

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Ústav obecné hygieny



Nikola Horáková

Koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorech

CO₂ indoor concentration

Bakalářská práce

Praha, květen 2016

Autor práce: Nikola Horáková

Studijní program: Veřejné zdravotnictví

Bakalářský studijní obor: Specializace ve zdravotnictví

Vedoucí práce: **RNDr. Sylva Rödlová, Ph.D.**

Pracoviště vedoucího práce: **Ústav obecné hygieny 3. LF**

Předpokládaný termín obhajoby: 9. 6. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Koncentrace ve vnitřních prostorech“ vypracovala samostatně a použila výhradně uvedené citované prameny, literaturu a další odborné zdroje. Současně dávám svolení k tomu, aby má bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do Studijního informačního systému – SIS 3. LF UK jsou totožné.

V Praze dne 10. 5. 2016

Jméno a příjmení studenta

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Sylvě Rödlové, Ph.D. za její vstřícný přístup, pomoc, podnětné připomínky a čas strávený na konzultacích. Dále děkuji všem, kteří byli ochotni podstoupit měření ve své ložnici a současně s tím vyplnit dotazník.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vnitřní prostředí.....	2
2.1	Znečištění vnitřního prostředí v domácnostech	3
2.1.1	Chemické zdroje znečištění.....	3
2.1.1.1	Oxid uhelnatý.....	3
2.1.1.2	Oxid dusičitý.....	4
2.1.1.3	Oxid siřičitý	4
2.1.1.4	Těkavé organické sloučeniny.....	4
2.1.1.4.1	Formaldehyd.....	5
2.1.1.4.2	Benzen	5
2.1.1.4.3	Polycyklické aromatické uhlovodíky	5
2.1.1.4.3.1	Naftalen	6
2.1.1.5	Azbest	6
2.1.1.6	Kouření	6
2.1.2	Fyzikální zdroje znečištění.....	7
2.1.2.1	Teplota	7
2.1.2.2	Rychlost proudění vzduchu	7
2.1.2.3	Vlhkost.....	8
2.1.2.4	Elektroiontové mikroklima.....	9
2.1.2.5	Hluk	9
2.1.2.6	Neionizující záření.....	10
2.1.2.7	Radon.....	10
2.1.3	Biologické zdroje znečištění	11
2.1.3.1	Plísně.....	11
2.1.3.2	Bakterie.....	11

2.1.3.3	Viry	12
2.1.3.4	Roztoči	12
2.2	Syndrom nemocných budov	12
3	Oxid uhličitý	15
3.1	Vlastnosti CO ₂	15
3.2	Vznik a výskyt CO ₂	15
3.3	Využití CO ₂	16
3.4	Škodlivost CO ₂	17
3.4.1	Akutní expozice	17
3.4.2	Chronická expozice	18
3.5	Platné předpisy České republiky pro oxid uhličitý	18
3.6	Snížení koncentrace CO ₂ ve vnitřních prostorech	20
3.6.1	Větrání.....	20
3.6.1.1	Přirozené větrání	21
3.6.1.2	Mechanické větrání.....	22
3.6.1.3	Hybridní větrání.....	22
3.6.1.4	Klimatizace	23
4	Praktická část	24
4.1	Cíl práce	24
4.2	Charakteristika souboru	24
4.3	Metodika	25
4.3.1	Zpracování dotazníků a měření	27
4.4	Výsledky	28
4.4.1	Výsledky dotazníkového šetření	28
4.4.2	Výsledky korelací.....	34
4.4.2.1	Oxid uhličitý a teplota.....	34

4.4.2.2	Oxid uhličitý a vlhkost.....	35
4.4.3	Porovnání rozdílných faktorů v konkrétních ložnicích během měřených nocí	36
4.4.4	Srovnání naměřených dat s výsledky dotazníkového šetření.....	41
5	Diskuze.....	44
6	Závěr	46
7	Souhrn	47
8	Summary	48
9	Seznam použité literatury.....	49
10	Internetové zdroje.....	52
12	Seznam grafů.....	53
13	Seznam tabulek	54
14	Seznam zkratk	55
15	Seznam příloh.....	56
16	Přílohy.....	57

1 Úvod

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na koncentraci oxidu uhličitého během spánku v ložnicích dospělé populace a na jejích větracích zvycích. Cílem bylo zjistit, v jakých koncentracích se oxid uhličitý reálně v noci pohybuje a jaké faktory na něj mají vliv.

Toto téma mě zaujalo svou originalitou, neboť na veřejnosti se mluví pouze o koncentracích CO₂ ve školách a školkách, kde má oxid uhličitý vliv na soustředění dětí, ale o tom, jak to vypadá s tímto oxidem v našich obydlích, se ví málo. Osobně si myslím, že by toto téma mělo být více prozkoumané a diskutované, protože spánkem tráví průměrný dospělý jedinec 1/3 svého života a oxid uhličitý bude mít pravděpodobně vliv na kvalitu spánku a na odpočínutí jedince po probuzení.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, na část teoretickou a praktickou. Teoretická část informuje o vnitřním prostředí a jeho možném chemickém, fyzikálním a biologickém znečištění a dále objasňuje stále častěji používaný pojem syndrom nemocných budov. Druhá kapitola je věnována samotnému oxidu uhličitému, jeho vlastnostem, výskytu, využití, škodlivosti, platným předpisům týkajících se koncentrací CO₂ a požadavkům na obměnu vzduchu ve vnitřních prostorech a v neposlední řadě možné způsoby větrání.

Praktická část popisuje metodiku měření a zpracování dotazníků, objasňuje soubor respondentů, analyzuje výsledky dotazníkového šetření a samotného měření a diskutuje nad zjištěnými výsledky.

2 Vnitřní prostředí

Lidé z vyspělých industrializovaných zemí tráví až 90 % dne ve vnitřních prostorech, není proto divu, že zájem o problematiku kvality vnitřního ovzduší roste (Frous, Moldan, 2015; NYSEERDA). Kvalita vnitřního prostředí je definována jako stav, kdy je lidem zajištěn zdravý pobyt ve vnitřních prostorech. Vnitřní ovzduší má vliv na pracovní výkonnost a odpočínutí jedince a jeho zdravotní stav (Balík, 2008).

Kvalitu vnitřního ovzduší ovlivňuje mnoho faktorů. V první řadě stavební materiál, ze kterého je budova zkonstruovaná, dále vybavení a údržba (úklid) vnitřních prostor, mikroklimatické faktory (vlhkost, teplota, dostatečná výměna vzduchu), záliby a aktivity uživatelů (kouření, lepení modelů, vaření) a venkovní ovzduší (blízkost rušného dopravního provozu) (SZÚ).

Vnitřní prostředí lze rozčlenit do několika hlavních typů dle jejich charakteru.

Obytné prostředí je prvním z nich, řadíme sem rodinné a bytové domy, v nichž lidé tráví podstatnou část času.

Budovy určené k výkonu povolání tvoří pracovní prostředí. Charakteristika pracovního prostředí je dána povahou práce – používanými materiály a technologiemi.

Prostředí dopravních prostředků nalezneme v automobilech, vlacích, autobusech, letadlech, tramvajích, atd. Vyznačuje se především nízkou cirkulací vzduchu a přítomností emisí ze spalování ropných produktů. U městských prostředků hromadné dopravy je možná i přítomnost znečištění z vnějšího urbánního ovzduší.

Prostředí budov přístupných veřejnosti se vyznačuje vysokou frekvencí osob a jejich vysokým počtem na jednotku plochy. Patří sem knihovny, obchody, školy, úřady.

Poslední skupinou vnitřního prostředí jsou specifická vnitřní prostředí typická pro divadla, kina, muzea, sportoviště, restaurace, kadeřnictví, ale i zdravotnická zařízení, která jsou charakteristická pro výskyt specifických i nespecifických

patogenů působících na citlivou populaci pobývajících ve zdravotnických zařízeních (Frous, Moldan, 2015).

2.1 Znečištění vnitřního prostředí v domácnostech

Vnitřní prostředí znečišťují jak látky z prostředí vnitřního, tak i z prostředí vnějšího. Rozeznáváme chemické, fyzikální a biologické zdroje znečištění (Bencko, 1998).

2.1.1 Chemické zdroje znečištění

Chemické znečištění vnitřního prostředí z prostředí venkovního je významné v městských oblastech a v blízkosti průmyslových zón. Dalším významným zdrojem jsou materiály, ze kterých je budova konstruovaná, nábytek a bytové doplňky, kde jsou přítomné především polycyklické aromatické uhlovodíky. Dále mezi nejběžnější polutanty vnitřního prostředí patří azbest a oxidy: uhelnatý, dusičitý, siřičitý a uhličité, o kterém je podrobněji pojednáno v samostatné kapitole 3 (Jones, 1999).

2.1.1.1 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez zápachu, vznikající při nedokonalém hoření (Bencko, 1998). Zdrojem oxidu uhelnatého ve vnitřním prostředí jsou nejčastěji topná zařízení a plynové spotřebiče spalující fosilní paliva, která jsou špatně nainstalovaná, nedostatečně odvětrávaná nebo nevhodně udržovaná. Dále pak má vliv blízkost rušného dopravního provozu nebo také kouření tabáku v domácím prostředí (WHO, 2010). Oxid uhelnatý se vyznačuje vysokou afinitou k hemoglobinu, ta je $250 \times$ vyšší než u kyslíku (Burroughs, Hansen, 2011). K otravě dochází, pokud je množství karboxyhemoglobinu v krvi větší než 10 %. Fyziologicky zvýšenou koncentraci nalezneme u kuřáků (Bencko, 1998). Množství karboxyhemoglobinu roste s počtem vykouřených cigaret. Návrat k normálu nastává po 6–8 hodinách od posledního kouření (Müllerová, Aujezdská, 2014). Při těžké otravě oxidem uhelnatým dochází k poškození kardiovaskulárního a centrálního nervového systému (Bencko, 1998).

2.1.1.2 Oxid dusičitý

V plynné formě se vyskytuje oxid dusičitý jako těkavý červeno-hnědý plyn se štiplavým zápachem, který je těžší než vzduch. Mezi významné zdroje patří tabákový kouř, plynové sporáky a trouby, ohříváče vody, krby. Vnitřní hladina oxidu dusičitého může být ovlivněna i venkovní dopravou, případně se může dostat do domů z výfukových plynů z přilehlých garáží (WHO, 2010). Tento oxid dráždí sliznice, vede ke kašli, v těžkých případech může vzniknout edém plic. Jsou na něj citlivé více děti než dospělí, zejména v domácnostech s plynovými spotřebiči je u dětí prokázán vyšší výskyt respiračních onemocnění (Bencko, 1998). Český statistický úřad provedl roku 2004 průzkum ukazující, že ze 40 tisíc domácností má 22 652 plynový kuchyňský sporák, 17 196 plynový kotel a 2 603 plynové lokální topení (ČSÚ, 2004).

2.1.1.3 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je bezbarvý, štiplavě zapáchající plyn rozpustný ve vodě vznikající při spalování paliv s obsahem síry. Zdrojem oxidu siřičitého ve vnitřních prostorech jsou petrolejové ohříváče nebo plynové sporáky. Oxid siřičitý je vstřebáván nosní sliznicí a horními dýchacími cestami. Způsobit může dušnost a sípání (Jones, 1999).

2.1.1.4 Těkavé organické sloučeniny

Těkavé organické sloučeniny jsou látky s nízkou molekulární hmotností, nízkou rozpustností ve vodě a nízkým bodem varu (Wang, Schroor, Doi, 1996). Vyšší koncentrace těkavých organických sloučenin se nachází v nových nebo nedávno upravených budovách, což je dáno jejich rychlým vypařováním (Jones, 1999). Zdrojem jsou například dřevotřískové desky, podlahové vosky, mořidla, laky, podlahové krytiny, koberce, vinylové podlahy (Institute of Medicine Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air, 2000). Těkavé organické sloučeniny způsobují akutní i chronická onemocnění. Již velmi nízké koncentrace těchto látek zatěžují astmatiky a pacienty s respiračními onemocněními. Vysoké koncentrace mají narkotický účinek, působí na nervový systém, dráždí dýchací cesty, oči a kůži. Předpokládá se, že účinky produktů z chemických reakcí

těkavých organických látek jsou mnohem závažnější než přímá expozice těmto látkám.

Mezi hlavní těkavé organické sloučeniny patří aromatické uhlovodíky (benzen, naftalen, toluen, xylen), alkoholy, ketony (aceton, metyletylketon), aldehydy (formaldehyd), terpeny, estery, ethery a další (Jones, 1999).

2.1.1.4.1 Formaldehyd

Formaldehyd je nepříjemně čpící plyn se silnými desinfekčními účinky. Je používán při výrobě umělých hmot, překližek, dřevotřískových desek, bytového nábytku a textilu, ze kterých se uvolňuje i několik let (Habermann, 2004). Formaldehyd je kontaktní a inhalační alergen způsobující bolest hlavy, nespavost, únavu, pocit suchosti vedoucí ke kašli, pálení očí a sliznic. Uvedeným obtížím lze předejít pravidelným větráním, protože formaldehyd je snadno odvětratelný (Bencko, 1998). Roku 2012 byl přidán na IARC (International Agency for Research on Cancer) seznam prokázaných lidských karcinogenů (WHO, 2016).

2.1.1.4.2 Benzen

Benzen je bezbarvá, čirá, těkavá, vysoce hořlavá kapalina s charakteristickou vůní. Uvolňuje se z bytového vybavení – kobereců, PVC (polyvinylchlorid), gumových podlah, dřevotřískových desek, nábytku, překližek, podlahových lepidel, sklolaminátu, dřevěných obložení. Vdechnutí vysoké koncentrace benzenu vede k útlumu centrálního nervového systému a k zástavě dechu. Mírnější forma otravy se projeví bolestí hlavy, problémy s řečí, závratěmi, nevolností, nespavostí, únavou, parestéziemi v rukou a nohou. Z mnoha epidemiologických studií vyšlo najevo, že dlouhodobé vystavení nižším dávkám benzenu vede k aplastickým anémiím (WHO, 2010).

2.1.1.4.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Polycyklické aromatické uhlovodíky obsahují dvě a více benzenových jader. Jsou to látky špatně rozpustné ve vodě, ale dobře rozpustné ve většině organických rozpouštědel (WHO, 2010). Často jsou ve vnitřním prostředí obtížně zjistitelné, do ovzduší se dostávají při vaření z připálených tuků, kouření, z venkovního prostředí spalováním fosilních paliv či domovního odpadu v lokálních topeništích.

Některé z polycyklických aromatických uhlovodíků jsou podezřelé či prokázané karcinogeny (Bencko, 1998).

2.1.1.4.3.1 Naftalen

Naftalen je jeden z nejvýznamnějších polycyklických aromatických uhlovodíků. Má podobu bílého krystalického prášku s charakteristickým zápachem. Nachází se v barvách, kreosotu určeného k impregnaci dřeva, sádrokartonech jako změkčovač, syntetických a přírodních gumách jako dispergátor, tabákovém kouři, hmyzích repelentech určených proti šatním molům, víceúčelových rozpouštědlech, vlasových lacích. Naftalen může stát za příčinou vzniku hemolytické anémie (WHO, 2010).

2.1.1.5 Azbest

Pod pojmem azbest se skrývá skupina nerostů – silikátů, které se v přírodě vyskytují buď ve formě serpentinu, nebo amfibolu vyznačujících se vláknitou strukturou. Tato vlákna jsou nehořlavá a odolná kyselinám i zásadám (Pelclová, 2014). Pro své vlastnosti (již zmíněná nehořlavost, špatná tepelná a elektrická vodivost) byl hojně využíván v potrubích a kotlích jako izolace, tepelných dlaždicích nebo cementových deskách. Akutní vystavení azbestu způsobuje podráždění kůže, mezoteliom, rakovinu plic nebo azbestózu, při níž dochází k plicní fibróze. V mnoha zemích byl azbest pro své negativní dopady na zdraví zakázán (Jones, 1999). V České republice byl roku 1998 schválen zákon zakazující (až na výjimky v něm uvedené) dovoz, výrobu a distribuci výrobků s obsahem azbestu. Od roku 2005 platí stejný zákaz ve všech státech Evropské unie (Pelclová, 2014).

2.1.1.6 Kouření

Tabákový kouř je směsí 4 – 5 tisíc chemických látek včetně stovky prokázaných karcinogenů. Nejznámějšími karcinogeny jsou dibenzantracen, benzo(a)-pyren, hydrazin, vinylchlorid, dietylnitrosamin, dimetylnitrosamin nebo arsen. Zbytek látek má mutagenní, toxický nebo alergizující účinky. Součástí cigaret je 700 – 1 000 různých aditiv, která nejsou na krabičce uváděna. Z jedné cigarety se uvolní 10^{17} volných radikálů, velké množství oxidu uhelnatého, dehtu, PAU

(polycyklických aromatických uhlovodíků), kadmia, amoniaku, akroleinu, kyanovodíku, toluenu, ftalátu, oxidů síry a dusíku.

Následkem kouření vznikají nenádorová respirační onemocnění, rakovina plic, kardiovaskulární onemocnění a poruchy erekce, jenž jsou způsobeny volnými radikály. Vlivem oxidu uhličitého dochází k hypoxii tkání, který zapříčiňuje sníženou schopnost hemoglobinu přenášet kyslík. Bolesti hlavy a iritace sliznic následují už i po krátkodobé nedobrovolné expozici tabákovému kouři. Při dlouhodobé nedobrovolné expozici tabákovému kouři dochází ke shodnému onemocnění jako u kouření aktivního (Müllerová, Aujezdská, 2014). U dětí je pasivní kouření spojeno s drážděním dýchacích cest, sníženou funkcí plic, infekcemi dolních cest dýchacích, zánětem středního ucha a zhoršením astmatu (Franklin, 2007). Zhruba 40 % dětí a mládeže je podle šetření jejich kuřáckých zvyklostí vystaveno tabákovému kouři v domácím prostředí (Kodl, 2014). Kouření v domácnosti způsobuje ukládání zplodin v textilích, ve vybavení a stavebních součástech bytu, což vede k postupnému uvolňování pachů a k prodloužené době zátěže cigaretového kouře (Müllerová, Aujezdská, 2014).

2.1.2 Fyzikální zdroje znečištění

Vedle chemického znečištění dochází ve vnitřních prostorech ke znečištění fyzikálnímu. Fyzikálním zdrojem znečištění může být nevhodná teplota, rychlost proudění vzduchu, vlhkost, elektroiontové mikroklima, hluk, vibrace, ionizující a neionizující záření.

2.1.2.1 Teplota

Obecně se jako doporučená teplota pro vnitřní prostředí uvádí $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. V letním období by neměla teplota překročit 26 °C . K subjektivnímu pocitu tepelné pohody dojde, pokud se metabolický tepelný tok rovná toku odváděného tepla z těla (Provazník, Komárek, 2004).

2.1.2.2 Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu by se měla celoročně pohybovat mezi $0,1 - 0,2\text{ ms}^{-1}$. Pokud klesne rychlost proudění pod $0,05\text{ ms}^{-1}$, bude jedinec subjektivně pociťovat

těžký, nedýchatelný vzduch. Bude-li proudění vyšší než $0,25 \text{ ms}^{-1}$, pocítí člověk průvan (Provazník, Komárek, 2004).

