

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VZDUCHOTECHNIKA BYTOVÉHO DOMU REZIDENCE

ČERVENÝ DVŮR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Lucie Rehanzlová

Vedoucí práce:

Ing. Hana Kabrhelová, Ph.D.

2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

Příjmení	Bc. Rehanzlová	Jméno:	Lucie	Osobní číslo:	484677
Zadávací katedra:	11125				
Studijní program:	Budovy a prostředí				
Studijní obor/specializace:	Budovy a prostředí				

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Vzduchotechnika bytového domu Rezidence Červený dvůr				
Název diplomové práce anglicky:	Ventilation System of Residence Červený dvůr Building				
Pokyny pro vypracování:	Projekt vzduchotechniky zadaného bytového domu s rozšiřující částí na téma vnitřního prostředí bytových domů s garážemi. Projektová dokumentace obsahující technickou zprávu, výpočet množství větracího vzduchu, dimenze rozvodů, návrh vzduchotechnické jednotky, výkresová část s půdorysy a fezy s trasami rozvodů, řešení technické místnosti Rozšiřující část obsahující analýzu vnitřního prostředí v bytových domech s modelem větrání				
Seznam doporučené literatury:	Gebauer, Gunter: Vzduchotechnika. Era 2007. ISBN 8073660918. Daniels, Klaus: Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty. Jaga 2003. ISBN: 80-88905-60-5. Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb, ve znění pozdějších předpisů. ČSN 15 665/Z1 Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. ČNI 2009.				
Jméno vedoucího diplomové práce:	Ing. Hana Kabrhelová, Ph.D.				
Datum zadání diplomové práce:	3.10.2023	Termín odevzdání DP v IS KOS:	8.1.2024		
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku					
Podpis vedoucího práce					Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	3.10.2023	Podpis studenta(ky)	
-----------------------	-----------	---------------------	--

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

V Praze dne 3.1.2024

.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Haně Kabrhelové, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce.

Obsah

Veličiny.....	9
Zkratky.....	10
1 Úvod.....	11
2 Vnitřní prostředí bytových domů s garážemi.....	12
2.1 Vnitřní komfort.....	13
2.1.1 Tepelně-vlhkostní komfort.....	13
2.1.2 Vizuální komfort.....	14
2.1.3 Akustický komfort.....	15
2.1.4 Kvalita vzduchu.....	16
2.2 Hygienické požadavky na vnitřní prostředí bytů.....	19
2.2.1 Teplota a vlhkost.....	19
2.2.2 Proslunění.....	20
2.2.3 Hluk.....	20
2.2.4 Kvalita vzduchu.....	21
2.3 Požadavky na větrání bytů.....	22
2.3.1 Přívod vzduchu.....	22
2.3.2 Odvod vzduchu.....	23
2.4 Požadavky na větrání garáží v bytovém domě.....	23
3 Popis objektu.....	24
3.1 Základní informace o objektu.....	24
3.2 Konstrukční řešení.....	25
3.3 Dispoziční řešení.....	25
4 Modelování průběhu koncentrace CO ₂ v bytech.....	26
4.1 Oxid uhličitý.....	26
4.2 Popis modelu.....	27
4.2.1 Byt 1.02.....	29

4.2.2	Byt 2.01	31
4.2.3	Byt 5.01	33
4.3	Rozvrh přítomnosti osob.....	34
4.4	Výsledky simulace	37
4.4.1	Byt 1.02	37
4.4.2	Byt 2.01	38
4.4.3	Byt 5.01	39
5	Modelování průběhu množství vlhkosti v bytech	39
5.1	Vlhkost vzduchu	40
5.2	Okrajové podmínky	40
5.2.1	Vnější prostředí	43
5.2.2	Škodliviny	43
5.3	Popis modelu.....	44
5.3.1	Byt 1.02	45
5.3.2	Byt 2.01	46
5.3.3	Byt 5.01	47
5.4	Větrání místností.....	47
5.5	Rozvrh působení zdroje vlhkosti	49
5.6	Výsledky simulace	52
5.6.1	Byt 1.02	52
5.6.2	Byt 2.01	53
5.6.3	Byt 5.01	54
6	Vzduchotechnika podzemních garáží.....	55
6.1	Výpočet nuceného provozního větrání hromadné garáže.....	55
6.1.1	Vstupní údaje	55
6.1.2	Stanovení délky trasy s [m] jednoho vozidla v úseku.....	56
6.1.3	Stanovení doby volnoběhu jednoho vozidla v daném úseku.....	56
6.1.4	Výpočet doby jízdy t_j [s] jednoho vozidla trasou s v daném úseku.....	57

