou činností. Aerodynamický průměr těchto částic nabývá hodnoty větší než $2,5 \mu\text{m}$ (Hinds, 1999; Hůnová & Janoušková, 2004). V atmosféře tyto částice setrvávají několik hodin nebo dní, protože kvůli své velikosti poměrně dobře sedimentují. Díky turbulentnímu proudění mohou částice setrvat v atmosféře déle (Hinds, 1999).

Jemné částice s aerodynamickým průměrem menším než $2,5 \mu\text{m}$ (Pekkanen et al., 2007; Donaldson et al., 1998) jsou tvořeny zejména sulfáty, amonnými ionty, nitráty, některými kovy nebo

organickým či elementárním uhlíkem. Částice pak vytváří dva módy, nukleační a akumulární. Nukleační mód definuje ultrajemné částice, které mají aerodynamický průměr menší než 0,1 μm . V městském prostředí dominují zdroji UFP (ultrafine particles / ultrajemné částice) přímé emise výfukových plynů nebo sekundární zdroje částic, vytvářející se fotochemickými nebo fyzikálními procesy v atmosféře. Doba setrvání UFP v atmosféře je velmi krátká, protože částice jsou schopny koagulace s částicemi většími. Jedná se o řády vteřin či desítek minut. Tato frakce je velmi početná, ale do celkového objemu aerosolu přispívá jen málo (Fine et al., 2004; Deng et al., 2019). Akumulační mód tvoří naopak podstatnou hmotnost částic aerosolu. Aerodynamický průměr dosahuje hodnoty v rozmezí 0,1 až 0,5 μm . Díky nízké schopnosti sedimentace jsou schopny vydržet v atmosféře v řádech dnů až týdnů. Jedná se také o nejpočetnější skupinu v troposféře (Braníš, Hůnová, 2009).

3.4.1.2 Zdroje atmosférického aerosolu

Atmosférické aerosolové částice se mohou emitovat přírodními nebo antropogenními zdroji. Díky určení vzniku pak aerosol dále dělíme na primární či sekundární. Primární aerosol má přímý emisní zdroj. Příkladem může být vulkanický prach, mořská sůl, rostlinné zbytky, živočišné fragmenty, viry, řasy, houby nebo třeba saze. Sekundární organický aerosol (SOA) se v atmosféře vytváří z biogenních těkavých organických sloučenin (VOC). Patří sem například nitráty z NO_x , organická hmota z těkavých organických látek, sulfáty z SO_2 a biogenních zdrojů (Hinds, 1999). Převládající směry větru mohou významně ovlivnit koncentraci aerosolových částic. Primární částice jsou zředěny ve vzdálenosti a čase, kdežto u sekundárních znečišťujících látek se může zvýšit koncentrace na relativně velké vzdálenosti (Belis et al., 2012).

Hlavní složku utvářející městské mikroklima představují často emise z vozidel. Emise se generuje již z motoru nebo se utváří ve vzduchu kondenzací a nukleací horkých plynných emisí. Částice vytvářené spalováním obsahují často sloučeniny železa, které se vytváří v prostředí kolejí vlaků či tramvají, v procesu opotřebování kolejí. Dalšími možnými zástupci jsou pak například sloučeniny uhlovodíků či sloučeniny síry. Tyto částice se nacházejí v akumulárním režimu s velikostí od 30 nm do 0,5 μm (Vu et al., 2015).

3.4.1.3 Vliv PM částic na lidské zdraví

Prachové částice jsou jedním z hlavních znečišťujících látek vnitřního prostředí. Oproti PM_{10} lze $\text{PM}_{2,5}$ považovat za nejvíce nebezpečné, protože mohou představovat riziko pro zdraví jedince z důvodu snadného vdechnutí hluboko do plic a přivádění škodlivých látek přímo do organismu (Meier et al, 2015). Maximální koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$, který definuje vyhláška č. 6/2003 Sb. stanovující přípustné koncentrace pro vnitřní prostory budov, jsou 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Vyhláška č. 6/2003 Sb., MZ, 2003). V globálním měřítku bylo zhruba 3,8 miliónů úmrtí přičítáno znečištění vzduchu vysokou koncentrací PM částicemi. Více než 90 % úmrtí v důsledku znečištění vzduchu se objevuje zejména

v Africe a Asii. Vzhledem k vystavení vyšším koncentracím PM pak dochází k celé řadě nepříznivých zdravotních následků jak u dětí, tak dospělých. Jedná se o onemocnění dýchacích cest, nádorová onemocnění nebo oční problémy. (WHO, 2018).

3.5 Chemické faktory

Chemičtí činitelé jsou dalším důležitým ukazatelem stavu a kvality vnitřních prostor. Nejsledovanějšími chemickými faktory, ovlivňující vnitřní prostředí, jsou oxid dusičitý, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, oxid uhličitý či jiné organické látky (Hůnová, Janoušková, 2004).

Oxid dusičitý je plynná látka, která se do organismu dostane pouze vdechnutím. U člověka nejsou jednoznačně prokazatelné negativní příznaky po vystavení vyšší koncentrace oxidu dusičitého. Některé studie uvádí možnost výskytu respiračních nemocí, a to pouze při dlouhodobé expozici jedince, jiné studie nikoliv (Hůnová, Janoušková, 2004). Důvodem možného zvýšení koncentrace oxidu dusičitého v místnostech je nedokonalé spalování plynových spotřebičů nebo užívání cigaret v uzavřené místnosti. Dostatečná cirkulace vzduchu dokáže koncentrace NO_2 eliminovat (Frouz, Moldan, 2015).

Oxid siřičitý se do domácností dostává především větráním z venkovního ovzduší. Tento jedovatý plyn je však v dnešní době značně eliminován, především díky celosvětovému snižování emisí oxidů síry. Můžeme se ale setkat stále se značně specifickými oblastmi, kde jsou vysoké koncentrace, jako je například oblast města Ostravy nebo Ústí nad Labem. Vnitřním zdrojem jsou kamna na uhlí nebo petrolej. Díky reakci oxidu siřičitého s omítkami nebo malbami se jeho koncentrace poměrně rychle snižuje. U člověka při kontaktu dochází k dráždění dýchacích cest, projevem je následná možná infekce v dýchacích cestách nebo respirační potíže (Hůnová, Janoušková, 2004).

Další chemický činitel, oxid uhelnatý, bývá trvale obsažen ve výfukových plynech, především u nesprávně upravených motorů (Podstatová, 2009). V domácnostech dochází k jeho zvýšené koncentraci vlivem nedokonalého spalování tuhých paliv v kamnech nebo krbech, dále pak nedokonalým spalováním plynu v plynových sporácích v kombinaci se špatným odvětráváním místnosti. Cigaretový kouř obsahuje také značné množství CO. Tento jedovatý plyn, mající fibrinolytické, perinatální, kardiovaskulární a neurologické účinky, se po vdechnutí ihned naváže na hemoglobin a díky tvorbě pevné vazby brání navázání kyslíku, protože jeho potenciální vazba s hemoglobinem je méně stabilní. Možná otrava CO má příznaky motání hlavy, únavy a zvracení (Hůnová, Janoušková, 2004). Vysoká koncentrace CO je velmi nebezpečná pro život, protože plyn nemá specifický zápach, je bezbarvý a není tedy lehké jej identifikovat. Může skončit až udušením člověka (Dufka, 1998).

Cigaretový kouř se jako další chemický faktor může stát v uzavřených místnostech primárním znečišťovatelem ovzduší. Nepříznivé látky dostávající se do ovzduší při užívání jsou zejména dehet,

zmíněný oxid uhelnatý, toluen nebo formaldehyd. Vznik dětských alergií může být příčinou právě cigaretového kouře (Zmrhal, 2014). Benzen, který se uvolňuje do ovzduší z chemikálií užívaných pro čištění domácností, má jeden ze svých emisních zdrojů také právě cigaretový kouř. Jedná se o karcinogen, který se nevyskytuje v ovzduší v kritických koncentracích (Frouz, Moldan, 2015).

3.5.1 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO_2) můžeme obecně charakterizovat jako bezbarvý plyn bez vůně, zápachu či chuti (Zmrhal, 2014). Jedná se o nejedovatý plyn, který nepodléhá oxidaci (Flemr, Dušek, 2007). Je snadno rozpustný ve vodě, svými vlastnostmi pak dokáže snižovat její pH (Kutěj, Hanzal, 2002).

CO_2 nepatří mezi typické vnitřní znečišťující látky, především díky faktu, že zdrojem jsou sami lidé (NHAPS, 2001). Dle pozorování se vlivem lidské aktivity za posledních 25 let zvýšila koncentrace CO_2 o 50 % oproti preindustriální době. Od doby ledové do začátku průmyslové éry byla stabilní hodnota plynu 278 ppm (částic na milion) (WMO, 2016). Dnes je oxid uhličitý uváděn v hodnotách kolem 415,79 ppm (WMO, 2020). Pro srovnání, v roce 2015 se uváděla hodnota 400 ppm, v roce 2016 poté 403,3 ppm. Podle WMO (Světová meteorologická organizace) není v dohledné době vzrůstající trend zastavitelný (WMO, 2016). Faktory podílející se na aktuální koncentraci CO_2 jsou denní doba nebo míra urbanizace prostředí (Zmrhal, 2014). Další důležitý faktor, který popisuje Keeling (1960) ve své práci, je závislost koncentrace CO_2 v ovzduší na sezónní době, kdy od října do května nabývá CO_2 vyšších hodnot oproti zbylým měsícům. Jedním z důvodů nárůstu koncentrací pak udává klidovou fázi vegetace v zimních měsících, primárně v mírném pásu (Keeling, 1960).

CO_2 je možným indikátorem míry znečištění vnitřního prostředí (Zmrhal, 2014). Zdrojem ve vnitřním prostředí je zejména dýchání a metabolismus člověka, kde plyn je vytvářen buněčným dýcháním jako odpadní produkt Krebsova cyklu (NHAPS, 2001). Se vzrůstajícím počtem lidí v místnosti a nedostatečným větráním vzrůstá i koncentrace zmíněného plynu (Hůnová, Janoušková, 2004). Oxid uhličitý může mít nežádoucí účinky na lidský organismus. Běžné koncentrace nemají žádné život ohrožující účinky, vysoké koncentrace však dovedou značně znehodnotit pohodu lidí v místnosti (viz Tabulka 2). Klasickými příznaky je únava, bolest hlavy, nesoustředěnost, pocity nevolnosti (Drkal, Zmrhal, 2018). Při koncentracích okolo 2000 ppm se začínají u člověka projevovat problémy s rozhodováním, snižuje se soustředěnost. Koncentrace od 4000 ppm mohou vyvolávat u člověka bolesti hlavy nebo projevy apatičnosti. Životu ohrožující koncentrace se pohybují v rozmezí od 10 000 ppm výš. Člověk by však musel být takovým koncentracím vystaven dlouhodobě (Bencko, 2006). Jednoduchým řešením, předcházející možnost zvýšení koncentrace, je dostatečné větrání místností (Drkal, Zmrhal, 2018).

Tab. 2: Koncentrace CO₂ a vliv na člověka (Drkal, Zmrhal, 2018, str. 9)

Koncentrace CO ₂ [ppm]	Místo výskytu CO ₂ , vliv na člověka
400-700	koncentrace ve venkovním prostředí
800-1 200	vyhovující koncentrace CO ₂ v obytných prostorách
1 500	maximální přípustná koncentrace CO ₂ v obytných prostorách
> 1 500	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
> 2 500	ospalost, letargie, bolesti hlavy
> 5 000	nedoporučuje se delší pobyt

3.5.2 Těkavé organické látky

VOC (volatile organic compounds) jsou významné toxické polutanty, nacházející se v nižších vrstvách atmosféry, průmyslových oblastech a městských aglomeracích. Vlivem své toxicity způsobují celou řadu problémů v oblastech životního prostředí a lidského zdraví. K uvolnění dochází vlivem řady dopravních, průmyslových a komerčních aktivit (Moore, 2016). Společnou charakteristikou VOC je snadná reakce s NO_x. Sloučeniny, které jsou méně reaktivní, setrvávají v atmosféře delší dobu. Pod VOC se řadí uhlovodíky (alkany, alkeny, aromáty) a deriváty uhlovodíku (alkoholy, étery, aldehydy, ketony, kyseliny, estery, aminy, heterocykly). Ty nabývají v interiéru mnohonásobně vyšší hodnoty než v exteriéru. Zdroje těchto látek bychom mohli detekovat z různých stavebních materiálů nebo spotřebních výrobků v našich domácnostech.

V ovzduší vnitřního prostředí bylo detekováno přes 900 látek VOC. U některých je známý negativní účinek na zdraví, ovšem s mnohonásobně vyšší mírou koncentrace v prostředí, než ve které se běžně nachází. Všeobecné zdravotní účinky VOC jsou od smyslového podráždění po behaviorální, až hepatotoxické účinky (Fantuzzi et al., 1996). Dosud je prakticky nemožné dosáhnout nulové hodnoty VOC, avšak člověk je dnes schopen standardizovat hodnoty na úroveň, která není pro jedince nebezpečná (Hung et al, 2020).

3.6 Biologické faktory

Mezi biologické faktory, ovlivňující významně vnitřní prostor pro člověka, se řadí plísně a její spory, viry, bakterie a roztoči. Jmenovaní zástupci jsou schopni způsobovat alergické reakce a zdravotní potíže. Zdroj se různí, přenos v prostoru je zejména prachovými částicemi (Provazník, Komárek, 2004).