2.1.2.3 Vlhkost

Bencko (1998) uvádí relativní vlhkost 30 – 60 % pro úplnou tělesnou a psychickou pohodu. Relativní vlhkost vzduchu je dána poměrem absolutní a maximální vlhkostí vzduchu pro danou teplotu a tlak. Nízká relativní vlhkost má negativní vliv na dýchací cesty, způsobuje suchost, pálení sliznic a jejich dráždění. Přesáhne-li vlhkost 60 %, vytváří se vhodné prostředí pro růst hub, plísní, bakterií a roztočů. Při vysoké relativní vlhkosti a zároveň vysoké teplotě se snižuje odpařování potu a je tak zablokovan ochlazovací mechanismus lidského těla (Bencko, 1998). Dále může zvýšená vlhkost způsobit astma, sinusitidy nebo hypersenzitivitu (OSHA, 2011).

Ze 75 až 80 % tvoří vlhkost jednu z hlavních příčin poškození budov. Zdrojem vlhkosti může být dešťová nebo podzemní voda tekoucí do uzavřeného prostoru (střecha, stěny, okna), instalátérské úniky (nesprávná instalace, nedostatečná údržba, špatný provoz) nebo voda prosakující skrz porézní stavební materiál. Pokud dochází k exfiltraci (proudění vzduchu z vnitřního prostředí do venkovního) teplého vlhkého vzduchu z místnosti během chladného počasí skrz praskliny a otvory v plášti budovy, probíhá na stěnách a stropu kondenzace vodní páry. Naopak infiltrace (proudění vzduchu z venkovního prostředí do vnitřního) teplým vzduchem skrz trhliny během teplého a vlhkého počasí způsobí kondenzaci na chladnějších materiálech, například těch, které jsou součástí klimatizace (WHO, 2009). Dalšími zdroji vlhkosti mohou být akvária, rostliny, vlhkost vznikající při vaření a v koupelně při sprchování (Balík, 2008).

Při dané teplotě je vzduch schopen pojmout jen určité množství vodní páry. Pokud je vzduch maximálně nasycen vodními parami, nazývá se teplota rosným bodem – viz Tabulka 1 (Balík, 2008).

Rosný bod						
Teplota vzduchu [°C]	-20	-10	0	10	20	30
Max. obsah vodní páry ve vzduchu [gm ⁻³]	0,9	2,2	4,8	9,1	17,3	30,3

Tabulka 1: Rosný bod (Balík, 2008, str. 17)

Průměrný byt může vyprodukovat 10 – 15 kg vodní páry za den, jak je vidět v Tabulce 2 (Balík, 2008).

Zdroje vlhkosti	
Zdroj vlhkosti	Množství vlhkosti [gh ⁻¹]
Člověk	50 – 300
Koupelna	700 – 2 600
Kuchyně	600 – 1 500
Sušárna	200 – 500

Tabulka 2: Zdroje vlhkosti (Balík, 2008, str. 17)

Vlhkost lze snížit řádným vytápěním vnitřních prostor v zimních měsících, dostatečným větráním, omezením produkce vlhkosti nebo zajištěním lokální ventilace pro lokální zdroje vývinu vodních par (Balík, 2008).

2.1.2.4 Elektroiontové mikroklima

Elektroiontové mikroklima je dáno množstvím volných atmosférických kladných a záporných iontů v ovzduší. Podle velikosti se dělí na lehké, střední, těžké. Na činnost řasinkového epitelu a produkci hlenu v plicích mají pozitivní vliv ionty lehké, kouřením cigaret jejich počet klesá. Obyvatelé místnosti při nedostatku lehkých iontů mohou pocítit nespavost, zvýšenou únavu, podrážděnost či obtížné soustředění, které vedou k poklesu pracovní výkonnosti (Bencko, 1998).

2.1.2.5 Hluk

Hluk se skládá ze zvuků, které jsou charakterizovány frekvencí, akustickým tlakem a amplitudou zvukové vlny. Lidské ucho vnímá zvuky o frekvenci 20 Hz – 20 kHz, přitom nejcitlivější je v oblasti 1 – 4 kHz. Až polovina domácností ve městech je vystavena nadměrnému hluku z dopravy a v menší míře i z jiných zdrojů. Podle vyhlášky o ochraně před hlukem by v obytných budovách neměl být během dne překročen limit 40 dB a 30 dB v noci (Müllerová, Aujezdská, 2014).

Hluk o nízké intenzitě má vliv na centrální nervový systém. Obtíže způsobené hlukem jsou nespecifického charakteru, jako je podráždění, únava, deprese (Bencko, 1998).

2.1.2.6 Neionizující záření

Neionizující záření je každé elektromagnetické záření, při kterém nedochází k ionizaci (Müllerová, Aujezdská, 2014). Elektromagnetické záření rozdělujeme na nízkofrekvenční (do 30 kHz), vysokofrekvenční (30 kHz – 300 MHz) a na záření o velmi vysoké frekvenci (300 MHz – 300 GHz). Každý elektrický spotřebič uvedený v provozu je zdrojem elektromagnetického pole o malé intenzitě a omezeném rozsahu. Neionizující záření může u jedinců vyvolat nespecifické obtíže podobné syndromu nemocných budov, o kterém je pojednáno v kapitole 2.2 (Bencko, 1998).

2.1.2.7 Radon

Jedno z nejvýznamnějších ionizujících záření je záření radonu. Radon je přirozený radioaktivní bezbarvý plyn, bez chuti, zápachu, těžší než vzduch. Zdrojem radonu může být podlážka budov, stavební materiál obsahující malé množství uranu, případně i zemní plyn či podzemní voda (Bencko, 1998). Komínovým efektem se dostává radon z podlážky do domu, což je dáno podtlakem nejnižšího podlaží domu vůči jeho podlážce (Provazník, Komárek, 2004). Rozpadem uranu vzniká nebezpečný alfa zářič radon s poločasem rozpadu 3,8 dne.

Radon se hromadí v uzavřených prostorech, kde při vdechování způsobuje vnitřní ozáření plic (Habermann, 2004). Karcinomy plic vzniklé na základě ozáření se objevují ve vyšším věku (Provazník, Komárek, 2004). Nebezpečí stoupá spolu s dalšími rizikovými faktory, například s kouřením.

Snížení koncentrace radonu je docíleno izolací obytných prostor nových staveb, u starších staveb lze množství radonu snížit pravidelným větráním (Bencko, 1998). Dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. nesmí v nových obytných domech překročit koncentrace radonu v ročním průměru 200 Bq/m³ (307/2002 Sb., 2002).

2.1.3 Biologické zdroje znečištění

Mezi hlavní zástupce biologického znečištění patří bakterie, viry, houby, plísně, pyl, zvířecí srst. Často je biologické znečištění spojeno s vyšší vlhkostí obytných prostorů, protože vyšší vlhkost podněcuje bakteriální růst a přežívání virů, jak již bylo napsáno v kapitole 2.1.2.3 (OSHA, 2011).

2.1.3.1 Plísně

Plísně jsou všudypřítomné eukaryotické organismy, které se dostávají do budov z nového materiálu, oblečení nebo při pasivním či aktivním větrání. Vyskytují se i v domech bez vlhkostních problémů. Za zvýšené vlhkosti mají schopnost růst na kterémkoliv materiálu. Živiny ani teplota nejsou pro plísně limitujícím faktorem, rostou při teplotě 10 – 35 °C. Plísně mají škodlivý vliv nejen na zdraví člověka, ale i na budovy, které poškozují.

Plísňové alergeny jsou glykopeptidy s enzymatickými vlastnostmi, nacházejícími se ve sporách, hyfách a plísňových fragmentech, jenž se uvolňují v průběhu klíčení a růstu mycelia. Plísně mohou produkovat I. typ alergenu (Penicillium, Alternaria, Aspergillus, Cladosporium spp.), což je spojeno s alergickým respiračním onemocněním, zvláště pak s astmatem. III. typ alergenu produkují rody Penicillium a Aspergillus. Ve vysokých koncentracích se mohou plísně podílet na kombinované formě III. a IV. alergické reakce a mohou způsobit hypersenzitivní pneumonie (WHO, 2009).

2.1.3.2 Bakterie

Bakterie jsou hojně se vyskytující jednobuněčné organismy přítomné v prachu a na površích domů i bez problémů s vlhkostí. Zdrojem bakterií je venkovní vzduch, lidé a vnitřní bakteriální růst. Bakterie potřebují pro růst větší množství vody než plísně. Většina obydlí zajišťuje dostatkem potravy a vhodnou teplotou kvalitní podmínky pro jejich život. O přítomnosti vyšší vlhkosti svědčí přítomnost gramnegativních bakterií.

Významným zástupcem jsou mykobakterie, které se vyskytují jen v budovách poškozených vlhkostí. Se stupněm poškození roste jejich objem. Buněčné stěny

těchto bakterií jsou vysoce imunogenní a mohou tak způsobovat zánětlivé odpovědi (WHO, 2009).

2.1.3.3 Viry

Viry jsou tvořené z DNA nebo RNA kyselin a mají schopnost rozmnožovat se pouze v hostiteli – v buňkách rostlin, bakterií, živočichů (Provazník, Komárek, 2004). Životnost respiračních virů prodlužuje vyšší vlhkost vnitřního prostředí, proto jsou obyvatelé vlhkých budov vystaveni většímu riziku respirační infekce a nástupu alergického onemocnění (WHO, 2009).

2.1.3.4 Roztoči

Roztoči patří do třídy pavoukoců. Hlavním zdrojem potravy jsou šupinky kůže. Pro přežití potřebují roztoči vlhkost alespoň 45 – 50 %, čím vyšší hladina, tím rychleji se množí (WHO, 2009). Roztoči produkují inhalační alergeny vyskytující se v prachu, matracích a lůžkovinách, které stojí za jednou z hlavních příčin vzniku astmatu (Institute of Medicine Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air, 2000).

2.2 Syndrom nemocných budov

SBS (sick building syndrom – „syndrom nemocných budov“) je pojem používaný pro nespécifické symptomy souvisejícími s pobytem v budovách. Mezi hlavní příznaky patří bolesti hlavy vyskytující se většinou v oblasti čela, které se objevují v odpoledních hodinách. Dále pak nevolnost, závratě, podráždění očí bez známek zánětu, podráždění nosu, únava, alergie, chrapot, citlivost na pachy a suchá pokožka. Příznaky syndromu se mohou vyskytovat jednotlivě nebo v kombinaci s ostatními, cyklicky nebo epizodicky.

Budova je označována za nemocnou, pokud více než 20 % uživatelů budovy pociťuje po dobu alespoň dvou týdnů symptomy nepohodlí, které se snižují nebo vymizí po opuštění budovy. Příčiny nemusí být často identifikované (Burroughs, Hansen, 2011). Většina studií ukázala, že se symptomy zmírní nebo vymizí s přívodem čerstvého vzduchu, naopak s časem stráveným v nevyhovující budově roste intenzita příznaků.

S příznaky syndromu nemocných budov se potýkají častěji pracovníci, kterým výměnu vzduchu zajišťuje mechanická ventilace než pracovníci v přirozeně větraném prostředí. Jedním z důvodů může být kontaminace větracích systémů. Navzdory rozsáhlým studiím nebyla v 75 % případů zjištěna hlavní příčina SBS, což může být způsobené technickým omezením a vysokou nákladností vzorkovací techniky (Jones, 1999).

SBS je často zaměňováno s BRI (building related illness – „nemoc vázaná na určitý typ budovy“). Za BRI budovy jsou označovány ty, které jsou spojeny s klinickým a diagnostickým ověřením nemoci a přítomné příznaky jsou skutečně nemoci způsobené pobytem v zařízení. BRI se pokládá za pozdější stádium SBS. Je neobvyklé, aby se budova dostala do BRI fáze, aniž by předtím neprošla SBS se svými potížemi. Infekci BRI mohou vyvolat viry, bakterie, houby a mohou způsobit astma, hypersenzitivní pneumonii, Humidifier Fever, Legionářskou nemoc, horečku Pontiac.

K SBS a BRI přispěly nové konstrukce budov, které jsou těsnější za účelem šetření nákladů na energie a spoléhají na mechanickou ventilaci. Následují konstrukční materiály, nábytek a koberce, jenž jsou zdrojem kontaminace, viz 2.1.1 Chemické zdroje znečištění. Ke znečištění vnitřního prostředí přispěl i rozvoj technologie, zvláště pak laserové tiskárny, počítače, scannery. Zdravotní problémy způsobené znečištěným ovzduším mohou být zhoršeny stresem (Burroughs, Hansen, 2011). Příčinou SBS a BRI se jeví interakce mnoha chemických, biologických, fyzikálních a psychosociálních faktorů (Jones, 1999).

Pracovníci National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) provedli v USA roku 1983 výzkum, který naznačuje, že jednou z hlavních příčin SBS by mohlo být nedostatečné větrání, jak je vidět v Tabulce 3. Ve výzkumu bylo otestováno 203 vnitřních prostorů (London Hazards Centre, 1990).

Výsledky výzkumu NIOSH		
Původ znečištění	Počet výskytů	% výskytů
Nedostatečné větrání	98	48
Kontaminace (vnitřní)	36	18
Kontaminace (vnější)	21	10
Neznámé	19	9
Vlhkost	9	4
Kontaminace (konstrukce budovy)	7	3
Mikrobiologická kontaminace	6	3
Cigaretový kouř	4	2
Hluk, osvětlení	2	1
Svrab	1	0,5

Tabulka 3: Výsledky výzkumu NIOSH (London Hazards Centre, 1990, str. 41)

3 Oxid uhličitý

3.1 Vlastnosti CO₂

Oxid uhličitý je stálý, bezbarvý, nehořlavý plyn, kyselé chuti s lehce štiplavým zápachem, o polovinu těžší než vzduch, skládající se z jednoho atomu uhlíku a dvou atomů kyslíku (Votoček, 1945). Atomy uhlíku mají nejvyšší možné oxidační číslo, proto nepodléhá CO₂ oxidaci (Flemr, Dušek, 2007). Podle Henryho zákona roste za dané teploty a vzrůstajícím tlaku rozpustnost oxidu uhličitého (Remy, 1972). Při návratu k normálnímu tlaku je oxid uvolňován z kapaliny. Tento princip lze vidět při výrobě sodové vody (Remsen, 1899). S rostoucí teplotou rozpustnost klesá. Oxid uhličitý lze z vody odstranit varem.

Za vyšší teploty reaguje CO₂ se silně elektro pozitivními kovy (draslík, hořčík, zinek), kterým odevzdává svůj kyslík (Remy, 1972). Ve vodě se oxid uhličitý slučuje s molekulami vody a vzniká tak nestálá slabá kyselina uhličitá (Remsen, 1899).

Tlakem a ochlazením lze oxid uhličitý kondenzovat na bezbarvou tekutinu. Pokud necháme tento kapalný oxid slabě vytékat, dojde k evaporaci a odnímání tepla, čímž vzniká oxid uhličitý v pevném skupenství, neboli suchý led, vzhledově podobný sněhu (Votoček, 1945). Suchý led má dvakrát vyšší chladivý účinek než normální led a vypařování probíhá beze zbytku (Remy, 1972). Oxid uhličitý v pevném skupenství se vypařuje o něco pomaleji než ve skupenství kapalném (Votoček, 1945).

3.2 Vznik a výskyt CO₂

Oxid uhličitý je produktem buněčného dýchání probíhajícího u všech živých organismů (Moldan, 2015). Vydechovaný vzduch obsahuje u člověka 4 % oxidu uhličitého. Za rok vyprodukuje dospělý jedinec průměrně 350 kg CO₂ (Quaschnig, 2010). Oxid uhličitý vzniká při spalování fosilních paliv, neboť při hoření uhlí, zemního plynu a ropných produktů se uhlík oxiduje na oxid uhličitý a dostává se do vzduchu. Do ovzduší se dostává také při výrobě cementu, který se vyrábí z uhličitanu vápenatého (Moldan, 2015). Dále je uvolňován rozkladem biomasy, desorpce z oceánů a při těžbě zemního plynu (Kutěj, Hanzal, 2002).

Remsen udává jako další zdroj přírodní minerální vody, kde se vyskytuje CO₂ v malém množství a také je oxid uhličitý uvolňován při rozpadu organického materiálu, sopečné činnosti a alkoholovém kvašení (Remsen, 1899).

V roce 2013 dosáhla koncentrace CO₂ v zemské atmosféře hodnoty 400 ppm, před rozvojem průmyslu se hodnoty pohybovaly kolem 280 ppm. Koncentrace oxidu uhličitého se v průběhu roku mění. V létě jsou hodnoty nižší, což je způsobeno aktivitou zelených rostlin, které v letním období redukují oxid uhličitý fotosyntézou, zatímco v zimě převažuje dýchání rostlin a s tím související tvorba CO₂ (Moldan, 2015).

3.3 Využití CO₂

Oxid uhličitý má široké uplatnění napříč mnoha odvětvími. V potravinářství se používá na sycení limonád a stolních vod, kde pomáhá vodu konzervovat, příznivě ovlivňuje chuť, povzbuzuje trávení a podporuje diurézu. Na druhou stranu způsobuje zvýšenou kyselost vody a může tak dojít k acidobazické nerovnováze – acidóze (Müllerová, Aujezdská, 2014). Využití nachází i při čepování limonád a piva, kde zabraňuje přístupu kyslíku a dalším exogenním látkám. Spolu s dusíkem je součástí ochranné atmosféry pro balení potravin, prodlužuje trvanlivost, udržuje čerstvost a chuťové vlastnosti.

Oxid uhličitý je hojně využíván jako hasící médium, neboť nezpůsobuje následné škody na hašeném materiálu. Při hašení se kapalným oxidem přeměňuje na suchý led, který záhy sublimuje, čímž dochází k udušení ohně a ochlazení hašeného materiálu. Tento způsob hašení lze použít na řadu materiálů mimo hliník a hořčík, u kterých by došlo k nežádoucím exotermickým reakcím (Kutěj, Hanzal, 2002).

Ve strojírenství nachází oxid uhličitý v pevném skupenství uplatnění při formování kovů (Aresta, Forti, 1986). Plynný oxid zajišťuje ochrannou atmosféru při svařování uhlíkových ocelí elektrickým obloukem (Kutěj, Hanzal, 2002).

Oxid uhličitý nachází uplatnění i při těžbě ropy. V ropě se rozpouští, čímž snižuje její viskozitu a zlepšuje její odčerpávání z ropného naleziště.

Chemický průmysl využívá oxid uhličitý k čištění a rozměňování pryžových dílů a elastomerních materiálů. Dále se uplatňuje při výrobě pěnového kaučuku, uhličitánů (např. NaCO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3), močoviny, kyseliny salicylové.

Vyšší hladiny CO_2 mají příznivý vliv na růst rostlin, proto je oxid uhličitý často aplikován ve sklenících (Aresta, Forti, 1986).

Ve zdravotnictví se s oxidem uhličitým lze setkat při laparoskopických operacích, kde se využívá k rozepětí břišních dutin (Zeman, Krška, 2011). Následují uhličitánové koupele aplikované v rámci rehabilitace (Remy, 1972).

Ve vodárenství se CO_2 používá při neutralizaci odpadních vod (Aresta, Forti, 1986).

3.4 Škodlivost CO_2

Škodlivost oxidu uhličitého závisí na koncentraci CO_2 a na délce expozice. Oxid uhličitý je $20 \times$ lépe rozpustitelný ve tkáňových tekutinách než kyslík, proto rychle ovlivňuje respirační a centrální nervový systém (Scott, Kraemer, Keller, 2009).