6.1.5	Výpočet počtu vozidel p vjíždějících do úseku.....	57
6.1.6	Výpočet doby chodu motorů za jízdy $t_{j,rov}$	57
6.1.7	Výpočet doby volnoběhu vozidel t_{vc}	57
6.1.8	Výpočet emisí oxidu uhelnatého.....	58
6.1.9	Celkový objemový průtok CO v úseku.....	58
6.1.10	Průtok odváděného vzduchu pro větrání garáže	58
6.1.11	Intenzita větrání I a měrný průtok vzduchu V_m	59
6.1.12	Závěr.....	59
7	Modelování průběhu koncentrace CO v garážích	59
7.1	Oxid uhelnatý CO	60
7.2	Popis modelu.....	60
7.3	Rozvrh pohybu vozidel	61
7.4	Modelování produkce CO vozidly v čase.....	62
7.5	Výsledky simulace	64
8	Závěr.....	65
9	Seznam literatury a podkladů	66
10	Seznam obrázků a tabulek	68

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vnitřního prostředí a vzduchotechniky bytových domů s garážemi. V práci jsou formou studie shrnuty hygienické požadavky na vnitřní prostředí bytů a dále jsou zde uvedeny požadavky na větrání bytů a garáží. Na základě poznatků nabitých ve studii je vypracován model bytového domu v programu CONTAM, díky kterému je provedena analýza z hlediska koncentrace oxidu uhličitého a vlhkosti v bytových jednotkách, a oxidu uhelnatého v garážích. Cílem práce je zhodnotit, zda navržené množství větracího vzduchu dle norem zajistí požadovanou kvalitu vnitřního prostředí a dále vypracování projektu vzduchotechniky pro vydání stavebního povolení.

Klíčová slova: vzduchotechnika, větrání objektu, nucené větrání, bytový dům, kvalita vnitřního prostředí, koncentrace oxidu uhličitého, vlhkost v bytě, větrání garáže, koncentrace oxidu uhelnatého, CONTAM

Annotation

This diploma thesis deals with the matter of the indoor environment and air conditioning of residential buildings with garages. The study summarizes hygiene requirements for the indoor environment of apartments and outlines ventilation requirements for both apartments and garages. Based on the knowledge gathered in the study, a model of a residential building is created using the CONTAM program. This model facilitates an analysis of carbon dioxide and humidity concentrations within the residential units, and the concentration of carbon monoxide in the garages. The purpose of this thesis is to assess whether the proposed ventilation air volume, according to standards, would ensure the requiring indoor environment quality. Additionally, the thesis includes the air conditioning project for the issuance of a building permit.

Key words: air conditioning, building ventilation, forced ventilation, residential building, indoor environment quality, carbon dioxide concentration, humidity in the apartment, garage ventilation, carbon monoxide concentration, CONTAM