Bakteriální znečištění v domácnostech má primárně na svědomí člověk. Se vzrůstajícím počtem lidí v prostoru se zvětšuje i počet bakterií. Faktory jako je velikost domácnosti, větrání nebo činnost lidí ovlivňují množství bakterií v prostoru. U virů probíhá proces infekce prostředí stejně jako u bakterií, opět záleží na velikosti prostoru, počtu lidí v místnosti nebo větrání.

Roztoči se řadí mezi parazity, kteří žijí hlavně v koberecích, matracích, lůžkovinách nebo vlněných látkách. V těchto prostředích také probíhá jejich reprodukční cyklus. Ideálním prostředím pro ně je vlhkost v rozmezí 50-80 % a teplota okolo 25 °C. Roztoči jsou typickým alergenem,

v prostředí se dají však pouze minimalizovat, úplná redukce není možná. Snižování počtu roztočů v prostoru je možná častým vysáváním koberců, matrací, čalouněného nábytku a častým praním lůžkovin. Ideální je kvalitní vysavač s filtrem, bránící zpětnému vniknutí prachu do prostoru (Provazník, Komárek, 2004).

Plísně, také nazývané mykromycety (mikroskopické vláknité houby), jsou eukaryotické organismy s aerobním metabolismem, řadící se do říše hub. Plísně jsou strukturálně dělené na těla (hyfy), která se větví do podhoubí (mycelium). Mycelium pak vytváří typické zbarvení (šedá, černá, bílá, žlutá, zelená, modrá, béžová), díky kterému lze plísně pozorovat. Jejich rozmnožovací částice se nazývají spory, mohou se rozmnožovat jak pohlavně, tak nepohlavně (Paříková, 2001). Plísní je nespočet druhů a každá plíseň vytváří různá onemocnění. Vdechováním plísní vzniká specifický typ alergie, a to mykoalergie. Požití mykotoxinů ze znehodnocených potravin může mít také negativní účinky na lidský organismus. Mezi zástupce způsobující vážnější onemocnění patří plíseň rodu *Aspergillus*. Může vyvolávat záněty uší nebo kůže, záněty vedlejších nosních dutin, záněty plic nebo dokonce astma. Postižení průdušek nebo plic způsobuje například plíseň rodu *Alternaria* (Klánová, 2013). Onemocnění plísněmi je označeno termínem mykóza. Výskyt onemocnění úzce souvisí s aktuálním stavem imunitního systému jedince, tedy pokud nemá jedinec oslabenou imunitu, onemocnění mykózou u něj nenastane (Lobovská, 2002).

4 Praktická část

4.1 Uspořádání experimentu

Měření mikroklimatu v kavárenských prostorách probíhalo ve dnech 13., 15., 17., 19. a 21. ledna, dále pak 4., 6., 8., 10. a 12. února v roce 2019 (viz Tabulka 3). Zimní období bylo pro měření vybráno z důvodu nárůstu $PM_{2,5}$ kvůli horším rozptylovým podmínkám a aktivnějšímu využívání tepelných zdrojů. Pro výzkum byly vybrány tři kavárny nacházející se v centru města Prahy tak, aby každá měla svá specifika, avšak společný alespoň jeden znak s jinou kavárnou. Všechny tři kavárny jsou pobočkami jedné mezinárodní značky. Z důvodu zachování diskrétních informací o kavárnách nebude na základě dohody s managementem kaváren název značky v této práci zveřejněn. V bakalářské práci budou dále uváděny jako kavárna A, B a C a více jsou popsány v kapitole 4.1.1.

Měření probíhalo ve třech denních fázích, kdy na každé kavárně probíhalo v časovém úseku dvou hodin periodicky měření v ranních, odpoledních či večerních hodinách (viz Tabulka 3). Přístroje byly před měřením umístěny do prostoru kavárny tak, aby nenarušovaly chod kaváren, nerozptylovaly personál či zákazníky nebo aby nebyly na obtíž při úklidu místnosti, avšak umístění bylo při každém měření stejné. Měřicí zařízení byla situována vždy na stole o výšce 75 cm a v dostatečné vzdálenosti od dveří či oken.

Tab. 3: Přehled dní a denních dob měření v kavárnách

Den měření	Datum	Denní doba		
		Kavárna A	Kavárna B	Kavárna C
1	13.1.	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00
2	15.1.	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30
3	17.1.	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30
4	19.1.	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00
5	21.1.	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30
6	4.2.	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30
7	6.2.	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00
8	8.2.	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30
9	10.2.	18:00 – 20:00	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30
10	12.2.	6:30 – 8:30	15:30 – 17:30	18:00 – 20:00

4.1.1 Charakteristika lokalit

Prostor označený jako Kavárna A je umístěn v centru města Prahy v kancelářském komplexu. Budova je nová, stavby byly dokončeny v roce 2010. Vchod kavárny je orientován do vegetací osázeného vnitrobloku. U ulice Na Florenci, přiléhající ke vchodu do vnitrobloku, byla zjištěna

intenzita dopravní sítě za rok 2019 v počtu 6 800 veškerých vozidel projíždějících ve všední dny v časovém rozmezí 0-24 hodin (TSK Praha, 2020). Celá užívaná místnost kavárny má plochu o výměře 22 m², průměrný počet osob v kavárně je 10. Jedná se tedy o prostorově nejmenší a nejméně navštěvovanou kavárnou ze tří vytipovaných.

Kavárna B se nachází v centru města Prahy, stejně jako zmíněná kavárna A. Je součástí větší historické budovy, která podstoupila významnou rekonstrukci v roce 2009. Vchod je umístěn do dopravou řízené ulice, která bývá především v denních hodinách často vytižena. Konkrétně dle zdroje TSK (Technická správa komunikací) byla zjištěna intenzita dopravy za rok 2019 na sledované síti v počtu 14 628 veškerých vozidel projíždějících ve všední dny v časovém rozmezí 0-24 hodin (TSK Praha, 2020). Na ulici není patrná žádná vegetace. Užívaná místnost kavárny má plochu o výměře 96 m² a průměrný počet osob v kavárně činí 28. Jedná se tedy o kavárnu střední velikosti.

Třetí vybraná budova, Kavárna C, je umístěna opět v centru města Prahy, konkrétně ve staré historické části města. Tato kavárna byla otevřena měsíc před zahájením měření, jedná se o zcela nové či zrekonstruované prostory. Vchod je orientován do turisticky hojně navštěvovaného náměstí, s minimálním vegetačním zastoupením a prakticky žádnou dopravou řízenou komunikací. Celková obytná plocha kavárny činí 102 m² a průměrný počet osob je 35. Jedná se tedy o největší sledovanou a navštěvovanou budovu.

4.2 Přístrojové vybavení

Pro zjištění koncentrací aerosolových částic, konkrétně PM_{2,5}, byl použit přístroj DustTrak DRX (model 8533, TSI, dále jen DustTrak). DustTrak je laserový nefelometr, který měří rozptyl světla na částicích a počítá hmotnostní koncentrace aerosolových částic pěti velikostních frakcí (PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀ a PM_{TOTAL}) v reálném čase. Přístroj je schopen pracovat v rozmezí koncentrací aerosolu od 0,001 mg/m³ do 150 mg/m³ a měří částice o velikosti 0,1 – 15 μm (Manuál DustTrak™ DRX, 2019). Za jednu minutu jím proteče vzduch o objemu 3 l. Vzhledem k tomu, že jsou přístroje DustTrak DRX kalibrovány na arizonský silniční prach (tzv. Arizona Road Dust), je třeba počítat s tím, že naměřené hodnoty suspendovaných částic v našich podmínkách mohou být vyšší, zejména pokud se jedná o částice vzniklé spalovacími procesy (Wang et al., 2009). Před použitím byl vždy přístroj kalibrován na nulovou hodnotu HEPA filtrem, poté DustTrak měřil hodnoty PM v intervalu každé minuty po dobu dvou hodin.

Dále byl použit ruční snímač oxidu uhličitého Telaire 7001 spolu s datovým přenašečem HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger. Jedná se o víceúčelový přístroj využívající patentovanou technologii absorpce infračerveného záření. Dokáže zaznamenat koncentrace teploty, relativní vlhkosti nebo oxidu uhličitého, a to v předem nastaveném časovém intervalu. Relativní vlhkost byla měřena s přesností ± 5 %, teplota ± 1 °C a oxid uhličitý ± 50 ppm. Přístroj je schopen pracovat sám bez elektrické přípojky, pouze za použití baterií. Před uvedením přístroje do provozu

bylo nutné nastavit interval zaznamenávání hodnot každou minutu. Telaire 7001 bylo potřeba oproti DustTraku ukončit po každém měření manuálně, tedy vždy po dvou hodinách měření.

Tab. 4: Přehled použitých přístrojů a integrační doby záznamu

Přístroj	Model	Výrobce	Integrační čas [min]
DustTrak DRX	8533	TSI	1
Telaire	7001	Onset	1

4.3 Statistické vyhodnocení

Pro statistické vyhodnocení bylo využito korelační a lineární regresní analýzy v programu SPSS. Korelační analýza zkoumá vzájemný vztah dvou proměnných, které jsou korelované, jestliže určité hodnoty jedné proměnné mají tendenci se vyskytovat společně s určitými hodnotami druhé proměnné. Pro měření závislosti byl použit Pearsonův korelační koeficient (značka r), díky němuž lze definovat lineární závislost dvou náhodných veličin s dvourozměrným normálním rozdělením. Čím více se korelační koeficient blíží hodnotě 1, tím je vztah mezi dvěma proměnnými těsnější. Záporné hodnoty koeficientu značí nepřímou korelaci (tj. se zvyšováním hodnot jedné proměnné se snižují hodnoty té druhé). Nulová hodnota vyjadřuje lineární nezávislost veličin (Hendl, 2006).

Regresní analýza je statistickou metodou, která umožňuje prozkoumání vztahu mezi nezávisle (X – nazývaný regresand nebo také cílová proměnná) a závisle (Y – nazývaný regresor) proměnnou. Díky zmíněné analýze jsme schopni pochopit změnu hodnot závislé proměnné v návaznosti na změnu jedné z nezávisle proměnných. Lineární regresní analýzu lze vyjádřit jako:

$$y = a + \beta x + e,$$

kde y představuje závisle proměnnou, a bod, ve kterém vložená přímka protíná ypsilonovou osu, β směrnici přímky, x nezávisle proměnnou a e představuje chybu (Zvára, 2008).

Statistické vyhodnocení se zaměřilo na porovnání závislosti počtu lidí nacházejících se v kavárně vůči naměřeným koncentracím oxidu uhličitého, dále pak na závislost počtu lidí vůči naměřené teplotě, RH a $PM_{2.5}$. Bylo sestaveno čtyřicet vzorků koncentrací naměřených hodnot vůči čtyřiceti vzorkům počtu lidí. Jeden vzorek sestává z průměru třiceti minutových hodnot naměření v půlhodinovém intervalu.

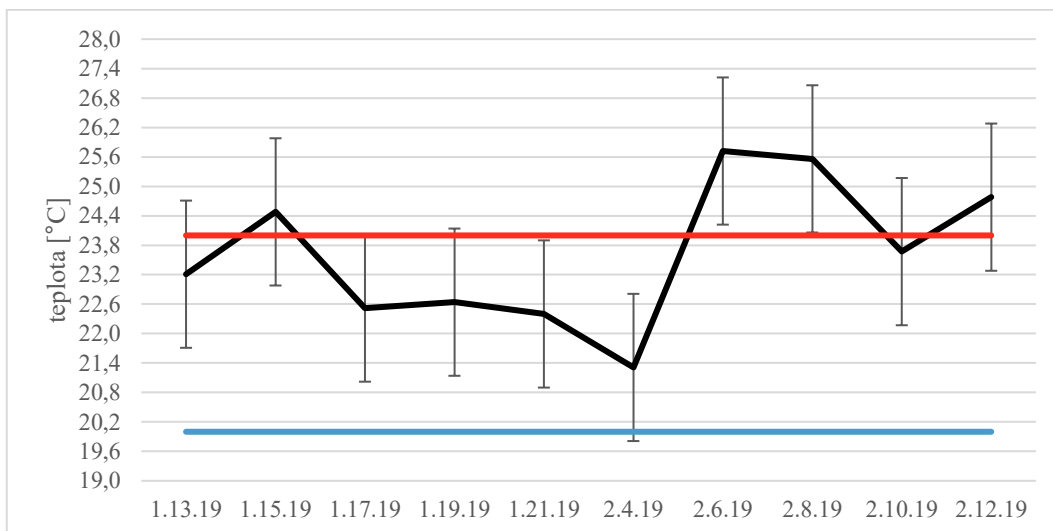
Pro zjištění závislosti mezi denní dobou či typu prostředí (kavárna A, B, C) vůči zjištěným hodnotám mikroklimatických faktorů byla použita dvousměrná analýza variace (ANOVA) s opakováním. Tento nástroj je schopen zjistit vztah závislé a nezávislé veličiny, pracuje tedy s oblastí, kde uvedeno více hodnot pro každou kombinaci faktorů. Přitom počet hodnot musí být pro každý faktor stejný. Vytvořená tabulka s výsledky poskytuje statistické charakteristiky všech výběrů, tj. počet hodnot, součet, průměr a rozptyl. Primární je zdroj variability, konkrétně vztah mezi F a F_{crit}

uvedený na řádku mezi výběry. Pokud je hodnota $F < F_{crit}$, pak platí nulová hypotéza H_0 a nezávislá veličina nemá vliv, v opačném případě pro $F > F_{crit}$. Hodnota p , pro kterou se užívá nejčastěji hodnota 0,05, je další možný parametr určující hladinu významnosti možnou pro zamítnutí/potvrzení H_0 (Durčák, 2017). Testované byly hodnoty teploty a RH spolu s koncentracemi CO_2 a $PM_{2,5}$ byly vůči denní době a prostředí tří vytypovaných kaváren.