3.4.1 Akutní expozice

Překročí-li koncentrace oxidu uhličitého 1 % (= 10 000 ppm), dochází v plicích ke zvýšené ventilaci. V rozmezí 3 – 8 % nastává snížení sluchového prahu. Při 7 % a výše se zvyšuje systolický i diastolický tlak a počet tepů stoupá v průměru o 17 tepů za minutu. Srdeční arytmie byly zaznamenány v rozmezí 7 – 14 %. Problémy s mluvením způsobené hyperventilací vznikají při 8 %. Bezvědomí nastává při koncentraci vyšší než 10 % po 10 – 20 minutách. U koncentrace 10 – 15 % je už po 90 sekundách viditelné rychlé mrkání, mykotické záškuby a rozšířené zornice. Více než 17 % přivodí do několika málo sekund křeče, bezvědomí a smrt (Scott, Kraemer, Keller, 2009).

K akutní expozici oxidu uhličitého dochází při otravách kouřovými plyny, kde oxid uhličitý doprovází oxid uhelnatý, který vzniká při nedokonalém spalování, tj. spalování za nedostatečného množství kyslíku. Čistá otrava oxidem uhličitým nebo oxidem uhelnatým neexistuje, vždy jde o kombinaci obou oxidů v různém

poměru. Otrava s převahou CO₂ se vyznačuje ospalostí, euforií, neklidem. Končit může ztrátou bezvědomí nebo smrtí. Jak již bylo napsáno výše, oxid uhličitý má větší hmotnost než vzduch, a proto je vyšší koncentrace přítomná v nižších polohách. Z toho vyplývá, že otravou jsou častěji zasaženy děti, u kterých se navíc projevují závažnější příznaky otravy (Vojtíšek, 2011).

3.4.2 Chronická expozice

Přesáhne-li koncentrace CO₂ 0,06 %, začínají obyvatelé vnitřních prostorů pociťovat sníženou kvalitu vzduchu. Vnímaví jedinci na sobě mohou při těchto hodnotách pozorovat potíže s dýcháním, zrychlenou tepovou frekvenci, únavu či bolest hlavy. Při 0,1 % jsou tyto příznaky přítomné u všech osob v místnosti (Robertson, 2006). Dlouhodobá expozice nižším hodnotám CO₂ vede ke zvýšenému napětí v alveolech a ke zvýšené plicní ventilaci, což způsobí zvětšení mrtvého alveolárního prostoru. Tento jev byl pozorován po vystavení koncentracím 0,8 – 0,9 % během 20 dnů. Vysoké koncentrace CO₂ způsobují metabolickou acidózu projevující se snížením pH krve. Čím vyšší koncentrace CO₂ ve vzduchu je, tím rychleji se acidóza vyvíjí (Scott, Kraemer, Keller, 2009).

3.5 Platné předpisy České republiky pro oxid uhličitý

Podmínky ochrany zdraví při práci ustanovuje nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Je v něm obsaženo minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu na pracoviště. Pro každého zaměstnance vykonávajícího práci vsedě s minimální pohybovou aktivitou, nebo práci spojenou s lehkým pohybem rukou či paží bez přítomnosti chemických látek, prachů a jiných zdrojů znečištění je stanoveno minimální množství přiváděného vzduchu na 25 m³h⁻¹. Pokud je na pracovišti stejné klasifikace přítomné znečištění prachy či chemickými látkami, musí být přivedeno 50 m³h⁻¹ na každého pracovníka. 70 m³ čerstvého vzduchu za hodinu musí být zajištěno pro zaměstnance, u kterých převažuje práce vestoje s trvalým zapojením paží, rukou, nohou, chůze po zvláště terénu bez zátěže, práce v předklonu nebo vkleče. Zaměstnanec těžce fyzicky pracující potřebuje ke svému výkonu 90 m³ čerstvého vzduchu za hodinu. Při delší zátěži teplem, prachem nebo kouřením v pracovní místnosti musí dojít ke zvýšení přiváděného vzduchu

o $10 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ na zaměstnance. Není zde definovaná maximální přípustná koncentrace pro oxid uhličitý ve vnitřních prostorech (361/2007 Sb., 2007).

Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých udává požadavky na přívod vzduchu v jednotlivých prostorech školních zařízení. Tabulka 4 uvádí přehled minimálního množství přiváděného čerstvého vzduchu v jednotlivých školních prostorech (410/2005 Sb., 2005).

Množství přiváděného čerstvého vzduchu ve školních zařízeních	
Typ prostoru	Množství vzduchu [m^3h^{-1}]
Učebny	20 – 30 na 1 žáka
Tělocvičny	20 – 90 na 1 žáka dle povahy prováděného cvičení
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umývadlo
Sprchy	150 – 200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na pisoár

Tabulka 4: Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání (410/2005 Sb., 2005, str. 17)

Ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby je uvedeno, že v bytových místnostech musí být zajištěn přívod 25 m^3 čerstvého vzduchu za hodinu a osobu. Koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřních prostorech nesmí překročit hranici 1500 ppm (268/2009 Sb., 2009).

ČSN EN 15665 definuje požadavky na větrání obytných budov – viz Tabulka 5 (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011).

Požadavky na větrání obytných budov					
Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ h ⁻¹]	Kuchyně [m ³ h ⁻¹]	Koupelna [m ³ h ⁻¹]	WC [m ³ h ⁻¹]
Mínimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tabulka 5: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665 (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011)

Při dlouhodobé nepřítomnosti lidí v obytné budově je možno snížit intenzitu větrání na 0,1 h⁻¹. Dále je nutné zajistit odvod znečištěného vzduchu z místnosti, který vzniká zejména při vaření a jiných činnostech (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011).

3.6 Snížení koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorech

3.6.1 Větrání

Větrání je definované jako výměna vzduchu, kdy dochází k odvodu vnitřního znehodnoceného vzduchu a k přívodu zdravotně nezávadného venkovního vzduchu do vnitřních prostorů. Přívod čerstvého vzduchu nesmí být spojen s průvanem, přenosem hluku z venkovního prostředí a s vířením prachu. Vývod odpadního vzduchu musí být v místě, kde nebude obtěžovat své okolí – nejčastěji bývá umístěn na střeše budovy a vzdálený 1,5 metru od nasávacích otvorů.

Místní větrání přivádí nebo odvádí vzduch z místního zdroje škodlivin pomocí vzduchové clony, sprchy či odsávání.

Při celkovém větrání dochází k výměně vzduchu v celém prostoru. Užítí nachází tam, kde nelze uplatnit větrání místní, nebo slouží jako jeho doplněk (Dufka, 2002). Dále v prostorech, kde mění škodliviny svoji pozici a nemohou být proto odvětrávány místně (lidé, domácí zvířata, látky uvolňující se z vybavení bytu) (NYSERDA). Celkové větrání je využíváno v obytných, montážních a průmyslových stavbách (Dufka, 2002).

3.6.1.1 Přírozené větrání

Přírozené větrání je proudění vzduchu, které vzniká na základě rozdílu tlaků uvnitř a vně budovy. K proudění dochází skrz spáry oken, dveří a poréznost zdiva. Toto proudění závisí na těsnosti, výšce a provedení stavby (velikost dveří a oken, použité zdivo). Výhodou je, že k vynaložení přírozeného větrání není potřeba dodávka energie. Přírozené větrání může probíhat jako provětrávání nebo jako šachtové větrání.

Pojmem provětrávání se rozumí větrání skrz otevřené okno a dveře (Dufka, 2002). Při pobytu osob v místnosti by mělo být důkladně vyvětráno jednou za dvě hodiny. V zimních měsících je doporučováno krátké intenzivní provětrávání po dobu 3 – 5 minut, na jaře a na podzim 10 – 15 minut (Srdečný, Macholda, 2004). Plně otevřená okna zajistí dostatečnou výměnu vzduchu a během krátké doby nedojde k tepelným ztrátám a k ochlazení stěn. Provětrávání přivřenými okny nezajistí potřebné množství čerstvého vzduchu, výměna probíhá pouze v blízkosti oken. Provětrávání střešními okny nabývá stejné intenzity jako je tomu u oken umístěných na kolmé zdi.

Šachtové větrání je umožněno komínem, nebo potrubím či průduchem, který je spojen s větrací šachtou a odvádí znehodnocený vzduch nejčastěji na střechu budovy. V obytných budovách bývá často šachta vyzděná a vede středem budovy. Ve výrobních provozech a průmyslových budovách je vzduch odváděn plechovým potrubím umístěným podél obvodových zdí. Šachtové větrání neprobíhá v letních měsících, kdy je teplota venku vyšší než v budově. Chladnější vzduch z vnitřního prostředí klesá v šachtě dolů a větrání pomocí šachty nefunguje.

Nejčastěji dochází k větrání skrz netěsná okna a dveře. Dobře utěsněná okna umožní vyměnit pouze 1/10 vnitřního vzduchu za hodinu. V tomto případě je doporučováno časté krátké intenzivní větrání. Rychlejší výměna vzduchu probíhá při větším rozdílu teplot vně a uvnitř budovy a při průvanu.

Větrání pomocí oken a dveří je nejpoužívanější nástroj k výměně vzduchu. O jeho účinnosti se lze přesvědčit v Tabulce 6 (Dufka, 2002).

Intenzita výměny vzduchu	
Poloha oken (dveří)	Intenzita větrání [h^{-1}]
Okna i dveře uzavřeny	0 – 0,5
Otevřena jen výklopná část okna	0,3 – 1,5
Otevřena polovina okna	5 – 15
Otevřeno celé okno	10 – 15
Okno i dveře otevřeny	40

Tabulka 6: Intenzita výměny vzduchu při různé poloze okna (Dufka, 2002, str. 33)

3.6.1.2 Mechanické větrání

U mechanického větrání je přívod a odvod vzduchu zajištěn pomocí ventilátoru. Za předpokladu dvou ventilátorů může přívod i odvod vzduchu probíhat současně. Oproti přirozenému větrání funguje mechanická ventilace i za nepříznivých venkovních podmínek. Mechanické větrání probíhá na podkladě přetlaku, podtlaku a vyrovnaného tlaku na obou stranách budovy.

Při přetlakovém větrání je přívod vzduchu větší než odvod (Dufka, 2002). Tlak uvnitř místnosti je vyšší než ve venkovním prostředí, což zapříčiní proudění vzduchu směrem ven (NYSERDA). Přetlakové větrání je využíváno v místnostech, kde je snaha o zamezení vnikání neupraveného venkovního vzduchu, jako je tomu například ve výpočetních střediscích nebo operačních sálech.

U podtlakového větrání je množství odváděného vzduchu vyšší než vzduchu přiváděného (Dufka, 2002). Jestliže je tlak uvnitř místnosti nižší než venku, dochází k přívodu vzduchu do vnitřního prostředí (NYSERDA). Podtlakové větrání je využíváno v prostorech s vysokou koncentrací škodlivých látek, kde má podtlak zabránit úniku škodlivin skrz otvory v plášti budovy. Podtlak je zajištěn pomocí odsávacího zařízení.

Rovnotlaké větrání je nejčastějším typem. Přívod i odvod vzduchu je stejný, stejně jako tlak uvnitř a vně stavby (Dufka, 2002).

3.6.1.3 Hybridní větrání

Hybridní větrání je kombinace přirozeného a mechanického větrání, které je využíváno v obytných prostorech. Mechanické větrání je zajištěno odtahovými

ventilátory zapnutými jen při produkci znečišťujících látek nacházejícími se na toaletě, v koupelně a kuchyni (NYSERDA).

3.6.1.4 Klimatizace

Klimatizace je jednou z dalších možností přívodu čerstvého vzduchu. Pomocí klimatizace lze přiváděný vzduch upravovat – ochlazovat, ohřívat, čistit, měnit vlhkost, odstraňovat pachy a řídit požadované množství vzduchu (Dufka, 2002).

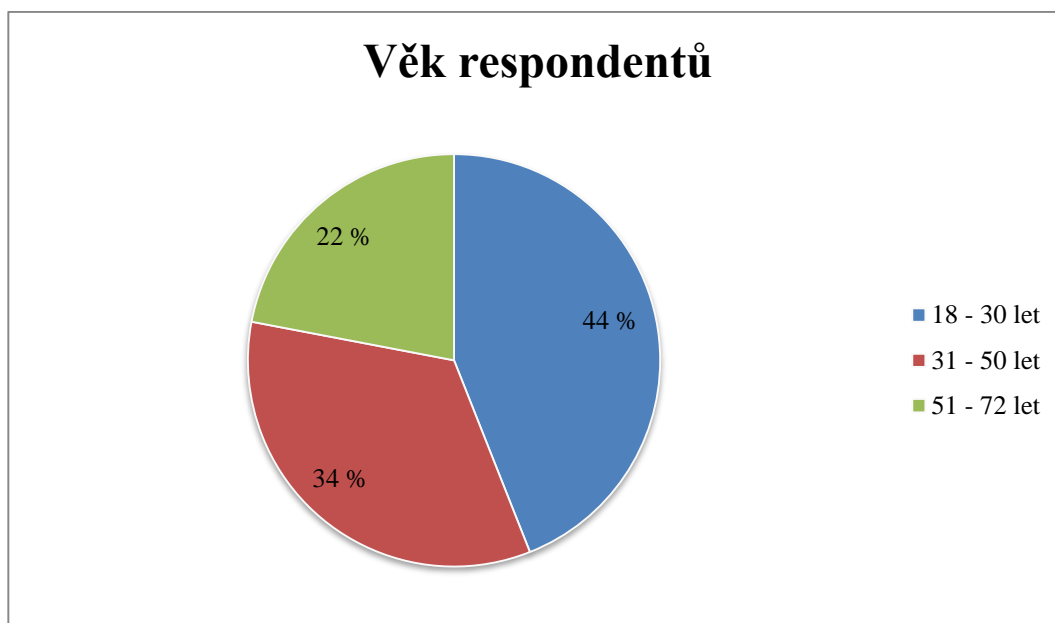
4 Praktická část

4.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zjistit, jak se mění koncentrace oxidu uhličitého v ložnicích dospělé populace v zimním období v závislosti na velikosti ložnice, počtu osob v místnosti, typu a pozici oken a dveří. Současně s tím sleduje práce větrací návyky a důvody větrání respondentů.

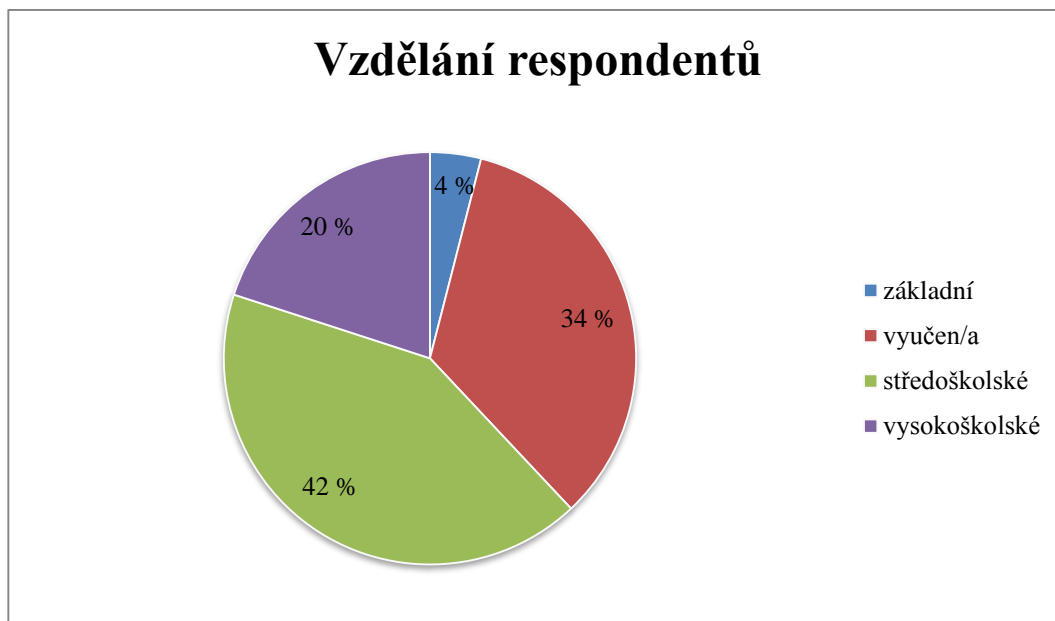
4.2 Charakteristika souboru

Výzkumu se celkem zúčastnilo 50 osob, z toho 26 žen a 24 mužů. Věk respondentů se pohybuje v rozmezí 18 – 72 let. Nejvíce účastníků bylo ze skupiny 18 – 30 let, která byla zastoupena 22 jedinci (44 %), poté skupina 31 – 50 let se 17 osobami (34 %) a nejmenší zastoupení měla skupina 51 – 72 let s 11 jedinci (22 %) – viz Graf 1.



Graf 1: Věkové zastoupení respondentů

Dotazovaní lidé byli různého vzdělání, nejčastěji uváděné bylo středoškolské vzdělání – 21 jednotlivců (42 %), poté vyučen/a – 17 osob (34 %), vysokoškolské – 10 jedinců (20 %) a 2 lidé (4 %) uvedli vzdělání základní, jak je vidět v Grafu 2.



Graf 2: Vzdělání respondentů

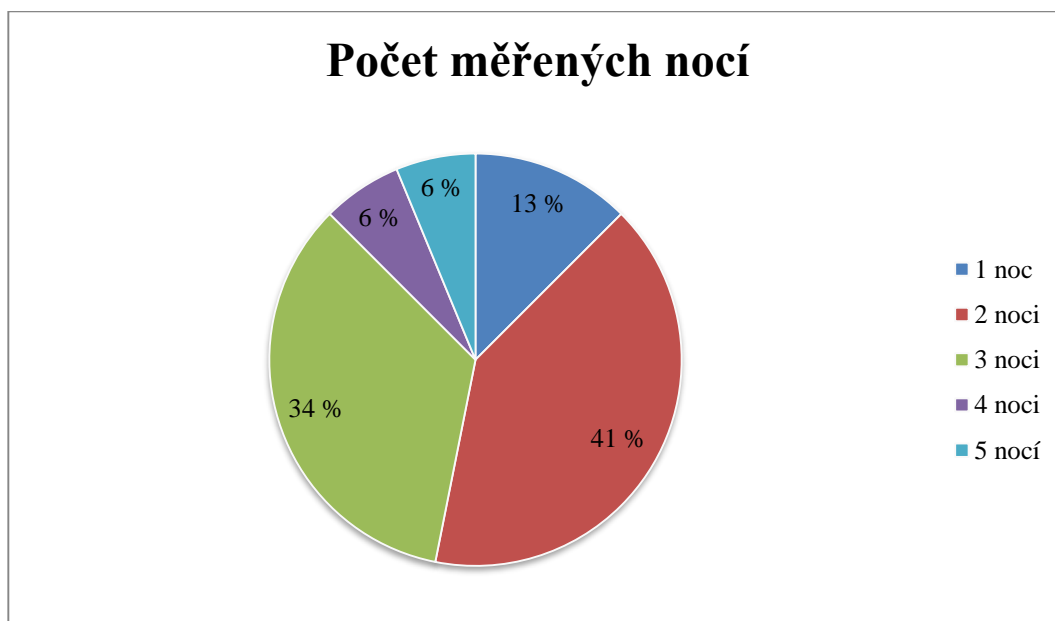
Dotazníkové šetření a měření bylo uskutečněno ve 33 ložnicích nacházejících se v Praze a přilehlých obcích (13 měření), Berouně a přilehlých obcích (9 měření), Dačicích a přilehlých obcích (8 měření), Bavorově (2 měření) a v Dunajské Středě (1 měření).

4.3 Metodika

Měření spolu s dotazníkovým šetřením probíhalo v období od prosince 2015 do února 2016 u příbuzných a známých autorky výzkumu a část byla provedena pověřenou a poučenou osobou taktéž u osob jí blízkých.