Veličiny

C_e	přípustná výpočtová koncentrace CO v exteriéru	[ppm]
C_p	přípustná výpočtová koncentrace CO v garáži	[ppm]
D	činitel denní osvětlenosti	[%]
E	osvětlenost	[lx]
f	frekvence výměny vozidel	[h ⁻¹]
f_z	frekvence zvuku	[hz]
I	intenzita	[h ⁻¹]
L	hladina akustického tlaku	[dB]
$L_{Aeq,T}$	základní hladina akustického tlaku	[dB]
L_{Amax}	maximální hladina akustického tlaku	[dB]
M	molární hmotnost	[g/mol]
O	objem	[m ³]
p	tlak	[Pa]
Q	průtok větracího vzduchu	[l/s]
R_a	index podání barev	[-]
s	délka	[m]
S	plocha	[m ²]
t	čas	[s]
t_{ef}	efektivní teplota	[°C]
t_g	výsledná teplota	[°C]
t_{ge}	stereoteplota	[°C]
t_j	doba jízdy	[s]
$t_{jc,rov}$	doba chodu motorů za jízdy	[s/h]
t_o	operativní teplota	[°C]
t_{v1}	doba volnoběhu parkujících vozidel	[s]
t_{v2}	doba volnoběhu všech vozidel při vjezdu a výjezdu	[s]
t_{vc}	doba chodu motorů při volnoběhu	[s/h]
T	teplota	[°C]
T_{cp}	teplota chromatičnosti	[K]
T_d	doba dozvuku	[s]
UGR	index oslnění	[-]
V	objem vzduchu	[m ³ /h]
V_m	měrný průtok vzduchu	[m ³ /h*stání]

V_o	objem odváděného vzduchu	[m ³ /h]
V_p	objem přiváděného vzduchu	[m ³ /h]
$V_{CO,j,rov}$	měrná emise jednoho vozidla na rovině/při klesání	[m ³ /s*voz]
$V_{CO,j,rov,T}$	emise CO při jízdě po rovině	[m ³ /h]
$V_{CO,T}$	celkový objemový průtok CO	[m ³ /h]
$V_{CO,v}$	měrná emise jednoho vozidla při volnoběhu	[m ³ /s*voz]
$V_{CO,v,T}$	emise CO při volnoběhu	[m ³ /h]
w	rychlost	[m/s]
x	měrná vlhkost	[g/kg]
Φ	relativní vlhkost	[%]

Zkratky

ASHRAE	americká společnost pro vytápění chlazení a klimatizaci
BRI	building related illness
C ₆ H ₆	benzen
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
ISIAQ	mezinárodní společnost pro kvalitu vnitřního ovzduší a klima
MRT	střední radiační teplota
NO	oxid dusnatý
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku
NP	nadzemní podlaží
O ₃	ozon
PMV	predicted mean vote = předpokládaná průměrná volba
PPD	predicted percentage of dissatisfied = předpokládané procento nespokojených
RH	relativní vlhkost
SBS	sick building syndrome
SO ₂	oxid siřičitý
SO ₃	oxid sírový
SO _x	oxidy síry
s.v.	světlá výška
tl.	tloušťka
VOC	těkavé organické látky

1 Úvod

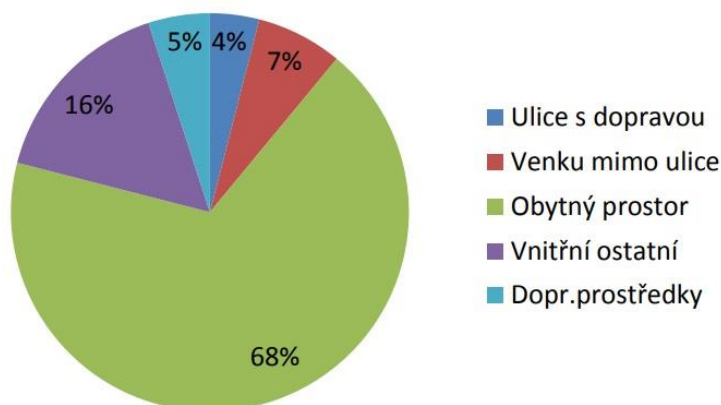
V dnešní době, kdy většina lidí tráví převážnou část svého života v uzavřených prostorech, nabývá významu otázka kvality vnitřního prostředí. Je vědecky prokázáno, že okolní prostředí má značný vliv na lidské zdraví, intelekt a pohodu. Mezi klíčové faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí spadá teplota a relativní vlhkost vnitřního vzduchu a koncentrace oxidu uhličitého (CO₂). Všechny tyto faktory lze ovlivnit mimo jiné vhodným návrhem vzduchotechniky pro daný objekt.