4.4 Výsledky

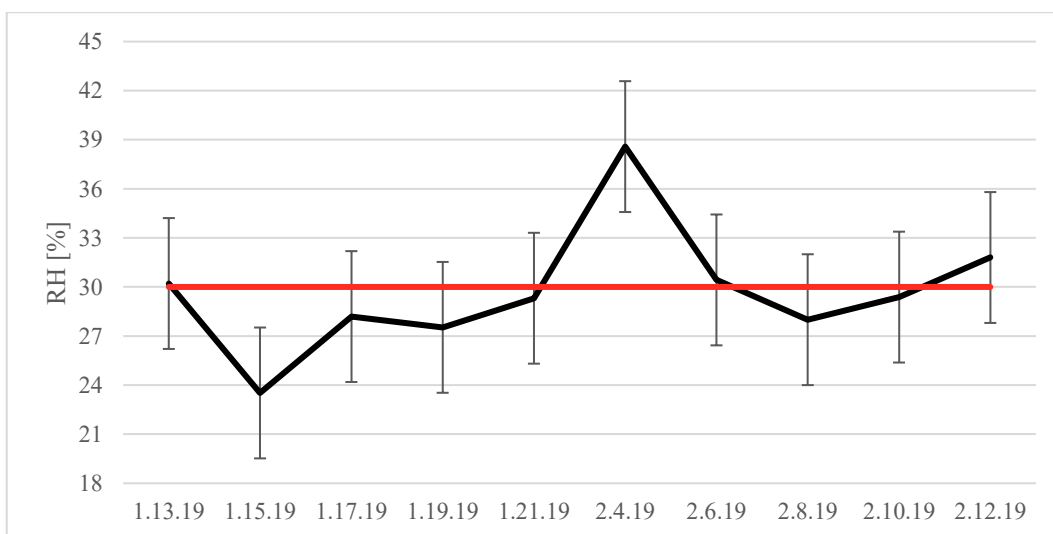
4.4.1 Kavárna A

Naměřené teploty v kavárně A, který ilustruje obrázek 1, byly v souladu s vyhláškou č. 316/2007 Sb.



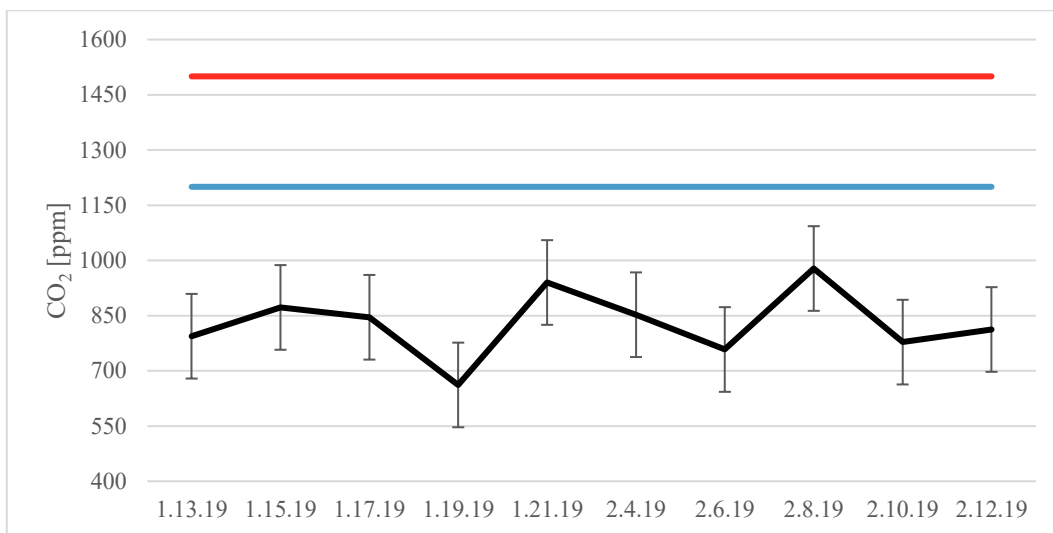
Obr. 1: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) teploty z měření v kavárně A v porovnání s hraničními osami optimální teploty (modrá linie 20 °C, červená linie 24 °C)

Relativní vlhkost vzduchu byla ve většině případů pod doporučenou hranicí 30 %, u měření ze dne 15.1. byla RH ze všech hodnot nejnižší, a to jen 24 % (Obrázek 2).



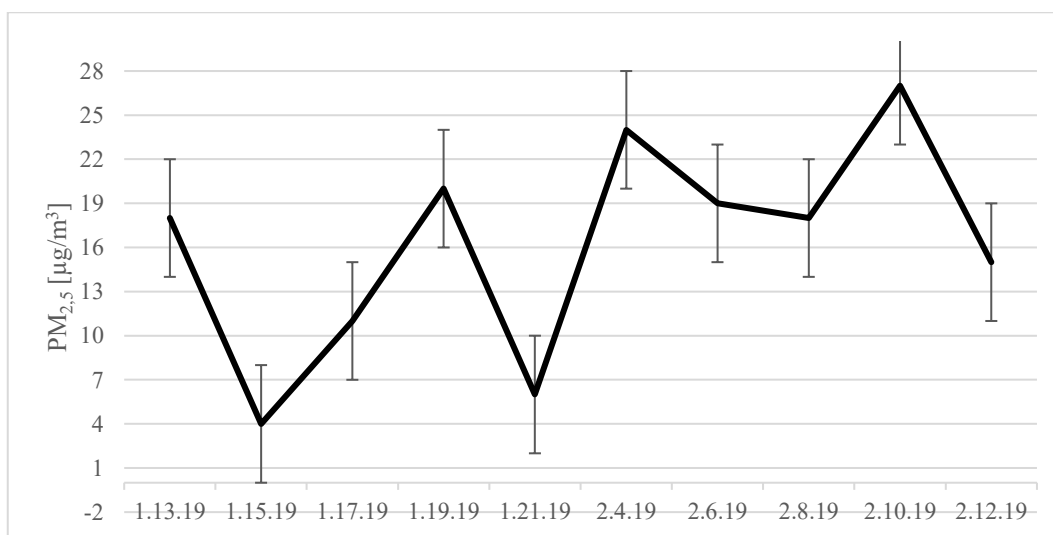
Obr. 2: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) relativní vlhkosti z měření v kavárně A v porovnání s doporučenou minimální mezí (červená linie 30 %)

Oxid uhličitý by neměl být podle ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) ve vnitřních prostorách v koncentraci překračující hodnoty 1200 ppm. Vyhláška č. 20/2012 Sb. vydaná Ministerstvem pro místní rozvoj udává maximální přípustnou hodnotu CO₂ v hodnotách 1500 ppm. Všechny hodnoty získané z jednotlivých dní měření v kavárně A tedy spadají do přípustné koncentrace CO₂ (Obrázek 3).



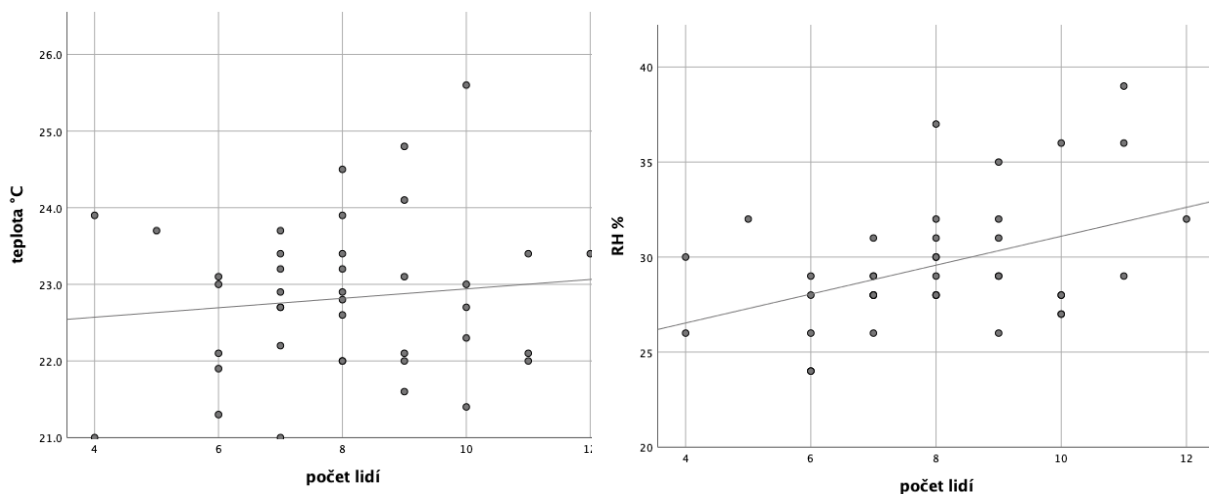
Obr. 3: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) oxidu uhličitého z měření v kavárně A s doporučenými limity (modrá linie 1200 ppm, červená linie 1500 ppm)

Obrázek 4 zobrazuje denní průměry koncentrací PM_{2,5} částic v kavárně A, které nepřekračují hodnotu 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ danou vyhláškou č 6/2003 Sb.



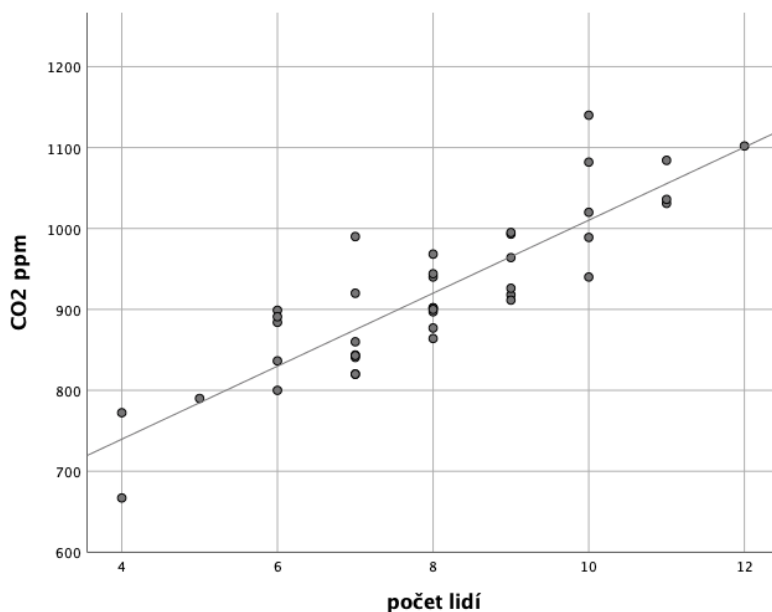
Obr. 4: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) PM_{2,5} v kavárně A

Vztah počtu lidí na hodnotě teploty prokazuje velmi slabou pozitivní korelační závislost, stejně tak byla zjištěna slabá pozitivní korelační závislost ve vztahu relativní vlhkosti na počtu lidí (obrázek 5). Teplota by se zvýšila v průměru o 0,1 $^{\circ}\text{C}$, pokud by se zvýšil počet lidí v kavárně o jeden. Počet lidí pak ovlivňuje hodnoty teploty pouze z 1,3 %. RH by se zvýšila o 0,76 % v případě, že by se počet lidí zvýšil o jeden. Z 18 % tak počet lidí ovlivňuje RH v kavárně.



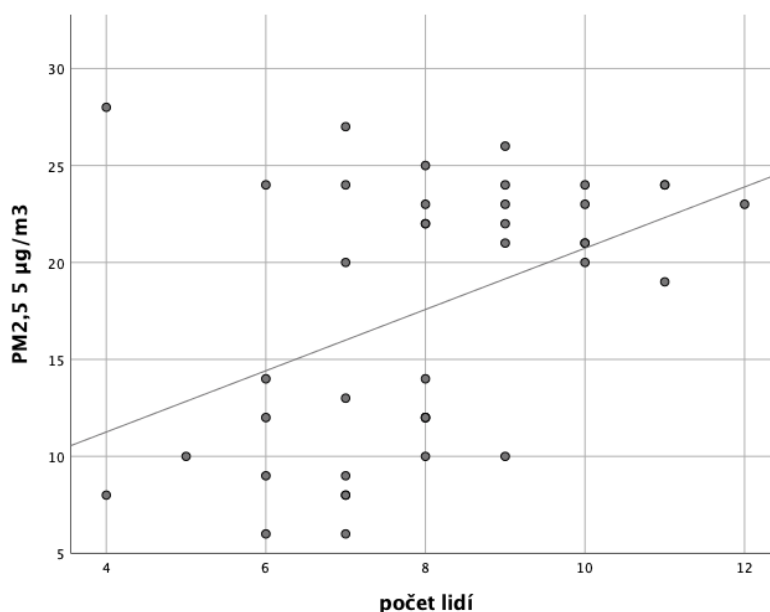
Obr. 5: Graf lineární regrese hodnot teploty (vlevo) a RH (vpravo) vůči počtu lidí v kavárně A

Byla nalezena velmi silná pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a koncentracemi CO₂ v kavárně A (Obrázek 6). Hodnota oxidu uhličitého se v prostorách kavárny zvýší v průměru o 45 ppm, jestliže se počet lidí zvýší o jeden. Ze 75 % tak počet lidí ovlivňuje koncentrace oxidu uhličitého v kavárně.