Na měření byly použity dva přístroje EXTECH CO210 od výrobce FLIR Commercial Systems, Inc. Extech Instruments Division, které během spánku zaznamenávaly koncentraci oxidu uhličitého, vnitřní teplotu a vlhkost v intervalu 3 minut. V 9 ložnicích proběhlo zaznamenávání vlivem selhání lidského faktoru každé 3 minuty a 59 sekund. Přístroj byl v ložnicích umístěn co nejbližší výšce dýchací zóny spícího jedince, pokud to okolnosti nedovolily, byl situován na úložné krabici 20 cm nad zemí. Dále byla snaha, aby byl přístroj vzdálen alespoň 0,5 metru od přímého zdroje CO₂, zdroje tepla, průvanu a stěny místnosti. Jestliže nebylo možné zajistit dostatečnou vzdálenost mezi přístrojem a stěnou, dával se měřicí přístroj přední stranou ke zdi, čímž zaznamenávací čidla směřovala do volného prostoru místnosti. Koncentrace oxidu uhličitého byla měřena po dobu

1 – 5 dnů v závislosti na časových možnostech respondentů. O četnosti zastoupení počtu měřených nocí v jednotlivých ložnicích informuje Graf 3, ze kterého lze vyčíst, že nejčastěji bylo měření uskutečněno po dobu 2 nocí – 13 ložnic (41 %), druhé nejčetnější byly 3 noci po 11 ložnicích (34 %), poté 1 noc ve 4 ložnicích (13 %) a stejné zastoupení 4 a 5 nocí po 2 ložnicích (6 %). V tomto přehledu není započítána ložnice autorky, kde probíhalo měření po dobu 12 nocí, během kterých se vystřídaly různé kombinace otevřeného/zavřeného okna a dveří. Celkově se podařilo změřit 93 nocí.



Graf 3: Délka měření v jednotlivých ložnicích

Místnosti určené ke spaní byly přeměřeny laserovým metrem a spolu s celkovou velikostí bytu a počtem rostlin a jejich velikostí (velké nad 120 centimetrů, střední nad 30 centimetrů a malé) byly tyto hodnoty zaznamenány do autorčina záznamového archu. V ložnicích byl změřen objem místnosti v m³, a dále pak celková velikost bytu v m².

Současně s měřením byl obyvatelům ložnice rozdán dotazník (viz Příloha 1) – jeden pro všechny obyvatele měřené ložnice, který sestával ze dvou částí. První část byla zaměřena na popis ložnice a větrací návyky respondentů a druhá část na časový záznam odchodu ke spánku a vstávání, venkovní teplotu, nastavení topení a okna, kvalitu spánku a odpočínutí za každou měřenou noc. V dotazníku byly použity uzavřené i otevřené odpovědi. 2 lidé byli měřeni 3 × pokaždé v jiné

ložnici, jejich odpověď na otevřené otázky byla proto zaznamenána pouze jednou, aby nedošlo ke zkreslení celkových výsledků (jedná se o otázky č. 8, 9, 10, 11).

4.3.1 Zpracování dotazníků a měření

Dotazníky a měření byly zpracovány za pomoci popisné statistiky, korelačního koeficientu, boxplotů a spojnicových grafů.

Data z dotazníků byla přepsána do elektronické podoby a za použití programu Microsoft Excel zpracována koláčovými grafy. Microsoft Excel byl dále využit pro výpočet korelace mezi oxidem uhličitým a teplotou a oxidem uhličitým a vlhkostí. Data z jednotlivých nocí byla v rámci ložnice řazena do skupin se stejnými výchozími faktory a následně byla použita pro výpočet korelačního koeficientu, který se vždy pohybuje od -1 do 1. Jednička značí 100% lineární závislost mezi oběma sledovanými veličinami – jedna veličina roste a v závislosti na ní roste i veličina druhá. Pokud se výsledek pohybuje okolo nuly, vyjadřuje, že mezi sledovanými veličinami není žádná souvislost a sledované faktory spolu nesouvisí. V případě, že korelační koeficient vyjde -1, existuje mezi veličinami nepřímá lineární závislost, tedy zatímco jedna veličina roste, druhá klesá. Dle korelačního koeficientu r lze rozlišit několik druhů závislostí: slabá $|r| < 0,3$, střední $0,3 \leq |r| \leq 0,8$ a silná $|r| > 0,8$.

Pro hodnocení naměřených hodnot bylo nezbytné vytvořit spojnicové grafy pro jednotlivé noci, které umožnily najít a vyřadit grafy s nevysvětlitelnými odchylkami. Dále bylo potřeba zkonstruovat boxploty pro určení horního a dolního kvartilu oxidu uhličitého a vlhkosti a mediánu teploty. Udáváním dolního a horního kvartilu došlo k označení hodnot, se kterými se dále pracovalo, nebylo zohledněno 25 % nejnižších a 25 % nejvyšších hodnot. Hodnoty v kvartilech byly použity pro srovnání naměřených dat s výsledky dotazníkového šetření. Spojnicové grafy i boxploty byly zpracovány v programu Origin 2016.

Pro srovnávání naměřených dat s výsledky dotazníkového šetření bylo nezbytné rozdělit ložnice podle velikosti. Jestliže ložnici obývaly dvě a více osob, byl objem místnosti dělen číslem 1,5 (tj. poměrem minimálního rozměru ložnice pro

jednu a dvě osoby, dle ČSN 734301). Podle mediánu došlo k zařazení měřených ložnic do dvou kategorií: malé a velké ložnice.

4.4 Výsledky

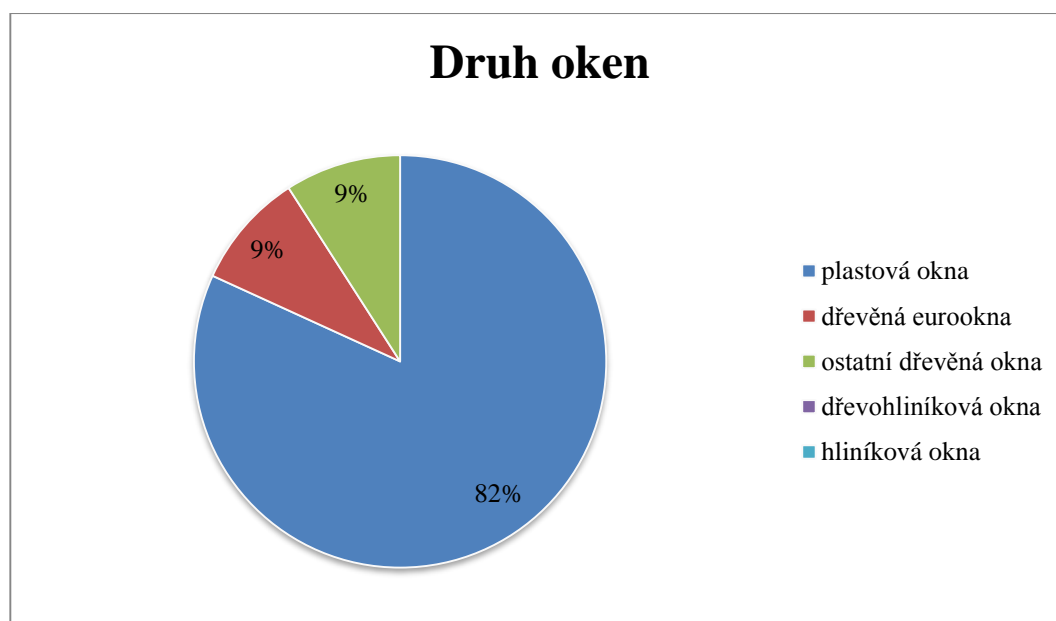
4.4.1 Výsledky dotazníkového šetření

Úvodní tabulka: demografické údaje o respondentech

V úvodní tabulce vyplnili obyvatelé měřených ložnic své pohlaví, věk a vzdělání. O jednotlivém zastoupení v těchto skupinách je pojednáno v kapitole 4.2 Charakteristika souboru.

Otázka č. 1: Jaká máte v místnosti okna?

Jako nejčastější typ oken označovali respondenti okna plastová vyskytující se ve 27 ložnicích (82 %), dřevěná eurookna a ostatní dřevěná okna byla zastoupena po 3 ložnicích (9 %). Z Grafu 4 lze vyčíst, že dřevohliníková a hliníková okna se nenacházela v žádné měřené ložnici.



Graf 4: Druhy oken v měřených ložnicích

Otázky č. 2: Máte v ložnici závěsy, které na spaní zatahujete?

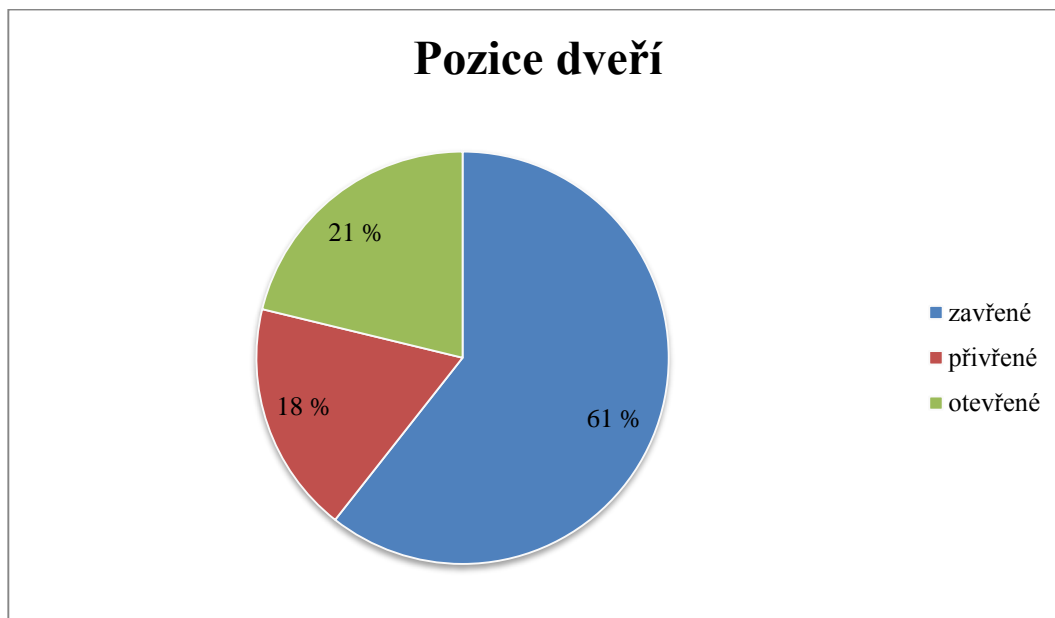
Jak vyplývá z Grafu 5, ve 12 ložnicích (36 %) měli dotazovaní během spaní závěsy zatažené a ve zbylých 21 ložnicích (64 %) závěsy na noc nezatahují, nebo je nemají.



Graf 5: Zatažené závěsy v ložnicích během spánku

Otázka č. 3: V jaké pozici máte dveře při spaní?

Ve většině měřených ložnic spali respondenti se zavřenými dveřmi, dělo se tak ve 20 případech (61 %), v 6 ložnicích (18 %) byly dveře přivřené a v 7 ložnicích (21 %) preferují obyvatelé dveře otevřené – viz Graf 6.



Graf 6: Pozice dveří v ložnicích během spánku

Otázka č. 4: Spí s Vámi v místnosti pes o hmotnosti vyšší než 15 kg?

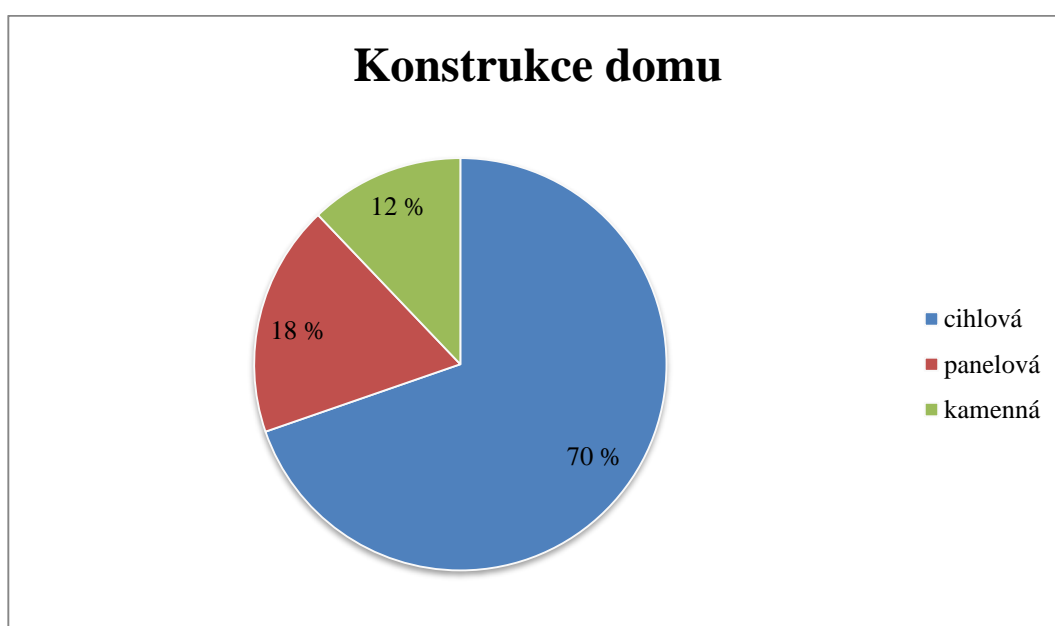
Všichni z dotazovaných uvedli, že během spánku nesdílí ložnici se psy o hmotnosti vyšší 15 kilogramů.

Otázka č. 5: Máte v ložnici elektrické přístroje (zvlhčovače, čističe vzduch, aj.), které zlepšují kvalitu vzduchu?

Celý soubor respondentů odpověděl na tuto otázku záporně, nikdo výše uvedené přístroje v ložnici nepoužívá.

Otázka č. 6: Jaká je konstrukce Vašeho domu?

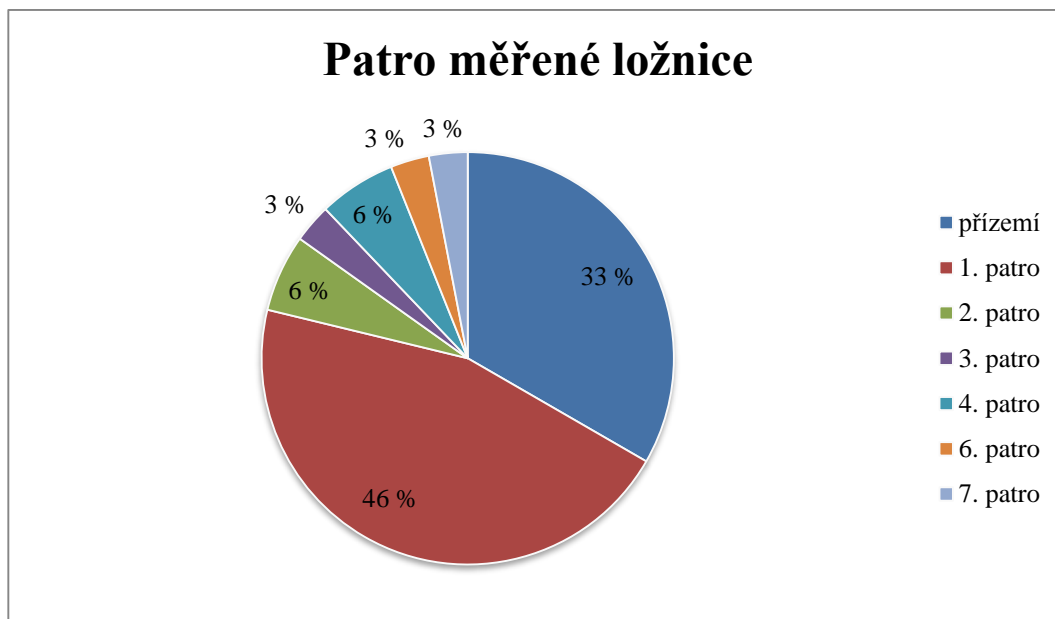
Dotazovaní respondenti nejčastěji bydlí v cihlové stavbě – 23 případů (70 %), v panelových stavbách se nachází 6 ložnic (18 %) a 4 ložnice (12 %) jsou lokalizované ve stavbách kamenných – viz Graf 7.



Graf 7: Konstrukce domu

Otázka č. 7: V jakém patře se nachází Vaše ložnice?

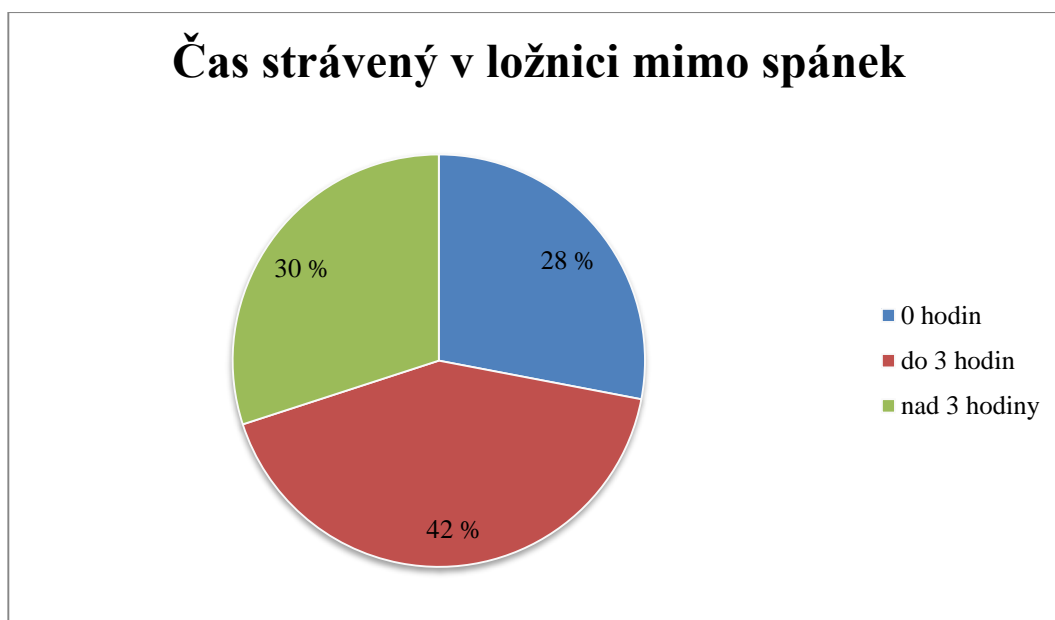
Z Grafu 8 lze vyčíst, že 15 měřených ložnic (46 %) bylo lokalizováno v 1. patře budovy, 11 ložnic (33 %) se nacházelo v přízemí, 2. a 4. patro bylo zastoupeno 2 ložnicemi (6 %) a po 1 ložnici (3 %) ve 3., 6. a 7. patře.



Graf 8: Patro měřené ložnice

Otázka č. 8: Kolik hodin mimo spánku trávíte průměrně v ložnici?