Cílem práce je studium tématu vnitřního prostředí bytových domů s garážemi, včetně shrnutí požadavků na vzduchotechnický systém pro tento typ provozu. Dalším bodem je zhodnocení kvality vnitřního prostředí z hlediska koncentrace CO₂ a vlhkosti v bytech a koncentrace CO v garážích pomocí modelu bytového domu Rezidence Červený Dvůr, který bude vytvořen v programu CONTAM. Pro provedení simulace v programu CONTAM budou vybrány tři modelové byty, ve kterých bude navrženo trvalé a nárazové větrání na základě doporučených hodnot daných normou. Z hlediska zkoumání kvality vnitřního prostředí v bytech bude vyšetřováno, zda při návrhu dostatečné výměny vzduchu dle normy, není v místnostech bytů překročena limitní koncentrace CO₂ 1200 ppm, zda je v bytech udržena optimální vlhkost a zda nedochází ke kondenzaci vodní páry v daných prostorech. V programu budou vymodelovány i garáže, ve kterých bude sledována koncentrace CO a nepřekročení přípustné hodnoty 50 ppm.

V neposlední řadě si tato práce klade za cíl na základě poznatků nabytých ze studie a s ohledem na výsledky z provedených simulací vypracovat projekt vzduchotechniky daného bytového domu ve stupni pro vydání stavebního povolení.

2 Vnitřní prostředí bytových domů s garážemi

Lidé tráví velmi významnou část svého života uvnitř, ať už je to v bytových domech, rodinných domcích, administrativních anebo komerčních budovách. Proto je potřeba zaměřit se na vnitřní prostředí a jeho komfort, který je podstatným aspektem pro zdraví, pohodu prostředí a produktivitu člověka.



Obrázek 2.1: procentuální zobrazení kde člověk tráví kolik času během svého života [1]

Vnitřní prostředí je životní prostředí v interiéru budovy, které obklopuje živý organismus. Skládá se obecně ze třech jevů – zdroje agencií (teplo, vodní páry, toxické látky, světlo) pole přenosu (prostor, vzduch, kontaktní tělesa) a exponovaného subjektu (člověk, zvíře, rostlina, stroj). [1]

S pobytem člověka v budovách souvisejí i dva pojmy, které je důležité zmínit. Prvním z nich je syndrom nemocných budov (sick building syndrome SBS), který představuje špatně navržené, nedomyšlené nebo na špatných místech postavené domy, které uživatelům způsobují různé příznaky a potíže spojené právě s pobytem v budově bez jasné příčiny. Může se jednat o tyto příznaky: podráždění očí, nosu, krku, pokožky, bolesti hlavy, závratě, únava, dušnost, poruchy soustředění, spánku atd. Většina ze zmíněných problémů odezní po opuštění budovy. Avšak dlouhodobé žití v nemocné budově může způsobovat různé zdravotní komplikace nebo chronické nemoci. Druhým pojmem je syndrom nemocí z budov (building related illness BRI), což je diagnostikovatelná nemoc spojená s pobytem člověka v budově s jasnou příčinou, jako je například zvýšená vlhkost, výskyt plísní, koncentrace plynů, nedostatečná ventilace atd. Na rozdíl od SBS zde náprava příznaků trvá delší dobu a problémy nepřestávají po opuštění budovy. Aby se těmto syndromům předešlo, je potřeba dbát při návrhu nové budovy na kvalitu vnitřního prostředí. [2] [3]

2.1 Vnitřní komfort

Vnitřní komfort je pojem, který je často považován za subjektivní a je proto obtížné ho objektivně definovat. Pohodlí v uzavřených prostorech je určeno mnoha faktory a lze ho rozdělit do čtyř hlavních kategorií: tepelně-vlhkostní komfort, vizuální komfort, akustický komfort a kvalita vzduchu. [4] [1]

2.1.1 Tepelně-vlhkostní komfort

Tepelný komfort je stav mysli, ve kterém je vyjádřena spokojenost člověka s tepelným prostředím.