Obr. 6: Graf lineární regrese hodnot oxidu uhličitého vůči počtu lidí v kavárně A

Obrázek 7 ukazuje střední pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a hodnotami PM_{2,5}. Koncentrace PM_{2,5} se tak zvýší o 2, pokud se počet lidí zvýší o 1. Počet lidí tak ovlivňuje koncentrace PM_{2,5} z 31 %.



Obr. 7: Graf lineární regrese koncentrací $PM_{2,5}$ vůči počtu lidí v kavárně A

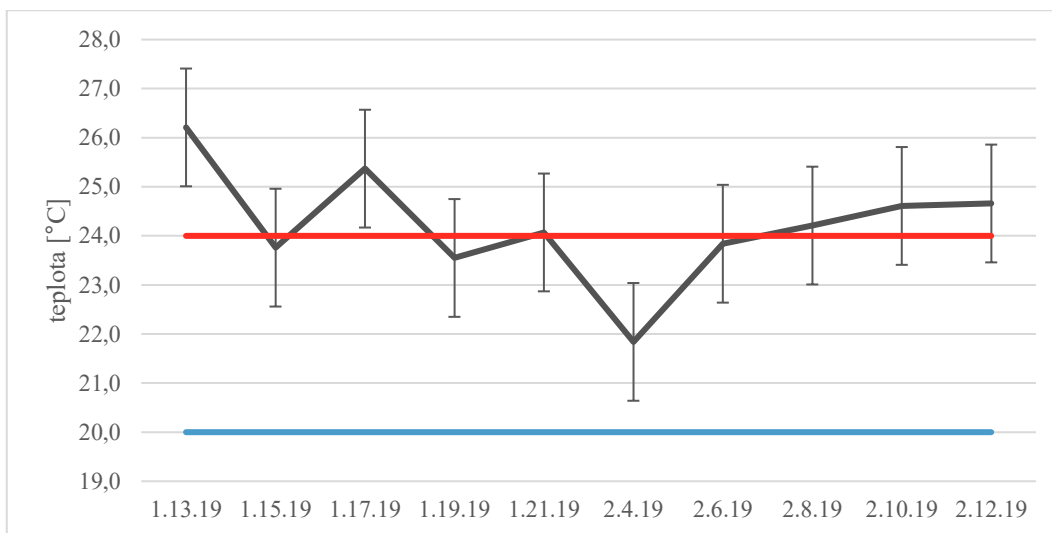
Pomocná tabulka 5 ilustruje doplňující popisné statistiky, jako je minimum (min), maximum (max), medián, aritmetický průměr a směrodatná odchylka (sd) u všech měřených faktorů.

Tab. 5: Hlavní popisné statistiky mikroklimatu kavárny A

	min	max	průměr	medián	sd
Teplota [°C]	21,3	25,6	23,6	23,4	1,5
Vlhkost [%]	24	39	30	29	4
CO ₂ [ppm]	662	1180	829	829	115
PM _{2,5} [µg/m ³]	4	27	16	18	4

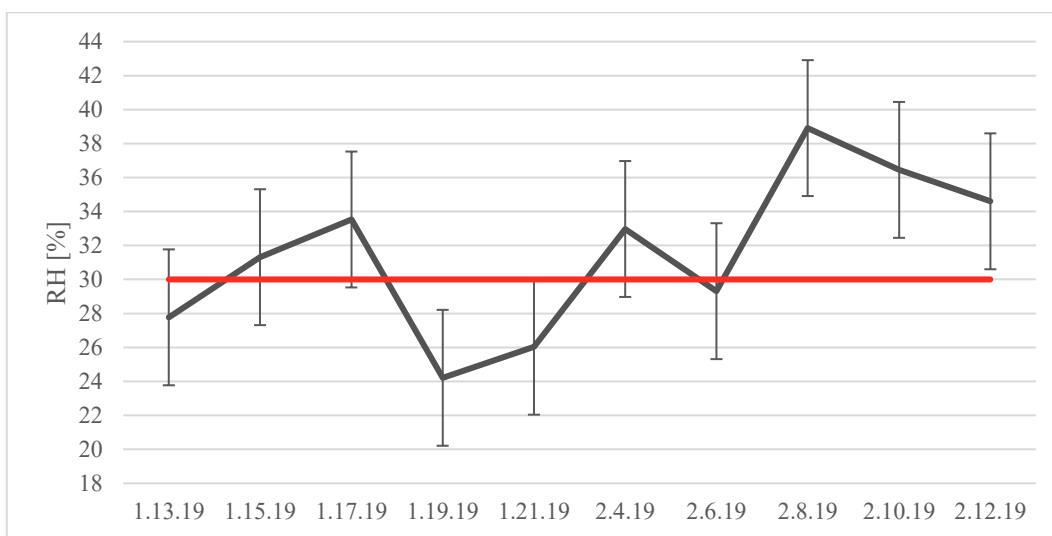
4.4.2 Kavárna B

Výsledky denních průměrů teploty z měření v kavárně B na obrázku 8 ve většině případů nebyly v optimálním rozmezí, avšak hodnoty lze zařadit do přijatelné hranice (maximum 28 °C).



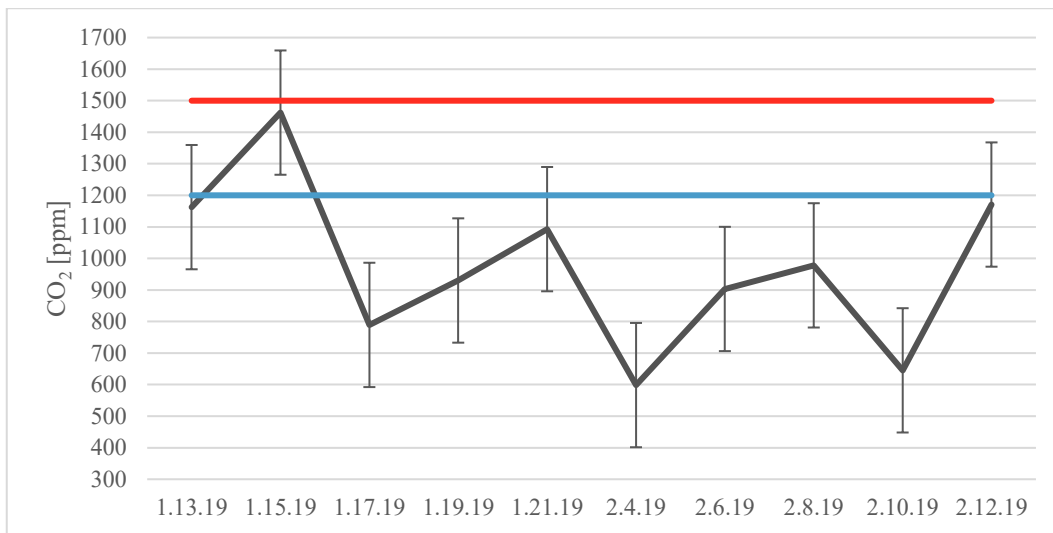
Obr. 8: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) teploty z měření v kavárně B v porovnání s hraničními osami optimální teploty (modrá linie 20 °C, červená linie 24 °C)

Relativní vlhkost vzduchu měřená v kavárně B byla ve většině případů přijatelná, zbylé hodnoty se pohybovaly těsně pod doporučenou hranicí 30 %. U měření ze dne 19.1. nabyla RH hodnotu pouze 24 % (Obrázek 9).



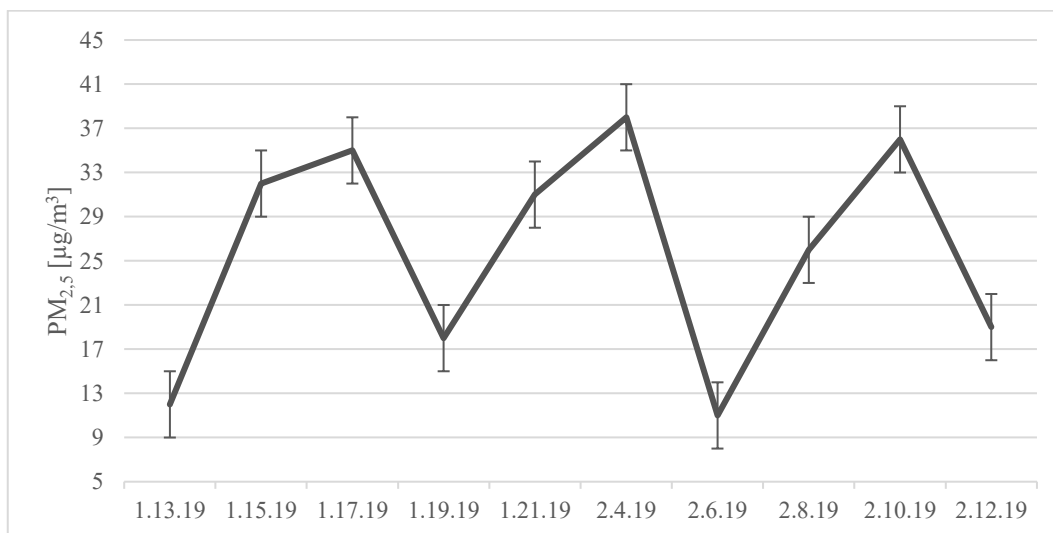
Obr. 9: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) relativní vlhkosti z měření v kavárně B v porovnání s doporučenou minimální mezí 30 % (červená linie)

Koncentrace denních průměrů oxidu uhličitého zjištěných v kavárně B se pohybovala ve všech dnech měření v normě (Obrázek 10). K hraniční hodnotě (1500 ppm) se přiblížila pouze koncentrace 1462 ppm, zjištěná z druhého dne měření.



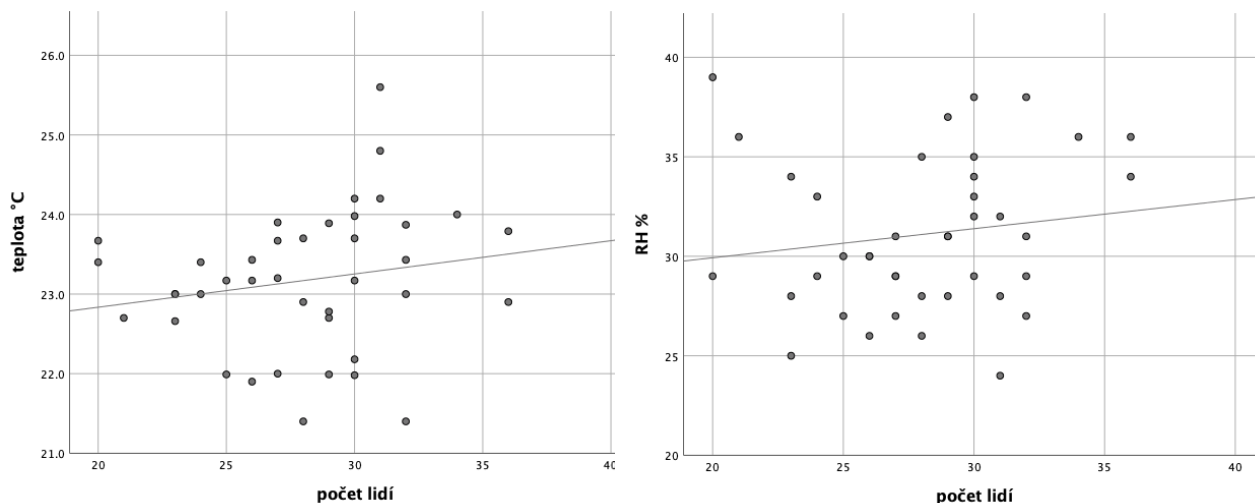
Obr. 10: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) oxidu uhličitého v kavárně B s doporučenými limity (modrá linie 1200 ppm, červená linie 1500 ppm)

Na obrázku 11 je zobrazen průběh denních koncentrací PM_{2,5} v kavárně. Všechny naměřené hodnoty opět nepřekračují limitní hodnotu 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



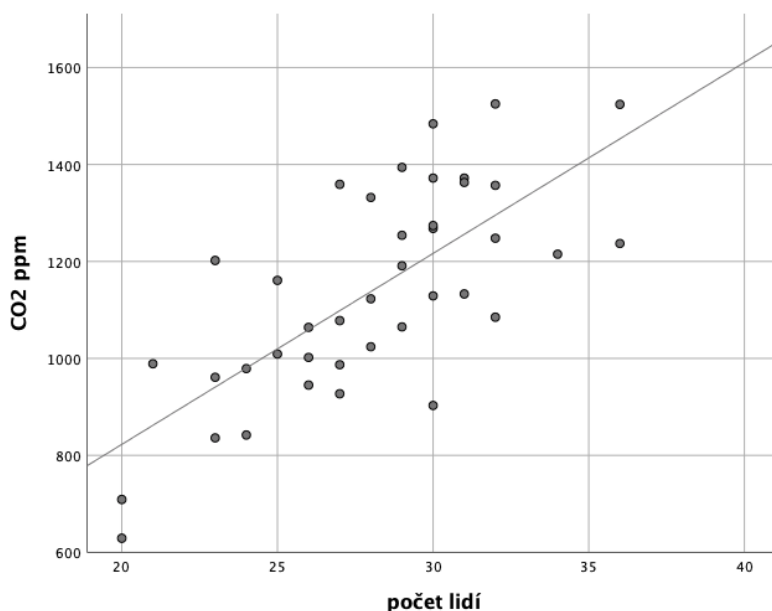
Obr. 11: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) PM_{2,5} v kavárně B

Obrázek 12 ukazuje slabou pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a teplotou, dále pak velmi slabou pozitivní korelační závislost mezi RH a počtem lidí. Zvýšení teploty průměru o 0,1 °C by nastalo v případě zvýšení počtu lidí v kavárně o jednoho. Počet lidí ovlivňuje hodnoty teploty pouze z 4,2 %. Při zvýšení počtu lidí o jeden by hodnota relativní vlhkosti stoupla o 0,146 %. Hodnotu RH ovlivňuje počet lidí jen z 2.2 %.