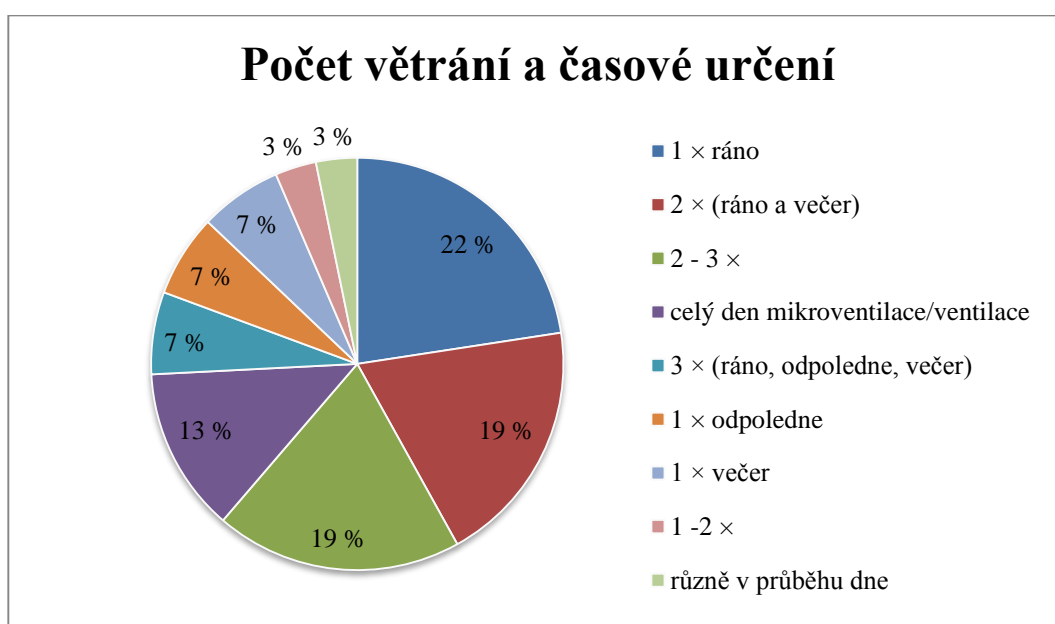
Jak lze vidět v Grafu 9, 14 jedinců (28 %) užívá ložnici pouze ke spánku – netráví zde žádný čas navíc. Do 3 hodin nad rámec spánku tráví čas v ložnici 21 osob (42 %) a nad 3 hodiny pobývá v ložnici 15 respondentů (30 %), z čehož se lze domnívat, že funkci ložnice plní víceúčelový pokoj.



Graf 9: Čas strávený v ložnici mimo dobu spánku

Otázka č. 9: Kolikrát za den v zimním období v ložnici větráte a kdy?

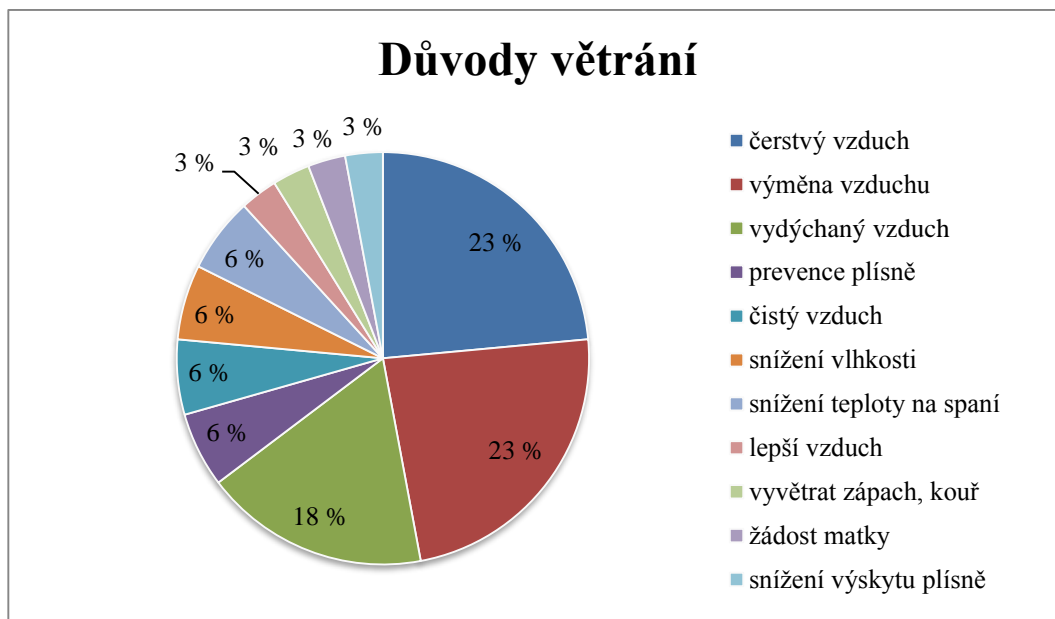
Nejčastěji jsou ložnice větrány 1 × ráno, tento způsob preferují v 7 ložnicích (22 %), druhé nejčastější větrání je 2 × denně – ráno a večer a 2–3 × po 6 ložnicích (19 %), celý den mají dotazovaní otevřenou mikroventilaci nebo ventilaci ve 4 ložnicích (13 %), o pravidelné větrání 3 × denně – ráno, odpoledne, večer se snaží ve 2 ložnicích (7 %) a stejně je tomu u větrání 1 × odpoledne a 1 × večer. Větrání 1–2 × denně praktikují v 1 ložnici (3 %). Poslední odpovědí bylo větrání různě v průběhu dne, dle potřeby, taktéž u 1 ložnice (3 %) – viz Graf 10.



Graf 10: Počet větrání během zimního období a bližší časové určení

Otázka č. 10: Jaký je Váš důvod větrání?

Tato otázka byla volena formou volné odpovědi, respondenti mohli uvést více důvodů větrání. Nejčastěji uváděnými důvody byly přívod čerstvého vzduchu a výměna vzduchu, za těmito účely se větrá v 8 ložnicích (23 %), v 6 dotaznicích (18 %) se respondenti shodli, že větrají kvůli vydýchanému vzduchu, 2 ložnice (6 %) využívají větrání jako prevenci plísně a stejný počet odpovědí byl shodný i pro čistý vzduch, snížení vlhkosti v místnosti a snížení teploty na spaní. Po jedné odpovědi (3 %) bylo uvedeno – lepší vzduch, vyvětrat zápach, kouř, nucené větrání pod vlivem matky a snížení výskytu plísně. Bližší přiblížení je znázorněno v Grafu 11.



Graf 11: Důvody větrání

Otázka č. 11: Pokud nejste zastáncem větrání, jaký je Váš důvod k nevětrání?

Na tuto otázku nikdo z dotazovaných neodpověděl, všichni účastníci výzkumu se snaží v různé míře o pravidelné větrání.

Otázka č. 12: Vyskytuje se u Vás v ložnici plíseň?

Ze změřených místností se plíseň vyskytovala v 7 ložnicích (18 %), zbylých 26 ložnic (82 %) zmíněným problémem netrpí, jak lze vidět v Grafu 12.



Graf 12: Výskyt plísní v ložnicích

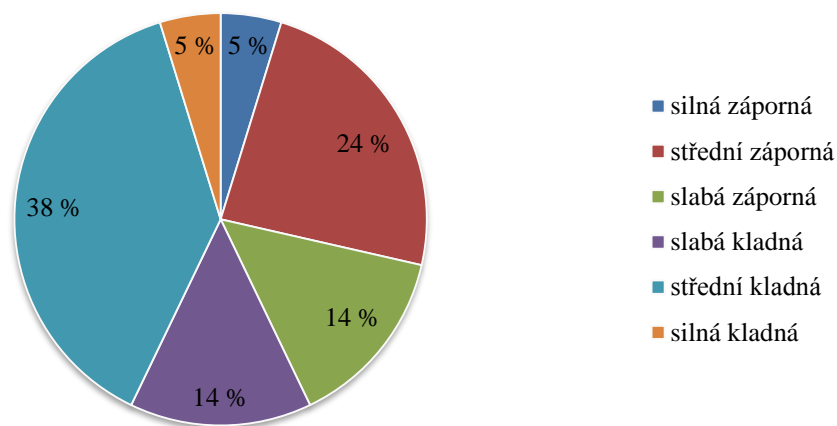
4.4.2 Výsledky korelací

Cílem vytvoření korelací bylo zjistit vzájemnou závislost mezi koncentrací oxidu uhličitého a teplotou a množstvím oxidu uhličitého a vlhkostí. Do souhrnných výsledků byly některé ložnice započítané vícekrát vlivem rozdílných výchozích faktorů.

4.4.2.1 Oxid uhličitý a teplota

Silně záporná závislost mezi CO_2 a teplotou byla shledána ve 2 případech (5 %), středně záporná v 10 případech (24 %), slabě záporná v 6 případech (14 %), slabě kladná taktéž v 6 případech (14 %), středně kladná v 16 případech (38 %) a silně kladná ve 2 případech (5 %) – viz Graf 13. Ve výsledcích korelace nebyla nalezena žádná okolnost, která by měla vliv na vzájemnou závislost koncentrace oxidu uhličitého a teploty.

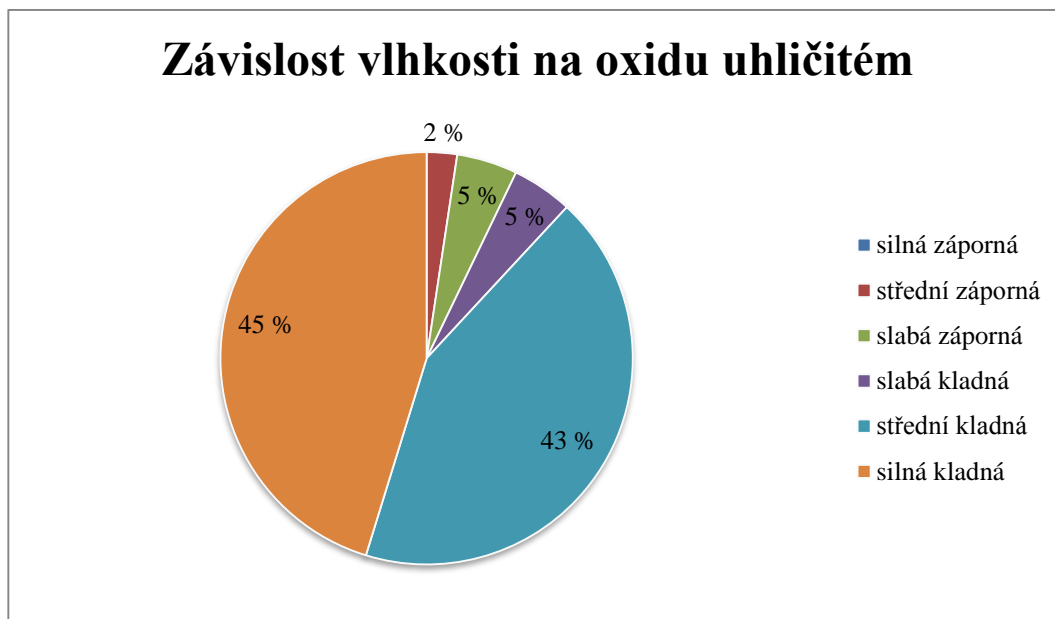
Závislost oxidu uhličitého na teplotě



Graf 13: Závislost teploty na oxidu uhličitým

4.4.2.2 Oxid uhličitý a vlhkost

Jak lze vidět z Grafu 14, silně záporná korelace mezi vlhkostí a oxidem uhličitým nebyla zjištěna v žádném případě, středně záporná závislost byla shledána v 1 případě (2 %), slabě záporná ve 2 případech (5 %), slabě kladná taktéž ve 2 případech (5 %), středně kladná v 18 případech (43 %) a silně kladná v 19 případech (45 %). Střední a silná korelace vyplývá z předpokladu, že vlhkost roste spolu se vzrůstajícím množstvím oxidu uhličitého. Vzájemnou závislost CO₂ a vlhkosti ovlivňuje otevřené okno nebo zapnuté topení. Vliv zapnutého topení na vlhkost je názorně vidět v Příloze 6.



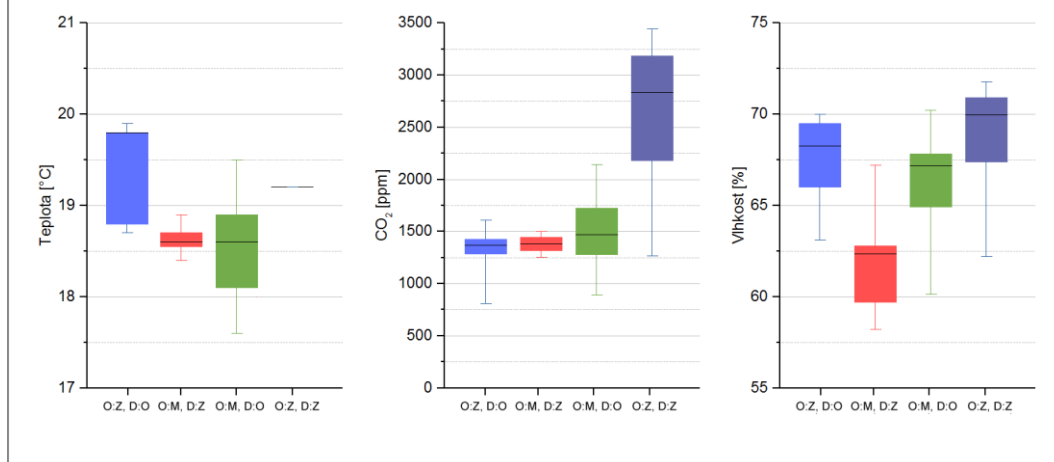
Graf 14: Závislost vlhkosti na oxidu uhličitém

4.4.3 Porovnání rozdílných faktorů v konkrétních ložnicích během měřených nocí

Během měření se vyskytlo 7 ložnic, u kterých došlo v rámci jednotlivých nocí ke změně sledovaných faktorů, např. počet spících osob v ložnici, pozice okna, dveří a topení.

V autorčině ložnici byly vystřídané různé kombinace pozice oken a dveří. Topení bylo ve všech případech vypnuté a teplota se pohybovala v rozmezí 19 – 20 °C. Při zavřeném okně a otevřených dveřích se pohybovala koncentrace oxidu uhličitého v rozmezí 1 300 – 1 400 ppm a vlhkost mezi 66 – 70 %. Při mikroventilaci a zavřených dveřích byla koncentrace CO₂ 1 300 – 1 450 ppm a vlhkost 60 – 63 %. V případě okna otevřeného na mikroventilaci a otevřených dveřích dosáhl oxid uhličitý hladin 1 300 – 1700 ppm a vlhkost 65 – 68 %. Nejvyšší koncentrace (2 200 – 3 200 ppm) byla dosažena při zavřeném okně i dveřích a vlhkosti 67 – 71 % – viz Graf 15.

Porovnání ložnice s rozdílnou pozicí oken a dveří

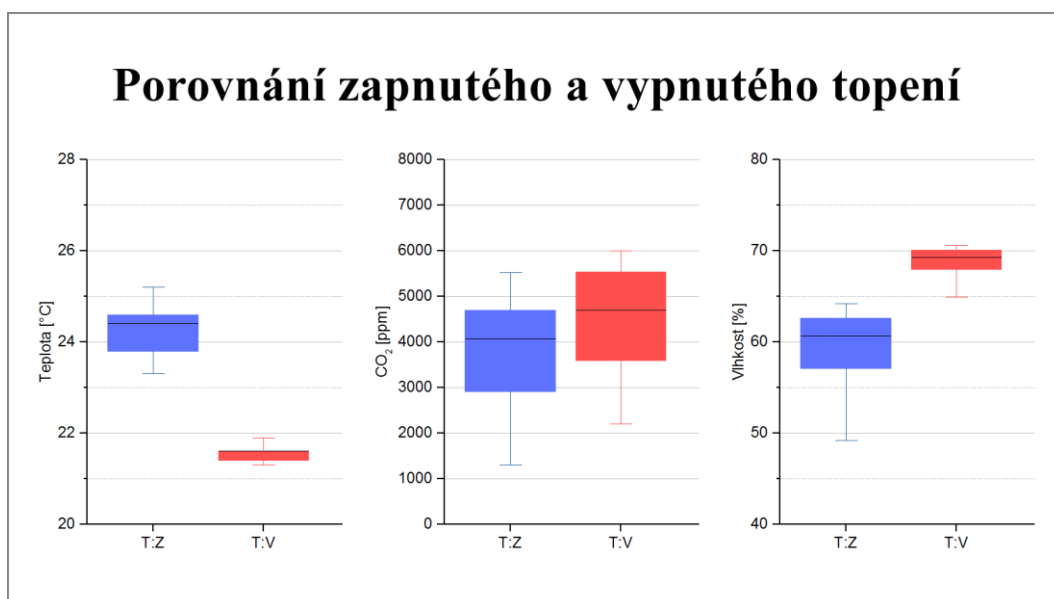


Graf 15: Porovnání ložnice s rozdílnou pozicí oken a dveří

Legenda: O:Z – okno zavřené
 D:O – dveře otevřené
 O:M – okno mikroventilace
 D:Z – dveře zavřené

Ve 4 případech se jednotlivé noci lišily zapnutým a vypnutým topením. V 1. ložnici byla při zapnutém topení naměřena koncentrace oxidu uhličitého 2 900 – 4 800 ppm, teplota 24 °C a vlhkost 57 – 63 %. Při vypnutém topení se pohyboval CO₂ v rozmezí 3 600 – 5 500 ppm, teplota 22 °C a vlhkost 68 – 70 %. Porovnání těchto nocí je znázorněno v Grafu 16.

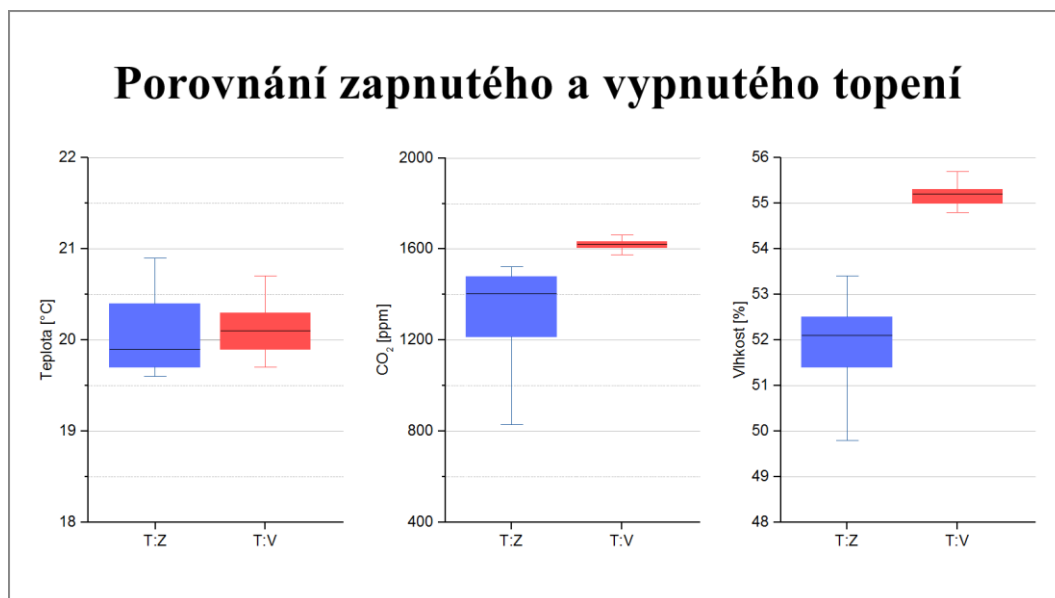
Porovnání zapnutého a vypnutého topení



Graf 16: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 1. případ

Legenda: T:Z – topení zapnuté
 T:V – topení vypnuté

Z Grafu 17 lze vidět, že ve 2. ložnici dosáhla koncentrace oxidu uhličitého při zapnutém topení 1 200 – 1 500 ppm, teplota byla v obou případech shodná, a to 20 °C a vlhkost 52 %. Během vypnutého topení byl CO₂ celou noc kolem 1 600 ppm a vlhkost 55 %.