Tepelně-vlhkostní mikroklima je definováno zdrojem agencií jakožto vodní párou a teplem, polem přenosu vzduchem a exponovaným subjektem – dýchacím ústrojím a pokožkou. Jedná se o stav vnitřního prostředí z pohledu tepelných a vlhkostních toků mezi lidským tělem a jeho okolím. [2]

Hodnocení tepelné pohody je subjektivní proces zahrnující různé vstupy ovlivněné fyzikálními, fyziologickými a jinými faktory. V roce 1962 Macpherson definoval následujících šest faktorů ovlivňujících teplotní vnímání: čtyři fyzikální proměnné, mezi které řadíme teplotu vzduchu, relativní vlhkost, rychlost vzduchu a střední radiační teplotu a dvě individuální proměnné, kterými jsou izolace oděvu a rychlost metabolismu. Z těchto faktorů vychází kritéria pro popis tepelného komfortu: [4] [5]

- Operativní teplota t_o [°C]
- Výsledná teplota t_g [°C]
- PMV – Predicted Mean Vote = předpokládaná průměrná volba
- PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied = předpokládané procento nespokojených
- Efektivní teplota – t_{ef} [°C]
- Stereoteplota – t_{ge} [°C]

Každá osoba vnímá tepelnou pohodu jinak a je pouze na ni, zda bude v prostředí spokojena či nikoliv. Proto je velmi těžké navrhnout regulaci tepelného prostředí ke spokojenosti všech. Z tohoto důvodu se stavební předpisy snaží pomocí parametrů kvality vnitřního prostředí minimalizovat nepohodlí, ne však ho úplně eliminovat.

Jednou z metod, jak lze hodnotit tepelný komfort je pomocí předpovídané průměrné volby (PMV). Jedná se o stupnici od -3 (velmi chladno) do +3 (horko) viz tabulka 2.1. Hodnota je vypočítána pomocí komplexní rovnice, která zahrnuje různá kritéria, jako je tepelný odpor oblečení, metabolická aktivita, rychlost proudění vzduchu a střední radiační

teplota (MRT). Obecně platné směrnice pro tepelný komfort navrhuji, aby regulace vnitřních prostor zajišťovala, že předpovídaná hodnota bude v rozmezí mezi -0,5 a +0,5. [6]

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

Tabulka 2.1: stupnice PMV

PMV lze dále použít pro výpočet předpovídaného procenta nespokojených (PPD), které ukazuje předpokládané procento nespokojených lidí s tepelným prostředím. Pokud je PPD 100 % znamená to, že 100 % lidí není spokojeno s tepelným komfortem. Doporučuje se udržovat hodnotu PPD pod 10 %. [6]

Na základě těchto parametrů ČSN EN 16798-1 definuje 4 kategorie vnitřního prostředí viz tabulka 2.2.

Kategorie vnitřního tepelného prostředí	Celkový tepelný stav těla	
	PPD	PMV
I	<6 %	- 0,2<PMV<+0,2
II	<10 %	- 0,5<PMV<+0,5
III	<15 %	- 0,7<PMV<+0,7
IV	<25 %	- 1,0<PMV<+1,0

Tabulka 2.2: kategorie vnitřního tepelného prostředí dle ČSN EN 16798-1

2.1.2 Vizuální komfort

Vizuální komfort je definován evropským standardem UNI EN 12665:2018 jako "subjektivní stav vizuálního blaha vyvolaný vizuálním prostředím". Závisí na fyziologii lidského oka, fyzikálních veličinách popisujících množství a distribuci světla v prostoru a spektrální emisi světelného zdroje.

Světelné mikroklima je definováno zdrojem agencí jakožto světlem, polem přenosu prostorem a exponovaným subjektem – zrakovým ústrojím.

Pro popis světelného mikroklima se používají následující kritéria [5]:

- Činitel denní osvětlenosti D [%]
- Osvětlenost E [lx]
- Teplota chromatičnosti T_{cp} [K]
- Index podání barev Ra

- Index oslnění – UGR [-]