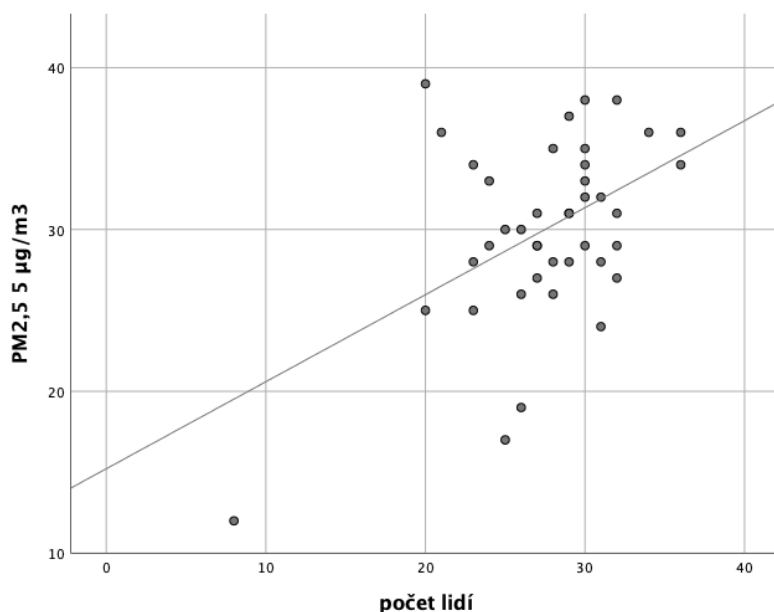
Obr. 12: Graf lineární regrese hodnot teploty (vlevo) a RH (vpravo) vůči počtu lidí v kavárně B

Na obrázku 13, je zachycena lineární regresní přímka ukazující stejně jako u kavárny A silnou pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a koncentracemi CO₂. Hodnota oxidu uhličitého v prostorách kavárny se zvýší v průměru o 35 ppm, jestliže se počet lidí zvýší o jeden. Z 52 % pak počet lidí ovlivňuje koncentrace oxidu uhličitého v kavárně.



Obr.13: Graf lineární regrese hodnot oxidu uhličitého vůči počtu lidí v kavárně B

Střední pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a hodnotami $PM_{2,5}$ je zachycena na obrázku 14. Ke zvýšení částic o $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dojde tehdy, jestliže se počet lidí zvýší o jeden. Počet lidí ovlivňuje koncentrace $PM_{2,5}$ z 34 %, jedná se tedy o podobnou korelaci jako u kavárny A.



Obr. 14: Graf lineární regrese koncentrací $PM_{2,5}$ vůči počtu lidí v kavárně B

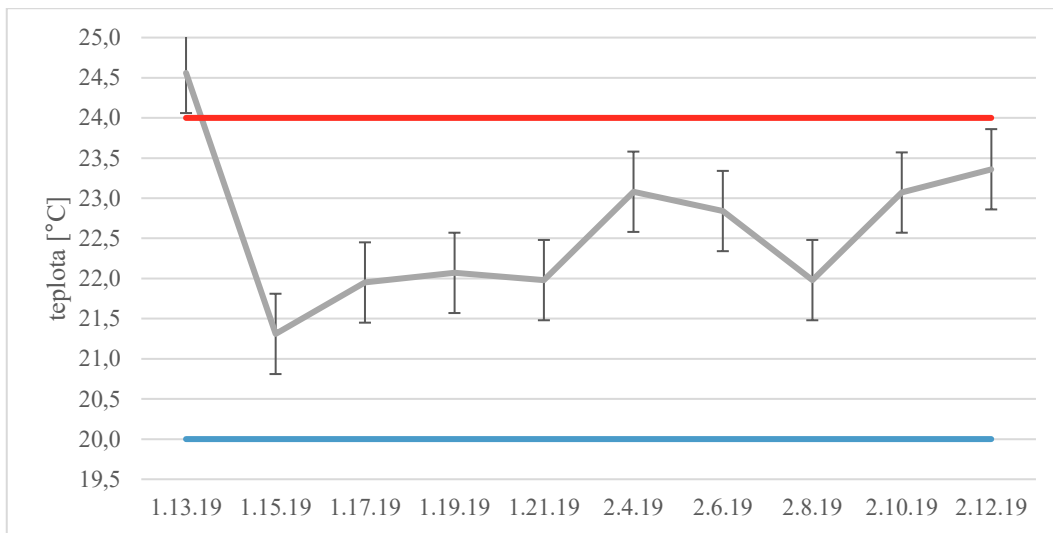
V tabulce 6 jsou shrnuty popisné statistiky, jako je minimum (min), maximum (max), medián, aritmetický průměr a směrodatná odchylka (sd).

Tab. 6: Hlavní popisné statistiky mikroklimatu kavárny B

	min	max	průměr	medián	sd
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	21,8	26,2	24,2	24,1	1,2
Vlhkost [%]	24	39	32	32	4
CO_2 [ppm]	598	1532	973	954	197
$PM_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	12	38	26	29	3

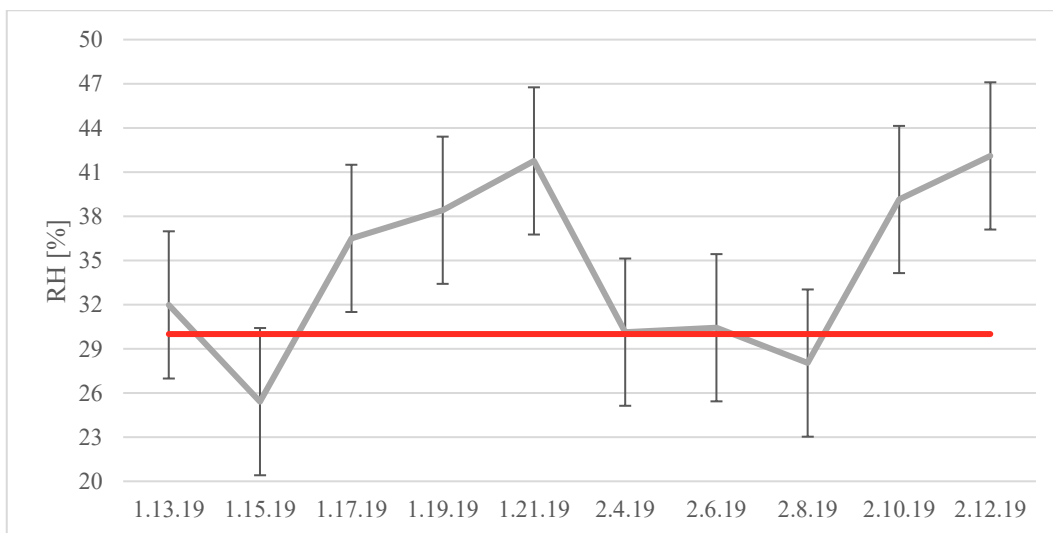
4.4.3 Kavárna C

V kavárně C se teplota ovzduší vnitřních prostor pohybovala v přijatelné hranici stanovené vyhláškou č. 316/2007 Sb., stejně tak jako obě předchozí kavárny. Charakteristiku optimální teploty $22 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ splňují všechny naměřené hodnoty až na teplotu z prvního dne měření ($24,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Ta vykazuje mírný přesah od teploty optimální, avšak podle vyhlášky č. 316/2007 Sb. stále spadá do přijatelné hranice (maximum $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Průměrné denní teploty jsou znázorněny na obrázku 15.



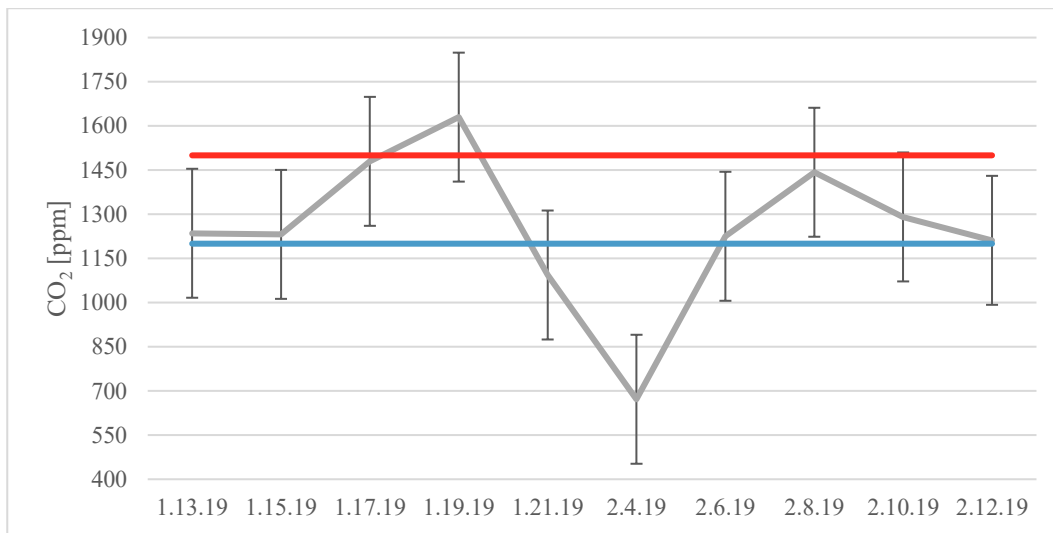
Obr. 15: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) teploty z měření v kavárně C v porovnání s doporučenými teplotními rozmezími (modrá linie 20 °C, červená linie 24 °C)

Relativní vlhkost vzduchu byla vyjma dvou dní měření, konkrétně 15.1. a 8.2., v optimu (Obrázek 16). Zbylé hodnoty se pohybovaly nad doporučeným minimem 30 %.



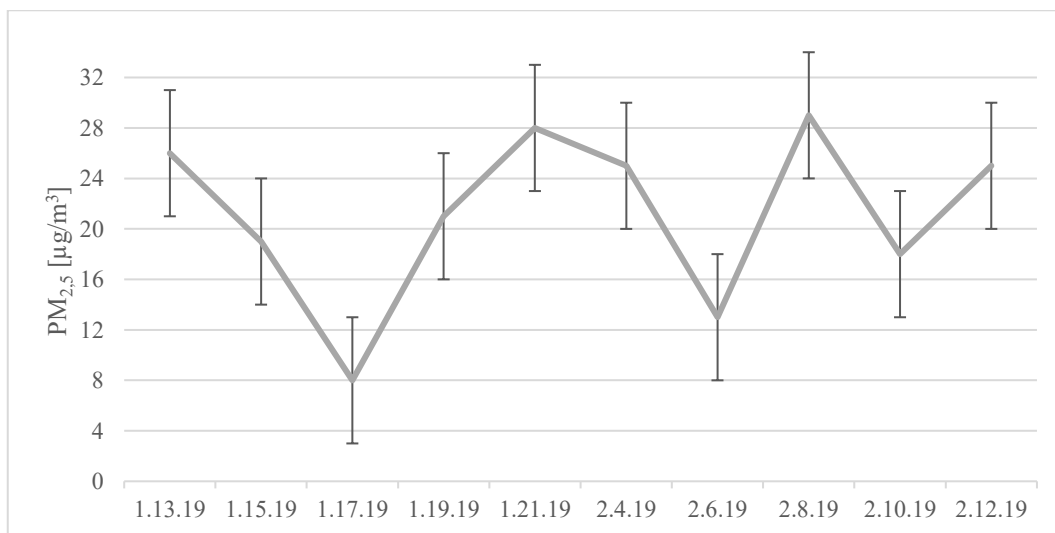
Obr. 16: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) relativní vlhkosti z měření v kavárně C s doporučeným minimem (červená linie 30 %)

Koncentrace oxidu uhličitého v kavárně C nabyla nejvyšších hodnot v porovnání s ostatními kavárnami. Všechny hodnoty vyjadřující koncentrace CO₂ se však pohybovaly v normě. Hraníční hodnotu (1500 ppm) přesáhla pouze koncentrace 1630 ppm, naměřená dne 19.1. Obrázek 17 ilustruje průběh denních koncentrací CO₂.