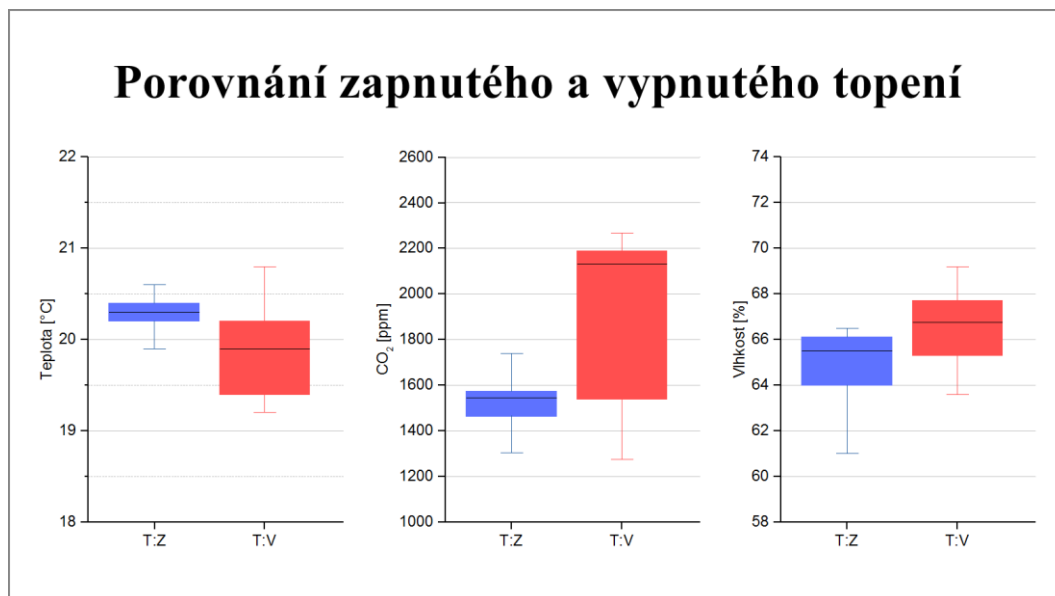


Graf 17: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 2. případ

Legenda: T:Z – topení zapnuté

T:V – topení vypnuté

Při měření ve 3. ložnici bylo při zapnutém topení dosaženo těchto hodnot: koncentrace CO₂ 1 500 – 1 600 ppm, teplota 20 °C (shodná i při vypnutém topení) a vlhkost 64 – 66 %. Za dobu vypnutého topení dosáhl oxid uhličitý 1 550 – 2 200 ppm a vlhkost 65 – 68 %. Grafy sledovaných nocí ve 3. ložnici jsou zobrazeny v Grafu 18.

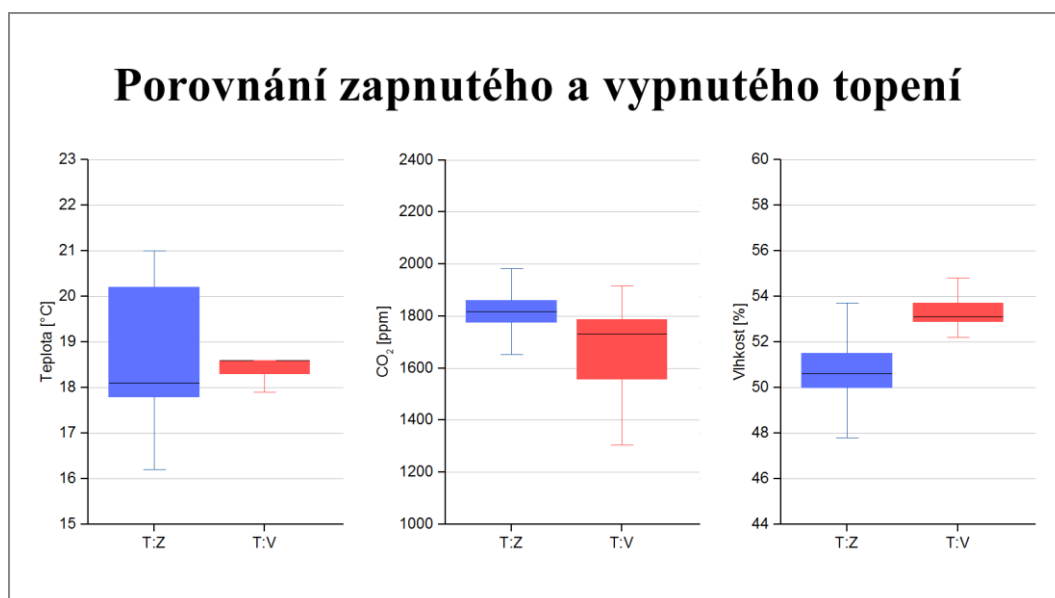


Graf 18: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 3. případ

Legenda: T:Z – topení zapnuté

T:V – topení vypnuté

Při zapnutém topení dosahovala koncentrace CO₂ ve 4. ložnici hodnoty přibližně 1 800 ppm, teplota 18 – 20 °C a vlhkost 50 – 52 %. Během vypnutého topení byly naměřeny tyto hodnoty: CO₂ 1 600 – 1 800 ppm, teplota 19 °C, vlhkost 53 – 54 % – viz Graf 19.



Graf 19: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 4. případ

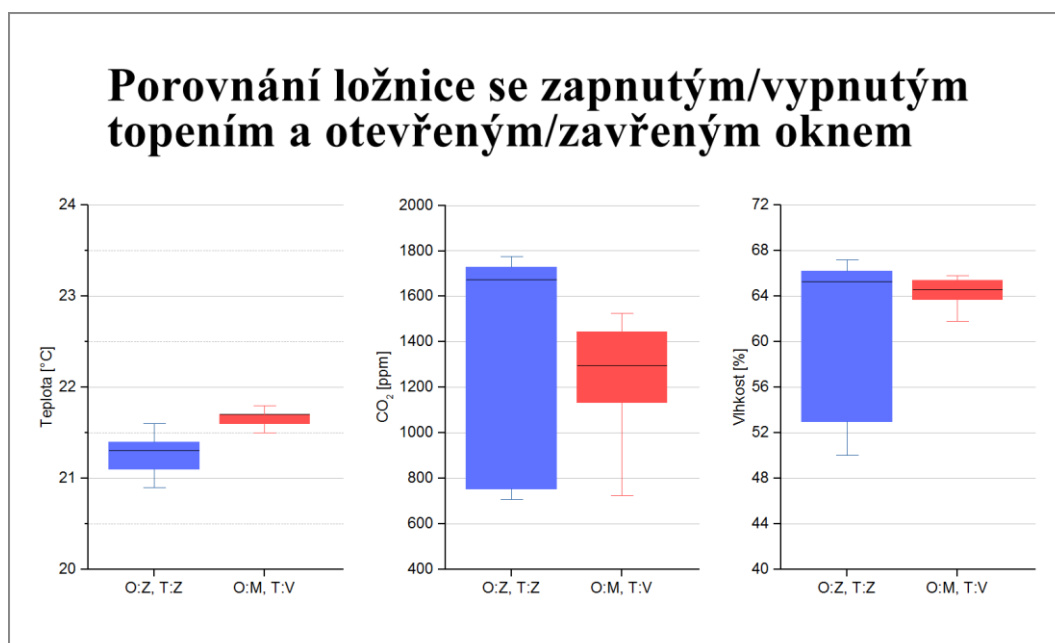
Legenda: T:Z – topení zapnuté

T:V – topení vypnuté

Jak si lze výše povšimnout, ve všech 4 případech došlo při vypnutém topení k mírnému nárůstu vlhkosti. Ve 3 případech dosáhla koncentrace oxidu uhličitého

při zapnutém topení nižších hodnot. Z tohoto závěru by mohlo vyplývat, že zapnuté topení má příznivý vliv na koncentraci oxidu uhličitého, ale v kapitole 4.4.2.1 nebyla tato souvislost jednoznačně potvrzena.

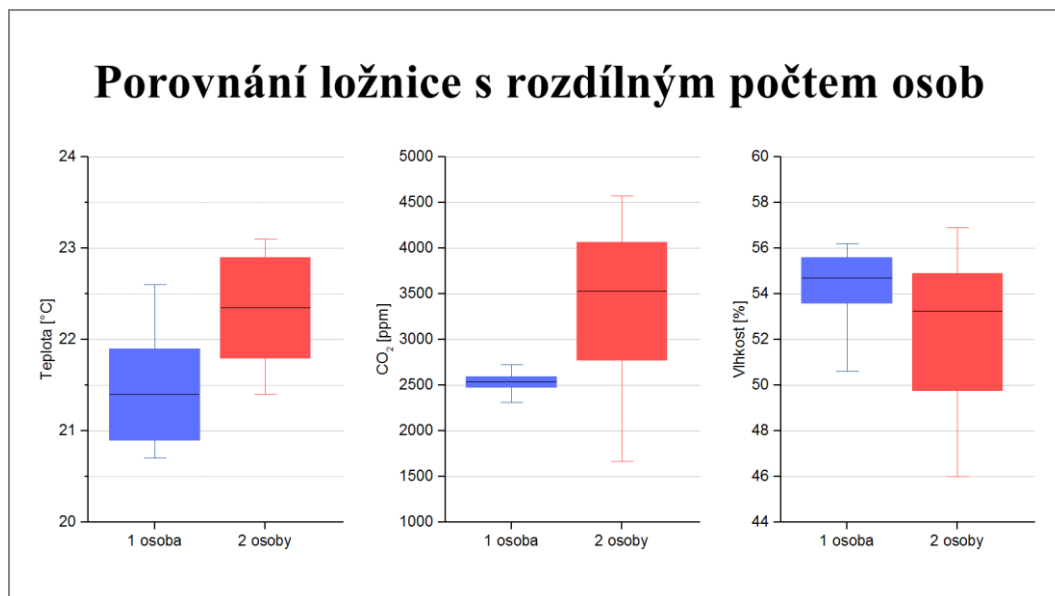
V jednom případě se naskytla ložnice, ve které probíhalo jedno měření při otevřeném okně na mikroventilaci a vypnutém topení a druhé při zavřeném okně a zapnutém topení. V případě otevřeného okna na mikroventilaci byla naměřena koncentrace oxidu uhličitého v rozmezí 1 200 – 1 400 ppm, teplota 22 °C a vlhkost 64 – 65 %. U zavřeného okna dosáhla koncentrace CO₂ 800 – 1 700 ppm. Teplota byla 21 °C a vlhkost 53 – 66 % – viz Graf 20.



Graf 20: Porovnání ložnice se zapnutým/vypnutým topením a otevřeným/zavřeným oknem

Legenda: O:Z – okno zavřené
 T:Z – topení zapnuté
 O:M – okno na mikroventilaci
 T:V – topení vypnuté

Poslední ložnicí, kde došlo ke změně sledovaného faktoru během měření, byla místnost, ve které se během jednotlivých nocí vystřídal 1 a 2 osoby. Při spaní jedné osoby byla naměřena koncentrace oxidu uhličitého kolem 2 500 ppm, teplota byla 21 – 22 °C a vlhkost 54 – 56 %. Během nocování dvou osob došlo k nárůstu CO₂, naměřeno bylo mezi 2 750 – 4 100 ppm, teplota 22 – 23 °C a vlhkost 50 – 55 %, jak je vidět v Grafu 21.



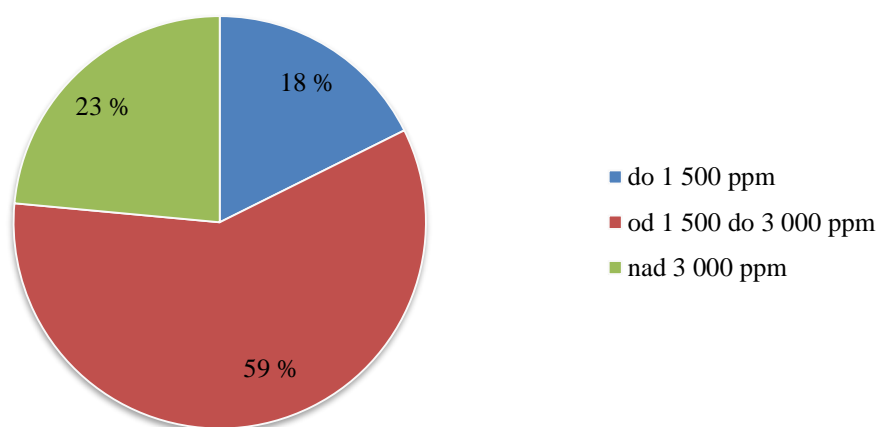
Graf 21: Porovnání ložnice s rozdílným počtem osob

4.4.4 Srovnání naměřených dat s výsledky dotazníkového šetření

Nedílnou součástí této práce bylo zjistit, jaký vztah mezi sebou mají naměřená data a sledované faktory z dotazníkového šetření.

Rozdělením 33 ložnic podle velikosti vznikly dva samostatné celky: 16 malých ložnic (48 %) a 17 velkých ložnic (52 %), přičemž malé pokoje dosahovaly vyšších koncentrací CO₂ než velké pokoje. V malých místnostech měly koncentrace oxidu uhličitého takového zastoupení: do 1 500 ppm – 3 ložnice (18 %), od 1 500 do 3 000 ppm – 10 ložnic (59 %), nad 3 000 ppm – 4 ložnice (23 %), znázornění v Grafu 22.

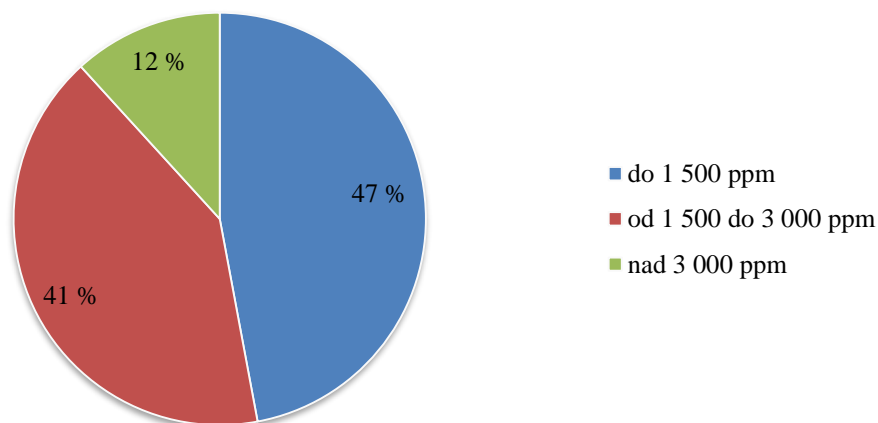
Koncentrace CO₂ v malých ložnicích



Graf 22: Koncentrace CO₂ v malých ložnicích

Jak lze vidět v Grafu 23, koncentrace oxidu uhličitého ve velkých místnostech byla do 1 500 ppm naměřena v 8 ložnicích (47 %), 1 500 až 3 000 ppm v 7 ložnicích (41 %) a nad 3 000 ppm ve 2 místnostech (12 %).

Koncentrace CO₂ ve velkých ložnicích



Graf 23: Koncentrace CO₂ ve velkých ložnicích

Nejvyšších hodnot (nad 3 000 ppm) bylo celkově dosaženo v 6 ložnicích (18 %), kde měli respondenti po dobu spánku okno i dveře zavřené, pouze v jednom případě byly dveře přivřené a žádná z těchto ložnic nebyla před spánkem vyvětraná. Naproti tomu otevřené dveře a vyvětraná místnost nemusí být zárukou

nízké koncentrace oxidu uhličitého. Nejnižší hodnoty (pod 1 500 ppm) byly naměřené v ložnicích se všemi možnými kombinacemi oken a dveří.

Koncentrace přes 3 000 ppm tvořila v 1 případě (3 %) 80 % noci, ve 2 případech (6 %) 90 % noci a ve 3 ložnicích (9 %) byla naměřena v průběhu celé noci.

V 11 ložnicích (33 %) tráví respondenti více jak 3 hodiny denně nad rámec spánku, přesto před spaním bylo intenzivně vyvětráno pouze ve 2 ložnicích (6 %), které v průběhu noci dosáhly koncentrací do 1 500 ppm. Ve zbylých nevyvětraných ložnicích bylo naměřeno 6 místností (18 %) s koncentrací CO₂ 1 500 ppm – 3 000 ppm a 3 pokoje (9 %) s koncentrací oxidu uhličitého nad 3 000 ppm. Z tohoto vyplývá, že jednou z cest ke snížení CO₂ v ložnicích by mohlo být intenzivní vyvětrání před spánkem.

Ze všech měřených ložnic byla v 6 pokojích (18 %) přítomna plíseň a u 3 z nich byla vlhkost vyšší než 60 %, což znamená vhodné prostředí pro růst plísní. Vlhkost nad 60 % byla naměřena i u dalších 13 ložnic (39 %), jejich obyvatelé však problém s plísní nevedli.

5 Diskuze

Obavy z výsledků měření vyslovila třetina měřených a o výsledky měření projevila zájem většina respondentů. V jednom případě byla v dotazníku uvedena skutečnost, že během spaní bylo okno otevřené na ventilaci, ač tomuto tvrzení neodpovídala data z měření, horní kvartil dosáhl hodnoty 3 700 ppm. Po tomto zjištění došlo ke kontaktování uvedeného respondenta a celá věc byla uvedena na pravou míru – okno bylo po dobu měření zavřené. Nepravdivé informace byly respondenty udány z důvodu, že jsou si vědomi svého nešvaru, za který se stydí. Celkové výsledky by tak mohly být zkresleny i jinými nepravdivými odpověďmi, které nejsou z hodnot měření proveditelné, např. pozice dveří během spánku nebo uvedený počet větrání za den.

Jak již bylo v kapitole 4.4.3 zmíněno, v autorčině ložnici probíhalo měření za různých kombinací okna a dveří. Překvapivě vyšlo, že během otevřeného okna na mikroventilaci a otevřených dveřích byly naměřeny hodnoty vyšší (1 300 – 1 700 ppm) než při okně na mikroventilaci a zavřených dveřích (1 300 – 1 450 ppm). Tento stav by mohl být pravděpodobně způsobený rozdílnými venkovními povětrnostními podmínkami, což ve své studii uvedli polští autoři Batog a Badura (Batog, Badura, 2013).

Naměřené hodnoty nejsou v průběhu roku shodné, ve studii z Aljašky bylo zjištěno, že se průměrná koncentrace CO₂ v letních měsících pohybuje v rozmezí 467 – 877 ppm a v zimním období 438 – 2 368 ppm (Johnson, Schmid, Seifert, 2002). Na základě této studie lze usuzovat, že vzhledem k měření v zimním období budou hodnoty oxidu uhličitého v průběhu roku nižší. Nízké koncentrace CO₂ v létě jsou způsobené zvýšeným větráním, a to i v průběhu noci, kdežto v zimě většina lidí za účelem šetření energií přes noc nevětrá.

Překvapující je rychlost růstu koncentrace oxidu uhličitého v malé ložnici v přítomnosti dvou osob. Praktickým příkladem je místnost o objemu 25,4 m³, kde bývá přes den otevřené okno na mikroventilaci a před spaním dochází k uzavření okna i dveří a během noci CO₂ narůstá z 975 na 6 530 ppm (v kvartilech 2 700 – 5 500 ppm), názorná ukázka ve formě spojnicového grafu v Příloze 4.