Pro zajištění dobré viditelnosti je nezbytné mít v prostoru dostatečné množství světla, aby uživatelé mohli efektivně vykonávat své úkoly. Správná rovnoměrnost osvětlení pomáhá zabránit vizuálnímu stresu způsobenému častým přizpůsobováním očí na příliš osvětlené nebo naopak nedostatečně osvětlené plochy. Oslnění je vizuální jev vyplývající z nadměrné jasnosti ve vizuálním poli. Obecně ho lze definovat jako *"sensaci vyvolanou jasností ve vizuálním poli, která je dostatečně vyšší než jasnost, na kterou jsou oči přizpůsobeny, způsobující nepohodlí nebo ztrátu vizuálního výkonu a viditelnosti."* [7] Dalším důležitým aspektem pro zajištění vizuálního komfortu je dosažení dobré reprodukce barev v prostředí. Barevný index reprodukce světelného zdroje udává povahu barev osvětlovaných objektů. [4]

2.1.3 Akustický komfort

„Akustické mikroklima je složka prostředí tvořená akustickými toky v ovzduší, které působí na subjekt a spoluvytvářejí tak jeho celkový stav.“ (prof. M. Jokl) Dále se dá popsat zdrojem agencí jakožto akustickým vlněním, polem přenosu vzduchem a exponovaným subjektem – sluchovým ústrojím. [8]

Akustický komfort poukazuje na psychofyzický stav člověka související s jeho pohodou. Běžně je spojován s prevencí nepohodlí a obtěžováním. Zejména u obytných budov spočívají základní principy v akustickém návrhu ve snižování úrovně hluku, které jsou obyvatelé vystaveni, tak aby se předešlo rušení klidu a ohrožení zdraví fyzického i psychického. [4]

Mezi hlavní zdroje hluku v budově z interiéru se řadí technická zařízení budov, hluk od sousedů a běžná činnost osob v bytě. Hluk z exteriéru způsobuje silniční doprava, meteorologické jevy, průmysl, zemědělství a zábavní průmysl [8]

Pro popis akustického mikroklima se používají následující kritéria [5]:

- Intenzita zvuku – hladina akustického tlaku L [dB]
- Frekvence zvuku f_z [Hz]
- Doba dozvuku T_d [s]

Hluk v interiéru může být odstraněn zásahem do zdroje hluku – odstranit ho, nahradit ho tišším nebo ho izolovat od okolních konstrukcí. Dále zásahem do pole přenosu – zde závisí na odrazivosti a pohltivosti okolních stěn, proto je vhodné správně navrhnout interiér tak, aby se zkrátila doba dozvuku. Nejméně vhodným řešením je pak zásah na subjektu, který spočívá v použití ochranných pomůcek jako jsou špunty do uší nebo sluchátka. [8]

2.1.4 Kvalita vzduchu

Kvalita vnitřního vzduchu je dle mezinárodní společnosti pro kvalitu vnitřního ovzduší a klima (ISIAQ) definována jako „*ukazatel druhů a množství znečišťujících látek v ovzduší, které by mohly způsobit diskomfort nebo riziko nepříznivých účinků na zdraví lidí nebo zvířat, nebo poškození vegetace.*“ [9]

Přijatelná kvalita vnitřního vzduchu může být vymezena dle americké společnosti pro vytápění, chlazení a klimatizaci (ASHRAE) jako „*ovzduší, v němž nejsou žádné škodlivé koncentrace znečišťujících látek určené odbornými autoritami, a se kterým 80 % nebo více exponovaných uživatelů nevyjadřuje nespokojenost.*“ [9]

Kvalita vnitřního vzduchu má významný vliv na zdraví a pohodu člověka. Vnitřní ventilační systémy hrají důležitou roli při zajišťování kvality vzduchu a snižování diskomfortu obyvatel. Hlavním účelem ventilačních systémů je odstraňovat znečišťující látky nebo zředňovat jejich koncentrace na přijatelnou úroveň. Mezi tyto škodliviny se řadí CO₂, vodní pára, ftaláty, těkavé organické látky (VOC), formaldehyd, kosmetické a čisticí přípravky. [4] [5]