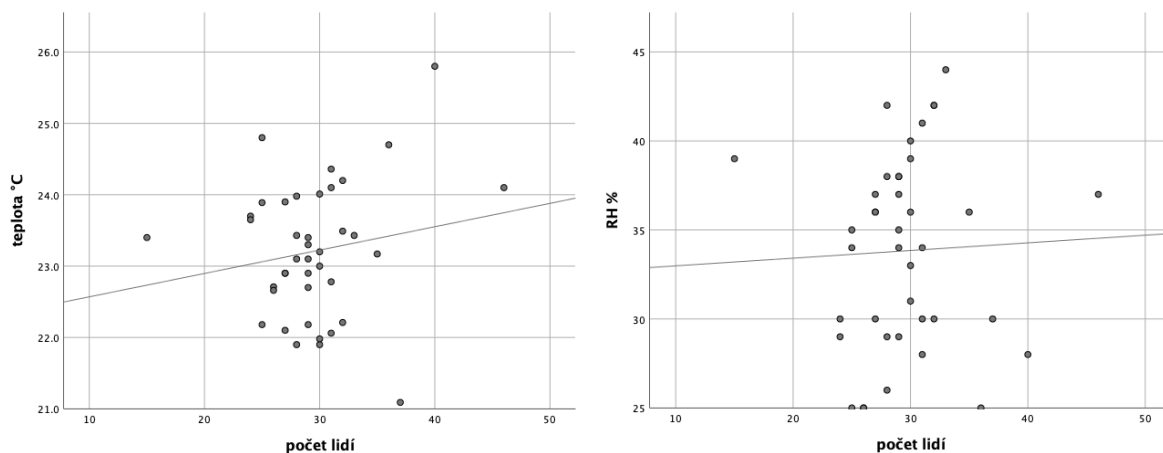
Obr. 17: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) oxidu uhličitého v kavárně C s doporučenými limity (modrá linie 1200 ppm, červená linie 1500 ppm)

Průběh denních koncentrací PM_{2,5} v kavárně C znázorňuje obrázek 18. Naměřené koncentrace jsou opět v přípustné škále, kdy nepřekračují 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



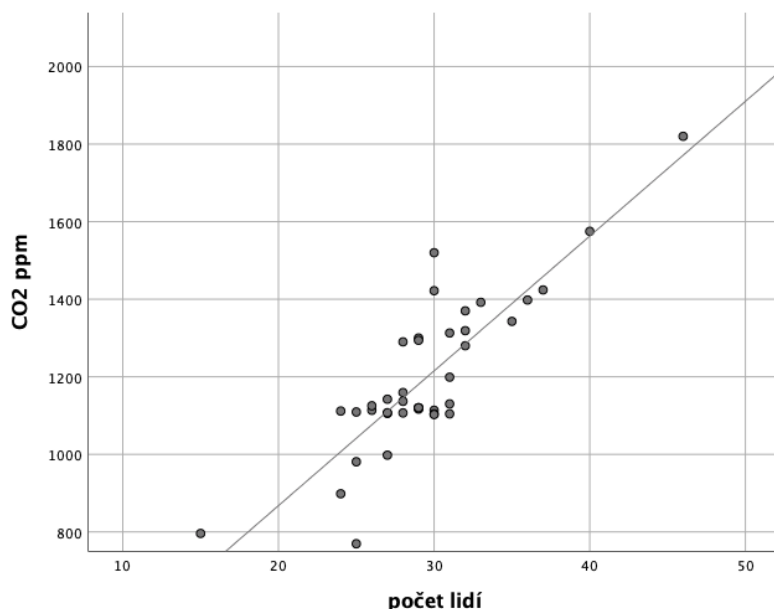
Obr. 18: Vývoj denních průměrů (\pm směrodatná odchylka) PM_{2,5} v kavárně C

Graf lineární regresní přímky na obrázku 19 ilustruje stejně jako u předchozích kaváren velmi slabou pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a teplotou vlevo, vpravo pak velmi slabou pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a hodnotami RH. Teplota by se zvýšila v průměru o 0,1 $^{\circ}\text{C}$, pokud by se zvýšil počet lidí v kavárně o jeden. Počet lidí pak ovlivňuje hodnoty teploty z 2,9 %. Hodnota relativní vlhkosti by se v průměru zvýšila o 0,073 %, jestliže by se počet lidí zvýšil o jeden. Počet lidí tak ovlivňuje hodnoty RH z 0,2 %.



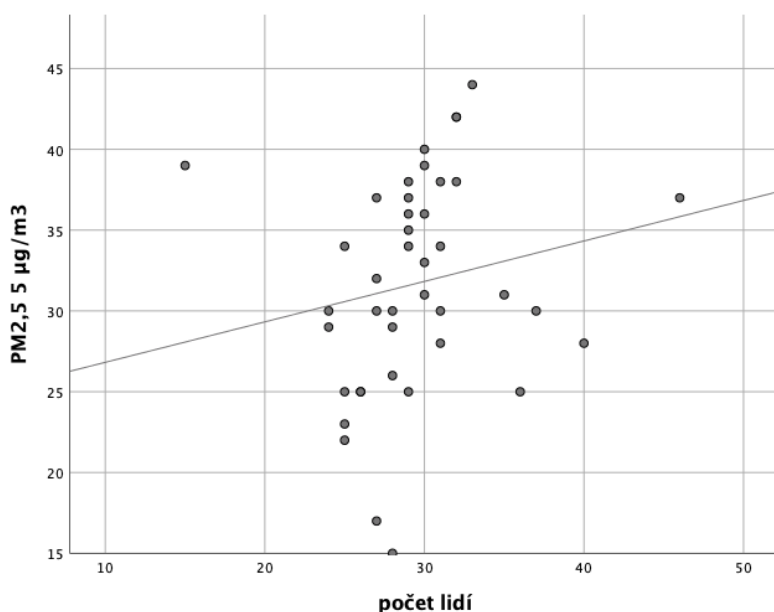
Obr. 19: Graf lineární regrese hodnot teploty (vlevo) a RH (vpravo) vůči počtu lidí v kavárně B

Obrázek 20 znázorňuje silnou pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a koncentracemi oxidu uhličitého stejně jako u předchozích kaváren. Hodnota oxidu uhličitého v prostorách kavárny by se zvýšila v průměru o 35 ppm, pakliže by se počet lidí zvýšil o jeden. Ze 73 % tak počet lidí ovlivňuje koncentrace oxidu uhličitého v kavárně.



Obr. 20: Graf lineární regrese hodnot oxidu uhličitého vůči počtu lidí v kavárně C

Střední pozitivní korelační závislost byla dále zjištěna v závislosti koncentrací $PM_{2,5}$ na počtu lidí v kavárny C (obrázek 21). Koncentrace $PM_{2,5}$ by se zvedly o $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pakliže se počet lidí zvýší o jeden. Počet lidí zde ovlivňuje hodnoty $PM_{2,5}$ ze 38 %.



Obr. 21: Graf lineární regrese koncentrací $PM_{2,5}$ vůči počtu lidí v kavárně C

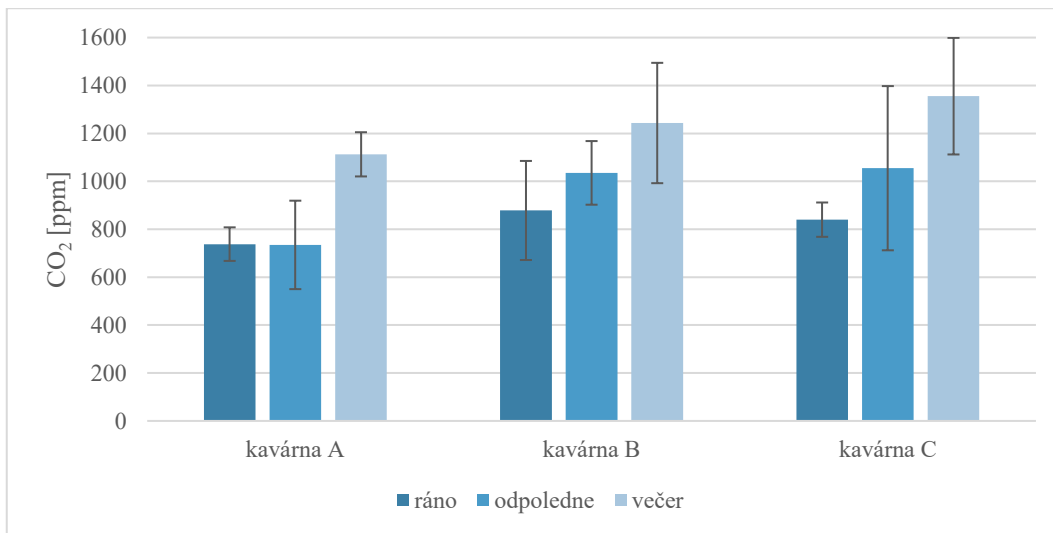
Doplňující informace, jako je minimum (min), maximum (max), medián, aritmetický průměr a směrodatná odchylka (sd) jsou zaznamenány v tabulce 7.

Tab. 7: Hlavní popisné statistiky mikroklimatu kavárny C

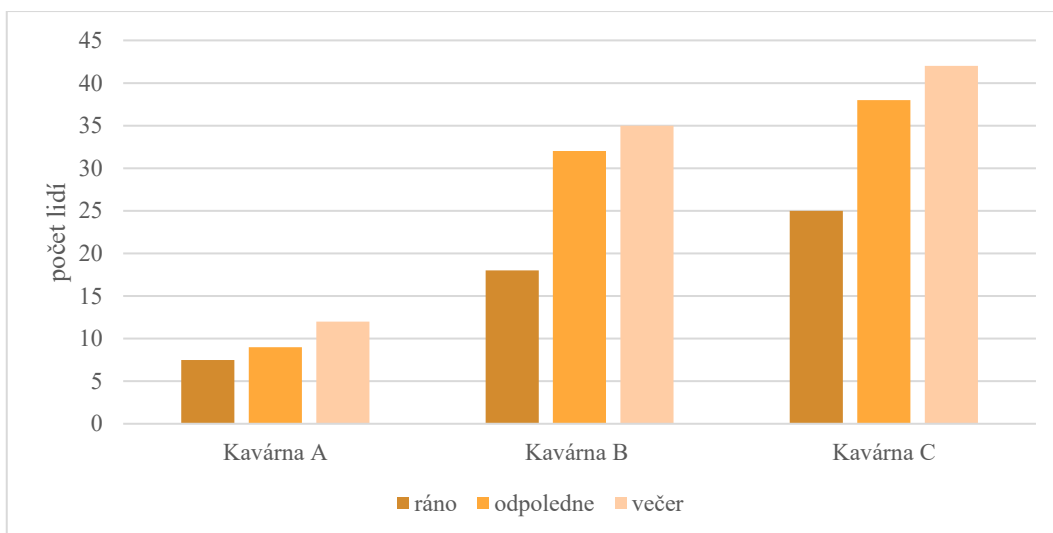
	min	max	průměr	medián	sd
Teplota [°C]	21,3	25,9	22,6	22,5	0,5
Vlhkost [%]	25	39	34	34	5
CO ₂ [ppm]	672	1861	1251	1234	219
PM _{2,5} [µg/m ³]	8	29	21	23	5

4.4.4 Vzájemné porovnání výsledků z jednotlivých kaváren

Silná korelační závislost mezi počtem lidí a koncentracemi CO₂ zjištěná ve všech měřených kavárnách se již prokázala, hodnoty oxidu uhličitého v kavárnách v závislosti na denní době měření ilustruje obrázek 22. Kavárna A má největší koncentrace oxidu uhličitého především ve večerních hodinách, stejně tak kavárna B a C. Výsledky dvousměrné analýzy rozptylu s opakováním provedené v programu SPSS říkají, že denní doba má vliv na koncentrace CO₂ ($F_{11,127} > F_{crit} 3,555$, $p_{value} 0,001 < 0,05$).