O nepříliš důkladně prozkoumaném tématu svědčí i fakt, že výrobce přístroje EXTECH CO210, FLIR Commercial Systems, Inc. Extech Instruments Division, dodává k zařízení manuál, ve kterém je uvedeno, že při překročení koncentrace oxidu uhličitého nad 5 000 ppm dochází k nedostatečnému zásobování mozku kyslíkem, což může způsobit jeho trvalé poškození nebo kóma a dokonce i smrt (EXTECH, 2014). V tomto případě by byli vážně ohroženi na životě respondenti ze 3 ložnic, u kterých horní kvartil přesáhl hranici 5 000 ppm. Přesto však výše uvedenými známkami poškození netrpí. Toto tvrzení potvrzují i autoři Zhang, Wargocki a Lian ve své studii, v které uvádí, že při koncentraci 5 000 ppm nebyly zpozorovány žádné změny v krevním tlaku, rychlosti dýchání a stresových markerech oproti měření při 500 ppm (Zhang, Wargocki, Lian, 2016). Jako vážně zdraví nebezpečné se jeví koncentrace o mnoho vyšší uvedené již dříve v kapitole 3.4.1.

Důsledky vysoké koncentrace CO₂ jsou těžko dohledatelné, se stejnými problémy se potýkali již zmínění autoři Batog s Badurou, kteří naměřili maximální hodnoty CO₂ okolo 3 800 ppm a ve své práci uvedli, že se jim nepodařilo najít žádnou literaturu popisující účinky oxidu uhličitého v takto vysokých koncentracích (Batog, Badura, 2013).

6 Závěr

Reálné hodnoty koncentrací oxidu uhličitého v domácím prostředí se jeví jako málo prozkoumaná oblast. Proběhla a probíhá řada studií zkoumajících vnitřní prostředí ve školách, školkách a kancelářích, z nichž je zřejmé, že vysoké koncentrace CO₂ způsobují bolesti hlavy, únavu nebo sníženou pozornost a uvažuje se, zda nestojí i za jednou z příčin syndromu nemocných budov. Pokud vysoké koncentrace oxidu uhličitého působí nepříznivě na člověka během dne, lze usuzovat, že budou negativně působit i během noci, což se může projevit poruchami spánku a zhoršením efektivitu práce vlivem zvýšené únavy a s tím souvisejícího nedostatečného odpočinku.

Přestože výsledky měření nedopadly úplně jednoznačně, ve většině případů povede otevřené okno a dveře a intenzivní vyvětrání před spánkem ke snížení koncentrace oxidu uhličitého, neboť, jak se ukázalo, vysokých koncentrací CO₂ dosahovaly právě ty ložnice, kde byly dveře a okna po celou dobu měření zavřené a ani nedošlo před spánkem k důkladnému vyvětrání. Další vliv na koncentraci oxidu uhličitého bude pravděpodobně mít rychlost větru a jeho směr, který ovlivní proudění vzduchu ve vnitřních prostorech.

Koncentrace CO₂ bývají často vyšší, než stanovují platné předpisy České republiky. Z důvodu nízké četnosti prováděných měření a kontrol se u mnoha objektů ani neví, zda, a jak moc, jsou limitní koncentrace oxidu uhličitého překračovány. O tom svědčí i skutečnost, že v této práci byly naměřeny koncentrace CO₂ několikanásobně převyšující stanovené limity i koncentrace naměřené polskými autory, kteří se podivovali nad hodnotami 3 800 ppm.

7 Souhrn

Bakalářská práce se zaměřuje na možná znečištění vnitřního prostředí, obzvláště velká část je věnována samotnému oxidu uhličitému a jeho reálným hodnotám během spánku v ložnicích dospělé populace. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část se věnuje chemickému, fyzikálnímu a biologickému zdroji znečištění. Samostatná kapitola je ponechána oxidu uhličitému, jeho vlastnostem, vzniku, použití, škodlivosti a platným předpisům. Závěrečná část informuje o možnostech větrání. Praktická část přibližuje reálné koncentrace oxidu uhličitého a faktory, které ho ovlivňují. Dále mapuje větrací zvyklosti respondentů a jejich důvody větrání.

Toto téma by nemělo být bráno na lehkou váhu, neboť člověk tráví ve vnitřních prostorech čím dál delší čas a je tedy delší dobu vystaven nevhodné kvalitě vnitřního ovzduší. Zmapování problematiky vysokého množství CO₂ ve vzduchu ve vnitřním ovzduší čeká ještě dlouhý vývoj a zkoumání. Lze jen doufat, že při zjištění všech skutečností dojde k nápravě, která výrazně přispěje ke zlepšení lidského zdraví.

8 Summary

This bachelor thesis is focused on possible indoor environment contamination, especially a large part is focused to the carbon dioxide and its real value during adult population sleeping in their bedrooms. The bachelor thesis is divided into theoretical and practical part.

The theoretical part is devoted to chemical, physical and biological pollutant sources. The separate chapter is about carbon dioxide and its properties, formation, usage, noxiousness and legislation. The final section informs about ventilation possibilities. The practical part approaches real carbon dioxide concentrations and affecting factors. As well the bachelor thesis maps respondents ventilation habits and their ventilation reasons.

This topic should not be underestimated because people spend more and more time indoor and they are longer exposed to inappropriate indoor air quality. CO₂ high levels in private indoor space is not wide known subject and it should be studied because of its impact on public health. Understanding the factors, that increase the levels of CO₂ in such a space can contribute to public health improving, because CO₂ could be taken as a proxy for wide range of indoor air pollutants.

9 Seznam použité literatury

ARESTA, M. a G. FORTI. *Carbon Dioxide as a Source of Carbon: Biochemical and Chemical Uses*. Pugnochiuso: D. Reidel Publishing Company, 198, 440 s. ISBN 978-94-010-8240-2.

BALÍK, Michael. *Odvhlčování staveb*. 2. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 312 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.

BATOG, Piotr a Marek BADURA. Dynamic of Changes in Carbon Dioxide Concentration in Bedrooms. *Procedia Engineering*. 57. Místo neznámé: Elsevier, 25. 4. 2013, 1332 s., 175 - 182 s. ISSN 1877-7058.

BENCKO, Vladimír. *Hygiena: učební texty k seminářům a praktickým cvičením*. 2. přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 185 s. ISBN 80-7184-551-5.

BURROUGHS, H.E. a Shirley J. HANSEN. *Managing indoor air quality*. 5. vydání. Lilburn: The Fairmont Press, 2011, 371 s. ISBN 0-88173-661-9.

ČSN EN 15665. *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 32 s. Třídící znak 12 7021.

DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. Praha: Grada, 2002, 97 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-0222-3.

FLEMR, Vratislav a Bohuslav DUŠEK. *Chemie pro gymnázia*. 2. vydání. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 2007, 120 s. ISBN 978-80-7235-369-9.

FRANKLIN, Peter J. Indoor air quality and respiratory health of children. *Paediatric Respiratory Review*. 8. Místo neznámé: Elsevier, 7. 8. 2007, 362 s., 281 - 286 s. ISSN 1526-0542.

FROUS, Jan a Bedřich MOLDAN. *Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu*. Praha: Karolinum, 2015, 330 s. ISBN 978-80-246-2667-3.

HABERMANN, Vlastimil. *Lékařská chemie: vybrané úvodní kapitoly*. Praha: Karolinum, 2004, 224 s. ISBN 978-80-246-0789-4.

INSTITUTE OF MEDICINE COMMITTEE ON THE ASSESSMENT OF ASTHMA AND INDOOR. *Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposures*. Washington, DC: National Academies Press, 2000, 456 s. ISBN 0-309-06496-1.

JOHNSON, R., SCHMID J. a R. SEIFERT. Assessment of indoor air quality in interior Alaskan homes. *Journal of Cold Regions Engineering*. 16. Reston: American Society of Civil Engineers, 15. 11. 2002, 231 s., 218 - 229 s. ISSN 1943-5495.

JONES, A.P. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*. 33. Místo neznámé: Elsevier, 18. 5. 1999, 5152 s., 4535 - 4564 s. ISSN 1352-2310.

KODL, Miroslav. *Zpráva o zdraví obyvatel České republiky*. Praha: Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2014, 155 s. 978-80-85047-49-3.

LONDON HAZARDS CENTRE. *Sick Building Syndrome: Causes, Effects and Control*. London: London Hazards Centre Trust Limited, 1990, 94 s. ISBN 0-948974-06-0.

MOLDAN, Bedřich. *Podmaněná planeta*. 2. vydání. Praha: Karolinum, 2015, 512 s. ISBN 978-80-246-2999-5.

MÜLLEROVÁ, Dana a Anna AUJEZDSKÁ. *Hygiena, preventivní lékařství a veřejné zdravotnictví*. Praha: Karolinum, 2014, 254 s. ISBN 978-80-246-2510-2.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., stanovení podmínek ochrany zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů*. 12. 12. 2007. ISSN 1211-1244.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. *Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Building*. Místo neznámé: OSHA, 2011, 25 s.

PELCLOVÁ, Daniela. *Nemoci z povolání a intoxikace*. 3. dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014, 316 s. ISBN 978-80-246-2597-3.

PROVAZNÍK, Kamil a Lumír KOMÁREK. *Manuál prevence v lékařské praxi*. Praha: Fortuna, 2004, 736 s. ISBN 80-7168-942-4.

QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

REMSEN, Ira. *Inorganic Chemistry*. 5. vydání. New York: Henry Hold and Company, 1899, 859 s.

REMY, Heinrich. *Anorganická chemie I. díl*. 12. přeprac. vyd. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1972, 936 s.

ROBERTSON, D. S. Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. *Current Science*. 90. Bengaluru: Current Science, 25. 6. 2006, 1742 s., 1607 - 1609 s. ISSN 0011-3891.

SCOTT, Jonathan L., KRAEMER, David G. a Randal J. KELLER. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. *Journal of Chemical Health and Safety*. Sv. 16, 2. Místo neznámé: Elsevier, 3. 6. 2008, 44 s., 18 - 22 s. ISSN 1871-5532.

SRDEČNÝ, Karel a František MACHOLDA. *Úspory energie v domě*. Praha: Grada, 2004, 112 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-0523-0.

VOJTÍŠEK, Petr. Otrava kouřovými plyny. *Pediatric pro praxi*. 12. Olomouc: Solen, 29. 8. 2011, 442 s., 419 - 421 s. ISSN 1213-0494.

VOTOČEK, Emil. *Chemie anorganická*. Praha: Česká chemická společnost pro vědu a průmysl, 1945, 1000 s.

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. In: *Sbírka zákonů*. 12. 8. 2009. ISSN 1211-1244.

Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých. In: *Sbírka zákonů*. 4. 10. 2005. ISSN 1211-1244.

Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. In: *Sbírka zákonů*. 13. 6. 2002. ISSN 1211-1244.

WANG, Wun-cheng, SCHROOR, Jerald L. a Jon. DOI. *Volatile Organic Compounds in the Environment*. West Conshohocken: ASTM, 1996, 291s. ISBN 0-8031-2048-6.

WHO Regional Office for Europe. *WHO guidelines for indoor air quality and mould*. Copenhagen: WHO, 2009, 228 s. ISBN 978-92-890-4168-3.

WHO Regional Office for Europe. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO, 2010, 454 s. ISBN 978-92-890-0213-4.

ZEMAN, Miroslav a Zdeněk KRŠKA. *Chirurgická propedeutika*. 3. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, 512 s. ISBN 978-80-247-3770-6.

ZHANG, Xiaojing, WARGOCKI, Pawel a Zhiwei LIAN. Human responses to carbon dioxide, a follow-up study at recommended exposure limits in non-industrial environments. *Building and Environment*. 100. Místo neznámé: Elsevier, 16. 2. 2016, 228 s., 162 - 171 s. ISSN 0360-1323.

10 Internetové zdroje

ČSÚ. Vydáváme: Katalog produktů: Spotřeba energie v domácnostech ČR – 2003. *Český statistický úřad*. [online] 2004. [cit. 9. 3. 2016]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20536566/81090516.pdf/6560f197-0261-4084-bf06-c4ff0896700f?version=1.0>

EXTECH. Gas Analyzers/Testers: CO210 – Desktop Indoor Air Quality CO₂ Monitor/Datalogger. *EXTECH INSTRUMENTS*. [online] 2014. [cit. 28. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/CO210_UM.pdf.

KUTĚJ, Petr a Jiří HANZAL. Publikace: Oxid uhličitý. *ČATP*. [online] 2002. [cit. 23. 11. 2015]. Dostupné z: http://www.catp.cz/publikace2.php?download=catp_01-02-cz.pdf

NYSERDA. New York State Energy Research and Development Authority. *NYSERDA*. [online]. [cit. 28. 3. 2016]. Dostupné z: <http://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/EERP/Residential/homeowners-vent-guide.pdf>.

SZÚ. Témata zdraví a bezpečnosti: Zdraví a životní prostředí: Vnitřní prostředí: Kvalita vnitřního prostředí: Vnitřní prostředí - obecné a odborné předpoklady. *SZÚ*. [online]. [cit. 4. 5. 2016]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitrni_ovzdusi/indoor_Zakladni_faktory_ovlivnujici_kvalitu_vnitrnihho_prostredi_4_.pdf

WHO. Classifications: List of Classifications. *International Agency for Research on Cancer*. [online] 2016. [cit. 13. 4. 2016]. Dostupné z: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/List_of_Classifications_Vol1-115.pdf.

12 Seznam grafů

Graf 1: Věkové zastoupení respondentů	24
Graf 2: Vzdělání respondentů	25
Graf 3: Délka měření v jednotlivých ložnicích	26
Graf 4: Druhy oken v měřených ložnicích	28
Graf 5: Zatažené závěsy v ložnicích během spánku	29
Graf 6: Pozice dveří v ložnicích během spánku	29
Graf 7: Konstrukce domu	30
Graf 8: Patro měřené ložnice	31
Graf 9: Čas strávený v ložnici mimo dobu spánku	31
Graf 10: Počet větrání během zimního období a bližší časové určení	32
Graf 11: Důvody větrání	33
Graf 12: Výskyt plísní v ložnicích	34
Graf 13: Závislost teploty na oxidu uhličitém	35
Graf 14: Závislost vlhkosti na oxidu uhličitém	36
Graf 15: Porovnání ložnice s rozdílnou pozicí oken a dveří	37
Graf 16: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 1. případ	37
Graf 17: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 2. případ	38
Graf 18: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 3. případ	39
Graf 19: Porovnání zapnutého a vypnutého topení – 4. případ	39
Graf 20: Porovnání ložnice se zapnutým/vypnutým topením a otevřeným/zavřeným oknem	40
Graf 21: Porovnání ložnice s rozdílným počtem osob	41
Graf 22: Koncentrace CO ₂ v malých ložnicích	42
Graf 23: Koncentrace CO ₂ ve velkých ložnicích	42

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Rosný bod	9
Tabulka 2: Zdroje vlhkosti	9
Tabulka 3: Výsledky výzkumu NIOSH	14
Tabulka 4: Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání.....	19
Tabulka 5: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665	20
Tabulka 6: Intenzita výměny vzduchu při různé poloze okna	22

14 Seznam zkratek

BRI: building related illness

ČSÚ: Český statistický úřad

IARC: International Agency for Research on Cancer

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

NYSERDA: New York State Energy Research and Development Authority

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

PAU: polycyklické aromatické uhlovodíky

PVC: polyvinylchlorid

SBS: sick building syndrom

USA: United States of America

WHO: World Health Organization

15 Seznam příloh

Příloha 1: Dotazník pro obyvatele měřené ložnice	59
Příloha 2: Srovnávací tabulka – malé ložnice	60
Příloha 3: Srovnávací tabulka – velké ložnice	61
Příloha 4: Růst koncentrace CO ₂ v malé ložnici.....	62
Příloha 5: Klesající tendence koncentrace CO ₂ v průběhu noci	62
Příloha 6: Vzájemná závislost zapnutého topení a vlhkosti.....	62
Příloha 7: Koncentrace CO ₂ ve velké ložnici.....	62

16 Přílohy

Dotazník pro obyvatele měřené ložnice

počet osob v místnosti	muž	žena	věk	vzdělání
1. osoba				
2. osoba				
3. osoba				

1. Jaká máte v místnosti okna?

- plastová okna
- dřevěná Eurookna
- ostatní dřevěná okna
- dřevohliníková okna
- hliníková okna

2. Máte v ložnici závěsy, které na spaní zatahujete?

- ano
- ne

3. V jaké pozici máte při spaní dveře?

- zavřené
- přivřené
- otevřené

4. Spí s Vámi v místnosti pes o hmotnosti vyšší než 15 kg?

- ano
- ne

5. Máte v ložnici elektrické přístroje (zvlhčovače, čističe vzduchu,...), které zlepšují kvalitu vzduchu?

- ano, jaké: _____
- ne

6. Jaká je konstrukce Vašeho domu?

- cihlová
- panelová
- kamenná

7. V jakém patře se nachází Vaše ložnice? _____

8. Kolik hodin mimo spánku trávíte průměrně v ložnici?

1. osoba: _____

2. osoba: _____

3. osoba: _____

8. Kolikrát za den v ložnici v zimním období větráte a kdy?

9. Jaký je Váš důvod větrání?

10. Pokud nejste zastáncem větrání, jaký je Váš důvod nevětrání?

11. Vyskytuje se u Vás v ložnici plíseň?

ano

ne

1. noc _____

Prosím o vyplnění před spaním.

1. Kolik je hodin a jaká je venkovní teplota, když jdete dnes spát?

	čas odchodu ke spánku	venkovní teplota
1. osoba		
2. osoba		
3. osoba		

Prosím o vyplnění následující ráno po vyspání.