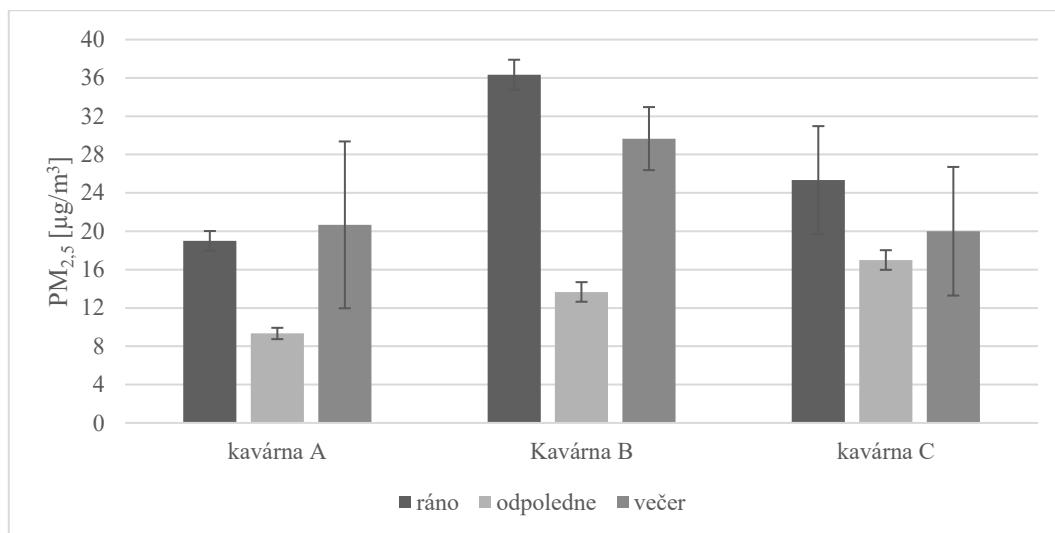


Obr. 22: Hodnoty oxidu uhličitého (průměr ± směrodatná odchylka) na jednotlivých kavárnách v závislosti na denní době



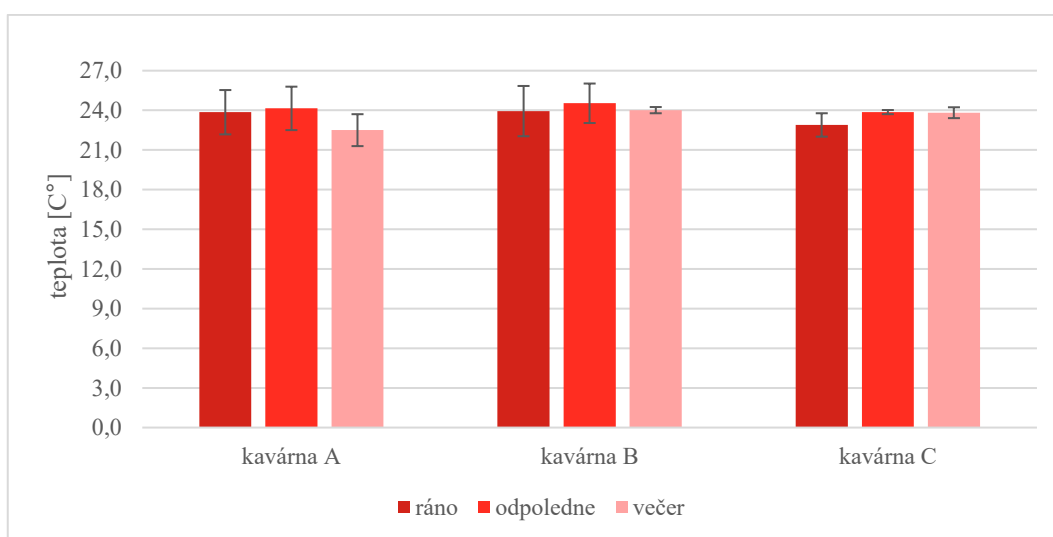
Obr. 23: Počet lidí na jednotlivých kavárnách v závislosti na denní době

Největší nárůst PM_{2,5} částic u všech kaváren nastal v ranních a večerních hodinách (obrázek 24). Dvousměrná ANOVA s opakováním podala výsledky, kde denní doba má vliv na koncentrace PM_{2,5} ($F 13,227 > F_{\text{crit}} 3,555$, $P_{\text{value}} 0 < 0,05$), dále pak prokázala závislost vývoje koncentrací PM_{2,5} na typu prostředí kavárny (A, B, C), kde: $F 7 > F_{\text{crit}} 3,555$, $P_{\text{value}} 0,006 < 0,05$.



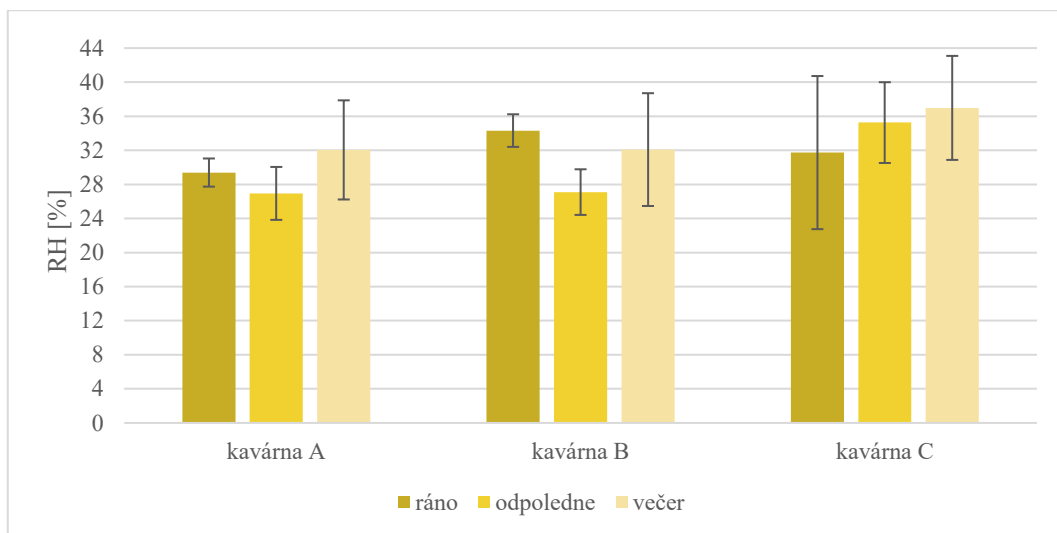
Obr. 24: Hodnoty PM_{2,5} na jednotlivých kavárnách v závislosti na denní době měření s chybovými úsečkami

Teplota byla v jednotlivých kavárnách při porovnání vůči denní době velmi podobná. Výsledky dvousměrné ANOVY s opakováním říkají, že denní doba nemá vliv na hodnoty teploty ($F 0,961 < F_{crit} 3,555, P_{value} 0,401 > 0,05$).



Obr. 25: Hodnoty teplot na jednotlivých kavárnách v závislosti na denní době s chybovými úsečkami

Obrázek 26 ilustruje vývoj hodnot relativní vlhkosti jednotlivých kaváren v závislosti na denní době. Analýza dat o závislosti hodnot RH poskytla informace, kde denní doba nemá vliv na koncentrace RH ($F 1,364 < F_{crit} 3,555, P_{value} 0,281 > 0,05$).



Obr. 26: Hodnoty relativní vlhkosti na jednotlivých kavárnách v závislosti na denní době měření s chybovými úsečkami

5 Diskuze

Experimentálně byl zjištěn soulad naměřených koncentrací CO₂, PM_{2,5}, teploty a relativní vlhkosti s právními předpisy, kterým podléhají dané typu prostředí, v případě této práce v prostředí tří typem odlišné kavárny. Dalšími výsledky jsou zjištěné vyšší koncentrace PM_{2,5} částic v kavárně s vchodem do dopravou řízené ulice, silná závislost mezi počtem lidí a koncentracemi oxidu uhličitého, slabá závislost mezi počtem lidí a teplotou či RH a středí závislost mezi počtem lidí a PM_{2,5} v kavárnách. Práce poskytla také představu o závislosti denní doby měření na koncentracích zmíněných mikroklimatických faktorů.

Z naměřených výsledků je patrné, že získané koncentrace CO₂ ve všech kavárnách jsou v přijatelných hodnotách pro zdravé vnitřní ovzduší. Vyšší koncentrace byly zjištěny v kavárně C, kde medián hodnot činí 1234 ppm (tabulka 7). Jedná se o hodnotu nepřekračující stanovené limity 1500 ppm, avšak dle ASHRAE jsou hodnoty nad 1000 ppm indikátorem nedostatečné ventilace vzduchu. Výsledky analýzy dat dvousměrné ANOVY s opakováním potvrdily závislost vlivu denní doby na hodnotách CO₂. Nižší hodnoty byly zjištěny v ranních hodinách, v průběhu dne se pak postupně u všech tří kaváren zvyšovaly až do svých maxim, kterých dosáhly ve večerních hodinách. Pro srovnání, jiná studie uvádí svá maxima kolem poledne (Canha et al, 2013, Turanjanin, 2014). Zjištěná silná pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a hodnotami oxidu uhličitého potvrdila člověka jako primárního producenta CO₂ ve vnitřních prostorech. Autor se domnívá, že další faktory, které ovlivňují hladinu CO₂, mohou být nedostatečná cirkulace vzduchu, zejména kvůli regulaci teploty v kavárnách, a absence rostlin. Ze studií bylo zjištěno, že právě vyšší podíl rostlin v prostoru by mohl regulovat fotosyntézou hladinu CO₂ (Young–wook et al, 2009).

Relativní vlhkost byla ve všech třech kavárnách optimální, tedy rovna nebo vyšší mezní hodnotě 30 %. Značí tak zdravé vnitřní prostředí, protože dle výzkumu Yang a Marr (2011) právě nedostačující hodnota RH podporuje například nadměrné množení virů chřipky v ovzduší. Další studie Arundela et al (1986) tvrdí, že hodnoty pod 20 % by mohly způsobit vysychání sliznic, problémy s dýcháním či pálení očí. Jedním z faktorů ovlivňující hodnoty RH by mohly být teplota, kdy je známý růst RH při poklesu teploty a opačně, dále pak například ventilace. Dalším faktorem by mohli být lidé, kteří dýcháním ovlivňují relativní vlhkost. Velmi slabá pozitivní korelační závislost mezi počtem lidí a RH však vyloučila v této práci člověka jako potenciálního hybatele hodnot RH. Dále byl vyloučena závislost hodnot na denní době či prostředí (kavárna A, B a C). Autor se domnívá, že relativní vlhkost by mohla být částečně ovlivňována například topnými zařízeními, klimatizacemi či různými pracemi v kavárně (používání parní trysky v kavárně, myčky aj.).

Hodnoty teploty byly ve všech kavárnách v souladu s vyhláškou č. 316/2007 Sb. Posouzení závislosti počtu lidí vůči naměřeným hodnotám teploty ukázalo velmi slabou pozitivní korelační závislost, kdy počet lidí ovlivňuje hodnoty teploty minimálně. Podle autora pouze počet lidí

neovlivňuje teplotu v kavárně, protože je třeba brát v potaz také frekvenci příchodů a odchodů z kavárny nebo možný pohyb zákazníků a personálu v prostoru. Výsledky ANOVY prokázaly, že denní doba ani typ prostředí (kavárna A, B, C) přímo neovlivňuje hodnoty teploty. Důvodem by mohl být výskyt regulačních topných a ventilačních systémů, zabudovaných například v podlaze nebo ve stropu. Teplota by se pak mohla také částečně regulovat únikem z kavárny. K rozšíření výzkumu by bylo vhodné získat od zákazníků data týkající se subjektivního vnímání teploty.

Koncentrace $PM_{2,5}$ ve všech třech kavárnách nepřekročily mezní hodnotu $80 \mu g/m^3$ danou vyhláškou č. 6/2003 Sb., byly tedy v optimu. Vyšší hodnoty $PM_{2,5}$ lze oproti ostatním kavárnám pozorovat v kavárně B. Autor tímto potvrzuje předpoklad, kde poloha kavárny a její umístění vchodu hraje důležitou roli při kumulaci $PM_{2,5}$ ve vnitřním prostoru a předpokládá, že částice by se do vnitřního prostoru kromě otevírání dveří zákazníky mohly dostat například i díky špatnému těsnění. Z testu ANOVY byla dále prokázána závislost denní doby a typu prostředí na hodnotách $PM_{2,5}$. Studie Glasia et al. (2006) zjistila podobně jako v této práci nárůst částic v ranních hodinách, kdy lidé vstávali, a večerních hodinách, kdy se lidé vraceli z práce. Autor usuzuje, že naměřené hodnoty by mohly být zkresleny například zvýšenou frekvencí dopravy. Pro přesnější zjištění vývoje $PM_{2,5}$ by bylo vhodné porovnat zjištěné koncentrace s meteorologickými parametry, jako je například rychlost větru. Ten by mohl snižovat koncentrace PM částic při vyšších rychlostech stejně tak jako v práci Glasia et al. (2006).

6 Závěr

Bakalářská práce poskytla vyhodnocení vybraných faktorů jako je teplota, relativní vlhkost, koncentrace oxidu uhličitého a částic $PM_{2,5}$ ve třech kavárnách lišících se svými rozměry a denním počtem zákazníků. Naměřené hodnoty byly srovnány s právními předpisy, které podléhají danému typu prostředí vydané Ministerstvem zdravotnictví a Ministerstvem pro místní rozvoj. Hodnoty všech zkoumaných faktorů v kavárnách byly ve většině případů v souladu s danými normami.

Byla prokázána závislost růstu oxidu uhličitého při vyšším počtu osob a naopak, zřejmě díky přítomnosti topných systémů regulujících teplotu v kavárně, nebyl vliv vyššího počtu lidí na teplotu či RH prokázán. Práce také ilustruje závislost koncentrací $PM_{2,5}$ a CO_2 na denní době, u $PM_{2,5}$ dokonce i závislost na typu prostředí. Tato závislost potvrzuje další zkoumaný předpoklad, kde vyšší koncentrace $PM_{2,5}$ lze naměřit v kavárně s vchodem do dopravou řízené ulice. Naopak u hodnot teploty a RH byly tyto závislosti vyvráceny.

Pro přesnější zhodnocení kvality ovzduší v kavárenských prostorech by bylo vhodné čtenější monitorování koncentrací zmíněných faktorů, díky nimž by se eliminovaly možné chyby z dosavadního měření a hodnocení. Autor pak navrhuje monitorování prostředí i v jiných, například letních měsících. Dále lze zvážit vytvoření jakéhosi standardu měření, kde bude kladen důraz na umístění měřicího přístroje, četnost a délku měření, které dopomůžou k homogenitě výsledků z jiných, avšak podobných studií.