2. Kolik bylo hodin a jaká byla venkovní teplota, když jste ráno vstali z postele?

	čas vstávání	venkovní teplota
1. osoba		
2. osoba		
3. osoba		

3. Dnes jste měli při spaní okno:

- zavřené
 otevřené na ventilaci
 otevřené na mikroventilaci
 otevřené
- _____

4. Topení bylo přes noc:

- zapnuté
 vypnuté
- _____

5. Jak se Vám dnes spalo?

1. osoba

 dobře špatně, příčina
neznámá špatně, příčina:

2. osoba

 dobře špatně, příčina
neznámá špatně, příčina:

3. osoba

 dobře špatně, příčina
neznámá špatně, příčina:

6. Cítíte se dnes dostatečně odpočinuti? ano ne ano ne ano ne

malé pokoje														
číslo ložnice	počet osob	druh okna	okno	dveře	topení	pliseň	pokoj m ³	min. ppm	max. ppm	medián teploty	min. vlhkost	max. vlhkost	teplota × CO ₂	vlhkost × CO ₂
			mikro	otevřené	vypnuté			1300	1700	19	65	68	0,33	0,28
			zavřené	otevřené	vypnuté			1300	1400	19	66	70	0,61	0,68
			zavřené	zavřené	vypnuté			2200	3200	20	68	71	0,48	0,98
1	2	plastová	mikro	zavřené	vypnuté	ne	31	1300	1450	19	60	63	-0,3	-0,2
3	2	plastová	zavřené	zavřené	vypnuté	ne	33	1250	3000	18	54	60	-0,4	1
4	2	plastová	zavřené	otevřené	vypnuté	ne	19	2100	2500	20	69	72	0,38	0,4
7	1	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ano	27	3100	4500	22	59	62	0,29	0,46
8	2	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ne	25	2700	5500	23	57	62	0,7	0,99
9	2	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ne	30	1600	3700	22	47	53	0,14	0,97
14	2	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté			2900	4800	24	57	63	0,24	0,93
					vypnuté			ne	28	3600	5500	22	68	70
15	2	plastová	zavřené	přivřené	zapnuté	ne	29	1700	2000	23	53	53	0,61	0,82
18	1	dřevěná Eurookna	zavřené	zavřené	vypnuté			1600	1600	20	55	55	-0,7	-0,1
					zapnuté			ne	23	1200	1500	20	51	52
22	3	ostatní	mikro	zavřené	vypnuté	ano	31	2500	2800	23	55	56	-0,7	0,92
23	1	plastová	zavřené	přivřené	zapnuté	ne	24	3400	4200	23	64	66	-0,4	0,55
24	2	ostatní dřevěná	zavřené	přivřené	zapnuté			1600	1700	22	54	57	-0,2	0,42
					vypnuté			ne	38	1500	1600	20	64	66
25	2	plastová	zavřené	přivřené	vypnuté	ne	41	1550	2200	20	65	68	0,91	-0,6
28	1	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ne	21	1600	1700	20	50	51	-0,1	0,91
31	1	plastová	zavřené	otevřené	vypnuté	ne	25	700	800	22	37	38	0,5	0,65
32	2	plastová	zavřené	otevřené	vypnuté	ne	37	2300	2600	22	60	62	-0,1	0,43
33	2	plastová	zavřené	otevřené	vypnuté	ne	30	2500	3000	20	66	68	-0,4	0,73

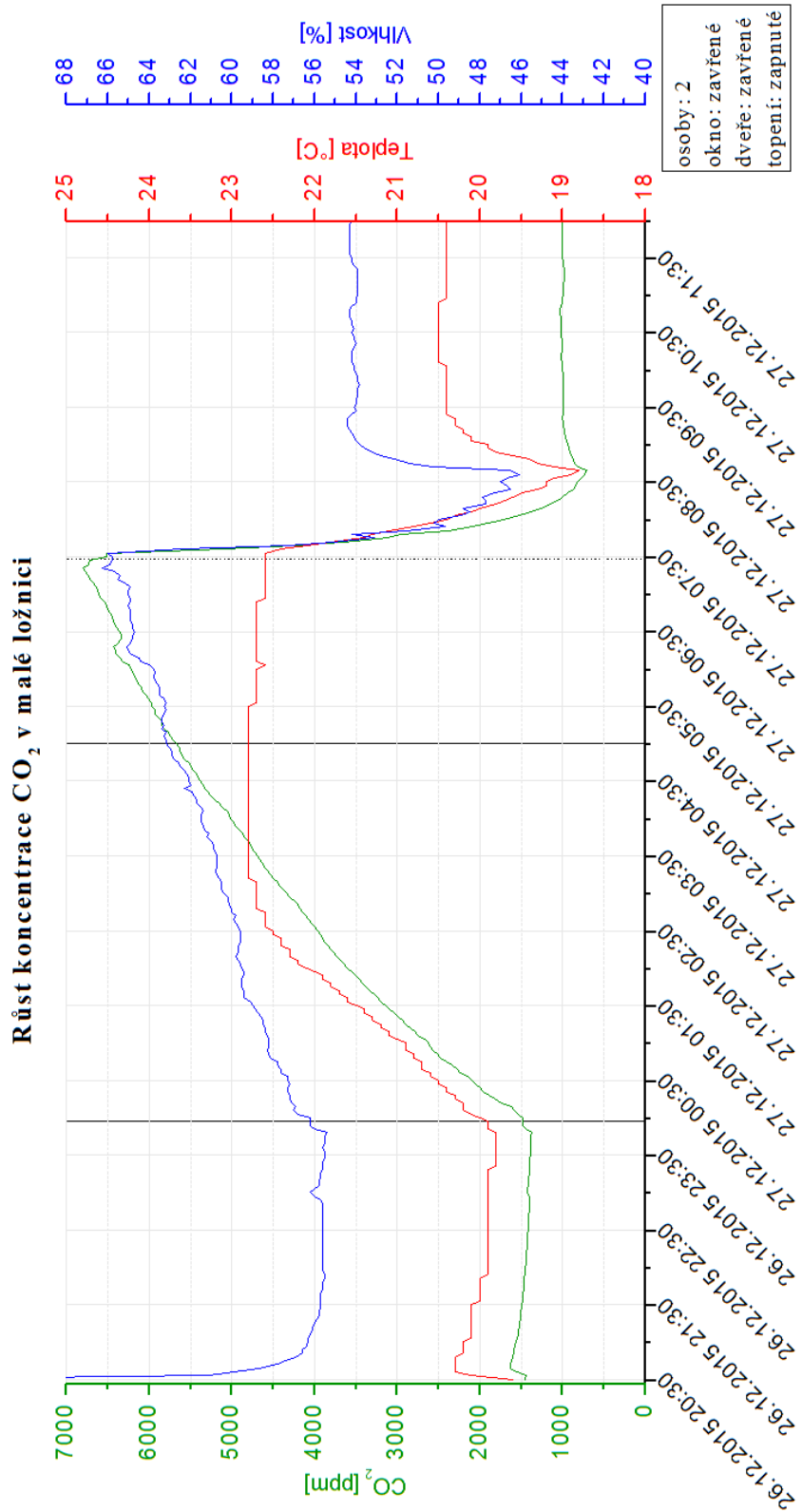
Příloha 2: Srovnávací tabulka – malé ložnice

Legenda: teplota × CO₂ – korelace mezi teplotou a oxidem uhličitým
vlhkost × CO₂ – korelace mezi vlhkostí a oxidem uhličitým

velké pokoje														
číslo ložnice	počet osob	druh okna	okno	dvěře	topení	pliseň	pokoj m ³	min. ppm	max. ppm	medián teploty	min. vlhkost	max. vlhkost	teplota × CO ₂	vlhkost × CO ₂
2	2	plastová	mikro	otevřené	zapnuté	ne	47	1100	1100	20	51	54	0,51	0,5
	1							2500	2600	22	53	55	-0,33	0,5
5	2	plastová	zavřené	zavřené	vypnuté	ne	49	2750	4100	22	50	55	0,91	1
6	2	plastová	zavřené	zavřené	vypnuté	ano	43	4000	5200	19	68	71	-0,29	0,9
10	1	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ne	34	1300	2100	16	57	59	-0,71	0,9
11	2	plastová	mikro	zavřené	zapnuté	ne	49	1100	1400	18	49	54	-0,86	0,9
12	1	plastová	ventilace	zavřené	zapnuté	ano	43	600	750	21	41	43	0,66	0,6
13	1	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ano	47	1600	1800	24	50	52	-0,37	0,8
16	1	plastová	zavřené	zavřené	zapnuté	ne	88	1000	1300	23	40	43	0,01	0,8
17	2	plastová	zavřené	přivřené	zapnuté	ne	78	1700	1700	21	60	61	0,48	0,6
19	2	dřevěná	zavřené	otevřené	vypnuté	ne	45	1900	2000	20	59	60	-0,42	0,9
20	1	Eurookna	zavřené	zavřené	vypnuté	ne	38	1800	2300	17,5	75	76	-0,95	1
					zapnuté			1800	1800	18	50	52	0,06	0,6
21	2	plastová	zavřené	přivřené	vypnuté	ne	49	1600	1800	19	53	54	-0,04	0,5
			zavřené		zapnuté			800	1700	21	53	66	0,63	0,9
26	1	plastová	mikro	zavřené	vypnuté	ano	49	1200	1400	22	64	65	0,12	0,3
29	2	ostatní	zavřené	zavřené	vypnuté	ne	60	1100	1600	15	57	59	0,4	0,4
30	2	plastová	mikro	zavřené	vypnuté	ne	48	800	1100	17	33	39	0,51	0,6

Příloha 3: Srovnávací tabulka – velké ložnice

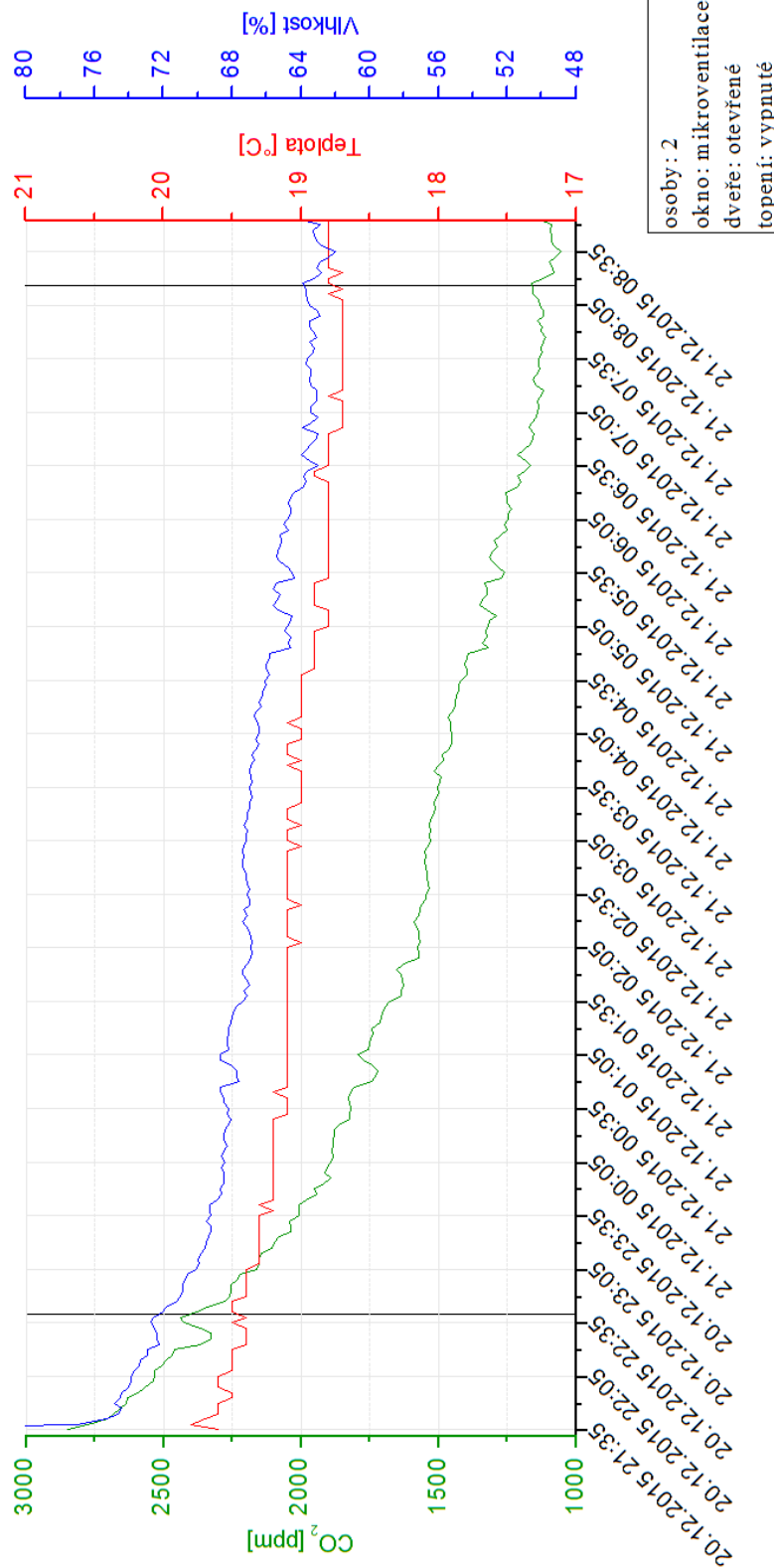
Legenda: teplota × CO₂ – korelace mezi teplotou a oxidem uhličitým
 vlhkost × CO₂ – korelace mezi vlhkostí a oxidem uhličitým



Příloha 4: Růst koncentrace CO₂ v malé ložnici

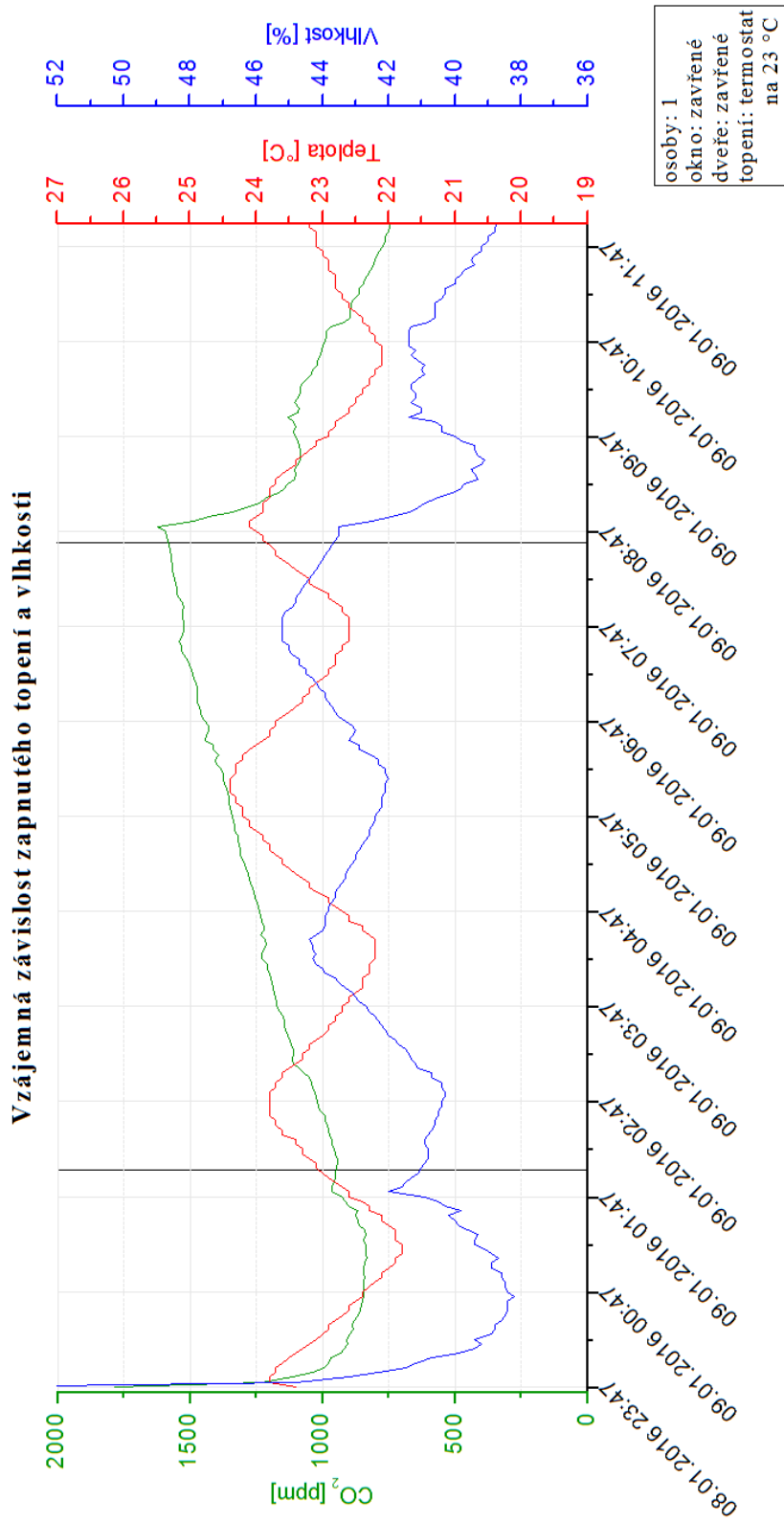
Legenda: svislá plná čára – odchod ke spánku obou osob, vstávání 1. osoby
 svislá přerušovaná čára – vstávání 2. osoby

Klesající tendence koncentrace CO₂ v průběhu noci



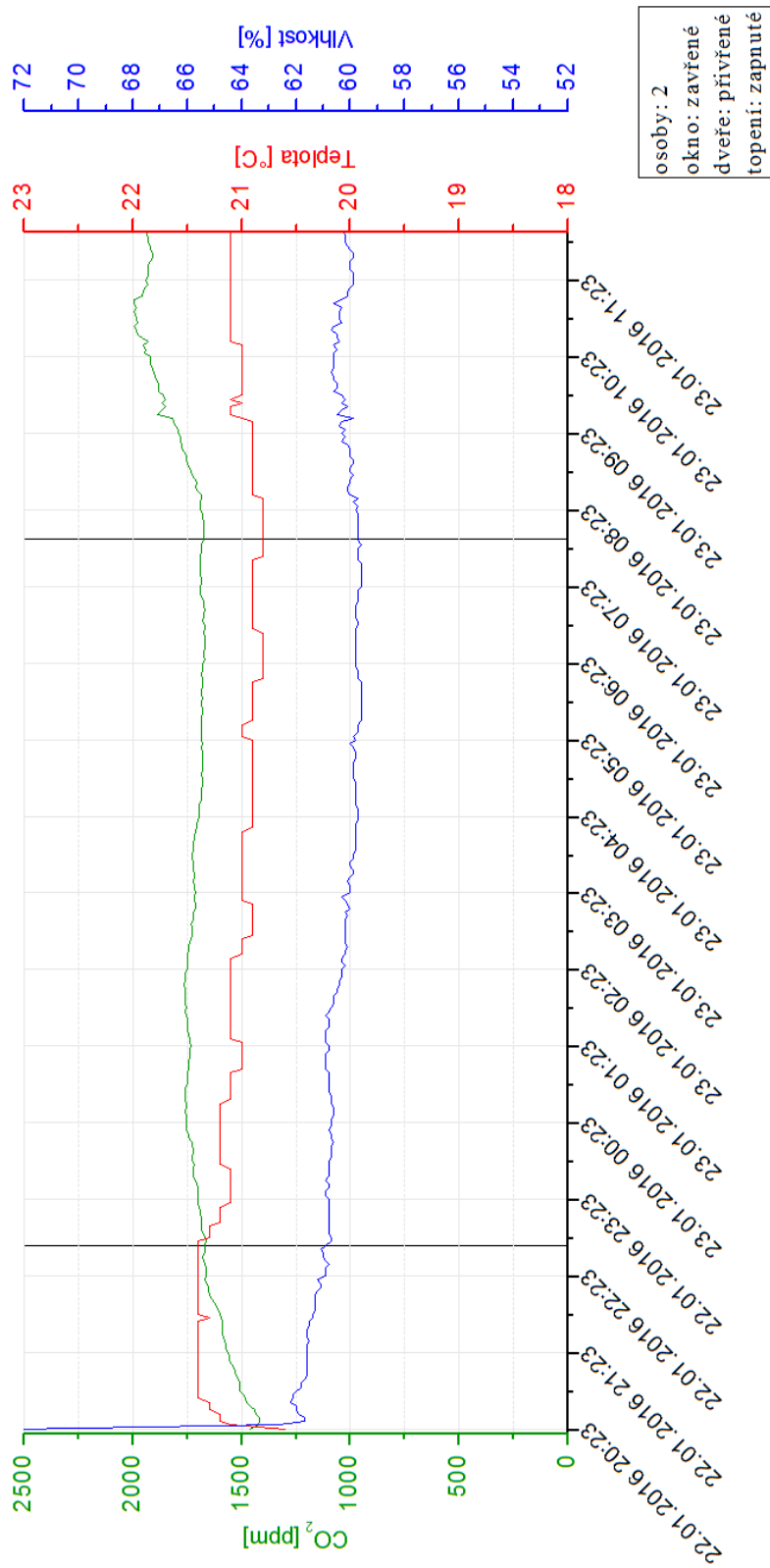
Příloha 5: Klesající tendence koncentrace CO₂ v průběhu noci

Klesající tendence byla způsobena na noc otevřenou mikroventilací v nevyvětrané ložnici



Příloha 6: Vzájemná závislost zapnutého topení a vlhkosti

Koncentrace CO₂ ve velké ložnici



Příloha 7: Koncentrace CO₂ ve velké ložnici