Sledování kvality ovzduší ve veřejných prostorech, jako jsou kavárny, by mohl mít pozitivní vliv na celkovou pohodu personálu a zákazníků. Vytvoření zdravého a komfortního prostředí by se tak v konečném důsledku mohlo projevit na čtenější návštěvě zákazníků, zlepšení psychické pohody personálu a realizaci možného nadstandardu, který kavárny mohou nabízet.

Použitá literatura

AKBARI, Hashem, et al. Urban heat island basics. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. United States Environmental Protection Agency, US, 2008, 1-22.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING; REFRIGERATING; AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Standard: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Incorporated, 1989

ARUNDEL, A. V., STERLING, E. M., BIGGIN, J. H., STERLING, T. D. Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environ Health Perspect*. 1986, 65, 351-361.

ASADI, E., GAMEIRO DA SILVA, M. C., COSTA, J. J. A systematic indoor air quality audit approach for public buildings. *Environmental Monitoring And Assessment*. 2013, 185(1), 865-875

ASHCROFT, Michael B.; GOLLAN, John R. Fine-resolution (25 m) topoclimatic grids of near-surface (5 cm) extreme temperatures and humidities across various habitats in a large (200× 300 km) and diverse region. *International Journal of Climatology*, 2012, 32.14: 2134-2148.

BARRY, Roger G. a Peter BLANKEN. *Microclimate and local climate*. New York, NY: Cambridge University Press, 2016. ISBN 9781107145627.

BELIS, C. A., et al. European guide on with receptor models air pollution source apportionment. *JRC References Report*, 2013.

BENCKO, Vladimír. *Hygiena a epidemiologie: učební texty k seminářům a praktickým cvičením pro studijní obor Zubní lékařství*. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1129-5.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.

BUSBY, John R.; BLISS, L. C.; HAMILTON, Catherine D. Microclimate control of growth rates and habitats of the boreal forest mosses, *Tomenthypnum nitens* and *Hylocomium splendens*. *Ecological Monographs*, 1978, 48.2: 95-110.

CANHA, Nuno, et al. Indoor air quality in primary schools. *International Journal of Environment and Pollution*, 2012, 50.1-4: 396-410.

CANHA, Nuno, et al. "Winter ventilation rates at primary schools: comparison between Portugal and Finland." *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 76.6 (2013): 400-408.

CLAIBORN, Candis S., et al. Windblown dust contributes to high PM₂₅ concentrations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2000, 50.8: 1440-1445.

DIMOUDI, A., et al. Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, 2013, 64: 1-9.

DONALDSON, K.; LI, X. Y.; MACNEE, W. Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury. *Journal of aerosol science*, 1998, 29.5-6: 553-560.

DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. Vybrané statě z větrání a klimatizace. V Praze: České vysoké učení technické, 2018, 118 s. ISBN 978-80-01-06458-0.

DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05652-3.

DUFKA, Jaroslav. *Plynové spotřebiče v domácnosti*. Praha: Grada, 1998. Profi & hobby. ISBN 80-7169-149-6.

DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2005. Profi & hobby. ISBN 80-247-1144-3.

DURČÁK, Pavel. Excel – *Analytické nástroje – 2. část – ANOVA [online]*. NaPočítači.cz [cit. 7.6.2020]. Dostupné z: https://www.napocitaci.cz/33/excel-analyticke-nastroje-2-cast-anova-uniqueidgOke4NvrWuNY54vrLeM676BgwjCe9wEPAg_rzFJ8D5c/?fbclid=IwAR0aol1_dYyIq3EOa25aTMNFpFSMs7JvP0s60iH_7D5WfeOJOSi9oHKDiro

FANTUZZI, Guglielmina, et al. Indoor air quality in the university libraries of Modena (Italy). *Science of the total environment*, 1996, 193.1: 49-56.

FERRELLI, Federico; VITALE, Alejandro J.; PICCOLO, María C. Microclima Urbano: variaciones Termo-Higrométricas de Bahía Blanca, Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências*, 2019, 41.1: 283-295.

FINE, Philip M., et al. Diurnal variations of individual organic compound constituents of ultrafine and accumulation mode particulate matter in the Los Angeles basin. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38.5: 1296-1304.

FLEMR, Vratislav a Bohuslav DUŠEK. *Chemie pro gymnázia. 2. vydání*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 2007. ISBN 978-80-7235-369-9.

FREY, Sarah JK, et al. Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests. *Science advances*, 2016, 2.4: e1501392.

FROUZ, Jan a Bedřich MOLDAN, ed. Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015, 310 s. ISBN 978-80-246-2667-3.

GUO, Huibin; HUANG, Sijing; CHEN, Minxuan. Air pollutants and asthma patient visits: Indication of source influence. *Science of the Total Environment*, 2018, 625: 355-362.

GEIGER, Rudolf. *The climate near the ground*. 2d print., rev. Cambridge: Published for Blue Hill Meteorological Observatory, Harvard University, by Harvard University Press, 1957.

GEIGER, Rudolf. *The climate near the ground*. Cambridge: Harvard University Press, 1965.

GLASIUS, M., Ketzler, M., Wählin, P., Jensen, B., Mønster, J., Berkowicz, R., & Palmgren, F. (2006). Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark. *Atmospheric Environment*, 40(37), 7115–7124. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.047>

HARDWICK, Stephen R., et al. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 201: 187-195.

HENDL, J. (2006). Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. Praha: Portál.

HUNG, Faan Hei, et al. An Adaptive Indoor Air Quality Control Scheme for Minimizing Volatile Organic Compounds Density. *IEEE Access*, 2020, 8: 22357-22365.

HŮNOVÁ, Iva a Svatava JANOUŠKOVÁ. *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0796-4.

KEELING, Charles D. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus*, 1960, 12.2: 200-203.

KLÁNOVÁ, Kateřina. *Plísň v domě a bytě: odstraňování a prevence*. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4790-3.

KOVÁCS, Bence; TINYA, Flóra; ÓDOR, Péter. Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, 234: 11-21.

KUTĚJ, Petr a Jiří HANZAL. *Oxid uhličitý* [online]. ČATP, 2002 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: http://www.catp.cz/publikace2.php?download=catp_01-02-cz.pdf

LEE, S. C.; CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere*, 2000, 41.1-2: 109-113.

LIM, Young-Wook, et al. "Improvement of indoor air quality by houseplants in new-built apartment buildings." *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 78.4 (2009): 456-462.

LOBOVSKÁ, Alena. *Infekční nemoci*. Praha: Karolinum, 2001, 263 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0116-8.

LUNG, Shih-Chun Candice; WU, Min-Ju; LIN, Chin-Chieh. Customers' exposure to PM 2.5 and polycyclic aromatic hydrocarbons in smoking/nonsmoking sections of 24-h coffee shops in Taiwan. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2004, 14.7: 529-535.

MARONI, Marco, B. SEIFERT a Thomas LINDVALL. *Indoor air quality: a comprehensive reference book*. New York: Elsevier, 1995. ISBN 0444816429.

MEIER, Reto, et al. Modeling indoor air pollution of outdoor origin in homes of SAPALDIA subjects in Switzerland. *Environment international*, 2015, 82: 85-91.

MENDES, A. C. P. Indoor Air Quality in Hospital Environment. Barcelona: 20th Congress of IFHE. 19. - 22. 10. 2008

MOORE, Julian P. Volatile Organic Compounds: Occurrence, Behavior and Ecological Implications. NOVA, 2016. ISBN: 978-1-63485-370-5

OKE, Timothy R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 1976, 14.4: 268-277.

OKE, Timothy R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1982, 108.455: 1-24.

PAŘÍKOVÁ, Jelena. *Jak likvidovat plísně*. Praha: Grada, 2001. Profi & hobby. ISBN 80-247-9029-7.

PATELLA, Vincenzo, et al. Urban air pollution and climate change:“The Decalogue: Allergy Safe Tree” for allergic and respiratory diseases care. *Clinical and Molecular Allergy*, 2018, 16.1: 1-11.

PEKKANEN, J., PENTTINEN, P., TIMONEN, K. L., TIITTANEN, P., MIRME, A., & RUUSKANEN, J. (2007). Number Concentration and Size of Particles in Urban Air: Effects on Spirometric Lung Function in Adult Asthmatic Subjects. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 319. <https://doi.org/10.2307/3454889>

PODSTATOVÁ, Hana. *Základy epidemiologie a hygieny*. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-597-0.

POPE III, C. A., DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air Waste Management Association*. 2006, 56, 709–742.

PROVAZNÍK, Kamil a Lumír KOMÁREK, ed. *Manuál prevence v lékařské praxi*. Praha: Fortuna, 2004. Národní program zdraví. ISBN 80-7071-194-9.

RIZWAN, Ahmed Memon; DENNIS, Leung YC; CHUNHO, L. I. U. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20.1: 120-128.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. Microclimate: the biological environment. 1974.

ROTACH, M. W.; CALANCA, P. Microclimate. In: *Encyclopaedia of Atmospheric Sciences*. Elsevier, 2002. p. 1301-1307.

ROTH, M.; OKE, T. R.; EMERY, W. J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10.11: 1699-1720.

SAMSON, E., et al. Microbiological assessment of indoor air quality of some selected private primary schools in Ilishan-Remo, Ogun state. *Nigeria*, 2017, 3: 2454-9142.

SHIGETA, Yoshinori; OHASHI, Yukitaka; TSUKAMOTO, Osamu. Urban cool island in daytime—Analysis by using thermal image and air temperature measurements. In: *The seventh international conference on urban climate*. 2009.

SCHWARTZ, A. T. *Chemistry in context: applying chemistry to society (2nd ed.)*. Boston: McGraw Hill, 1997. ISBN: 0-697-29158-8.

SLABÁ, Natalie. *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR*. 2., přeprac. vyd. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1972.

SOBÍŠEK, Bořivoj. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 2004, 594. s. ISBN 80-85368-45-5

SRDEČNÝ, Karel a František MACHOLDA. *Úspory energie v domě*. Praha: Grada, 2004. Profi & hobby. ISBN 80-247-0523-0.

SRIVANIT, Manat; IAMTRAKUL, Pawinee. Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand. *Environmental monitoring and assessment*, 2019, 191.9: 580.

SRIVASTAVA, A. and S. DEVOTTA. Indoor air quality of public places in Mumbai, India in terms volatile organic compounds. 2007. *Environmental Monitoring and Assessment* 133 (1–3): 127–38. doi:10.1007/s10661-006-9566-1.

STEWART, Ian D.; OKE, Tim R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93.12: 1879-1900.

STŘEDOVÁ, Hana. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011. ISBN 978-80-86690-90-2.

SUGGITT, Andrew J., et al. Habitat microclimates drive fine-scale variation in extreme temperatures. *Oikos*, 2011, 120.1: 1-8.

ŚMIEŁOWSKA, Monika; MARĆ, Mariusz; ZABIEGAŁA, Bożena. Indoor air quality in public utility environments—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24.12: 11166-11176.

TSK Praha – Technická správa komunikací Praha [online]. Sledovaná komunikační síť pro dopravní sčítání – celá Praha – 2019 (pdf) [cit. 7.5.2020]. Praha, duben 2020. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>

TURANJANIN, Valentina, et al. "Indoor CO₂ measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation." *Energy* 77 (2014): 290-296.

TURIEL, Isaac. *Indoor air quality and human health*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1985. ISBN 0804712557.

UZOECHI, A. U., et al. Microbiological Evaluation of Indoor Air Quality of State University Library. *Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: 2321-0893)*, 2017, 5.03.

VON ARX, Georg; DOBBERTIN, Matthias; REBETEZ, Martine. Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, 166: 144-155.

VU, Tuan V.; DELGADO-SABORIT, Juana Maria; HARRISON, Roy M. Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies. *Atmospheric Environment*, 2015, 122: 114-132.

VYHLÁŠKA Ministerstva zdravotnictví č. 602/2008 Sb., kterou se mění vyhláška č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných

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

WANG, Xiaoliang, et al. A novel optical instrument for estimating size segregated aerosol mass concentration in real time. *Aerosol Science and Technology*, 2009, 43.9: 939-950.

WHO - World Health Organization, et al. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. 2010.

WHO – World Health Organization (2018): Ambient air pollution: Pollutants

<https://www.who.int/airpollution/ambient/pollutants/en/>

WMO - World Meteorological Organization [online]. Climate Action is a priority and a driver of world affairs: UN chief [cit. 18.3.2020]. Geneve, February 2020. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/media/news/climate-action-priority-and-driver-of-world-affairs-un-chief>

WMO - World Meteorological Organization [online]. CO2 breaches a milestone, drives warming [cit. 18.3.2020]. Geneve, May 2016. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/media/news/southern-hemisphere-breaches-co2-milestone>

YANG, W., MARR, L.C. Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity. *PLOS ONE*. 2011, 6(6)

ZMRHAL, Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4573-2.

ZHANG, J., SMITH, K. R. *Indoor air pollution: a global health concern*. British Medical Bulletin. 2003, 68(1), 209-225

ZVÁRA, K. 2008. Regrese. Praha: Matfyzpress. ISBN 978-80-7378-041-8.