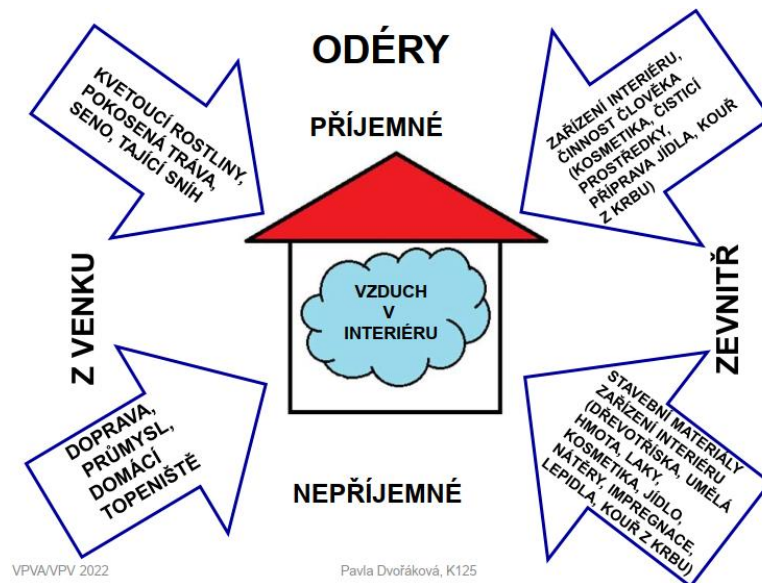
K hodnocení kvality vzduchu se používají následující kritéria, která zohledňují jednotlivé druhy a množství škodlivin ve vzduchu:

- Koncentrace plynů, par aerosolů, chemických látek, mikrobů
- Intenzita větrání I [h⁻¹]
- Průtok větracího vzduchu Q [l/s]

Koncentrace znečišťujících látek uvnitř místnosti závisí na vztahu mezi objemem vnitřního vzduchu, rychlostí produkce nebo uvolňování škodliviny, rychlostí odstranění znečišťující látky, rychlostí výměny vzduchu v posuzovaném prostoru a koncentrací škodlivin v exteriéru. [4]

2.1.4.1 Odérové mikroklima

Jedním z faktorů určující kvalitu vzduchu je obsah odérových složek. Odéry jsou plynné látky v ovzduší, které člověk vnímá jako vůni nebo zápachy. Příjemné odéry mohou uklidňovat a podporovat výkon, na druhou stranu nepříjemné odéry můžou způsobit ztrátu soustředění, chuti a výkonnosti a při dlouhodobé expozici se mohou u člověka projevit stavy úzkosti, deprese a únavy. Odéry jsou jak organického, tak anorganického původu a můžou zároveň působit buď z interiéru nebo z exteriéru. Konkrétní příklady jsou zobrazeny na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: zdroje oděrů [9]

2.1.4.2 Toxické mikroklima

Toxické mikroklima je popsáno toky plynných toxických látek, kterým je člověk exponován. Pocházejí buď z interiéru (stavebních materiálů, činnosti člověka) nebo z exteriéru (dopravy, průmyslu). Jedná se konkrétně o tyto látky: [9]

- Oxidy síry SO_x (SO_2 , SO_3)
 - o Zdroj: spalování fosilních paliv obsahující síru, cigaretový kouř
 - o Účinky: dráždivé účinky na dýchací cesty
- Oxidy dusíku NO_x (NO , NO_2)
 - o Zdroj: dieslové motory, teplárny, elektrárny, továrny, tabákový kouř, hoření plynu
 - o Účinky: dráždí sliznice, toxické pro dýchací ústrojí, vznik rakoviny
- Polycyklické aromatické uhlovodíky
 - o Zdroj: dieslové motory, nedokonalé spalování, tabákový kouř
 - o Účinky: karcinogenní, poruchy reprodukce
- Ozon O_3
 - o Zdroj: kopírky, laserové tiskárny, výfukové plyny
 - o Účinky: dráždí oči – záněty, bolest na prsou, kašel, negativně působí na rostliny
- Oxid uhelnatý CO
 - o Zdroj: benzínové motory, nedokonalé spalování, tabákový kouř
 - o Účinky: váže se na hemoglobin, bolesti hlavy, ztráta koordinace, neschopnost soustředění, bolesti celého těla

- Těkavé organické látky VOC
 - o Zdroj: nátěry, rozpouštědla, koberce, lepidla, motorová vozidla, cigaretový kouř, kosmetika, čisticí prostředky
 - o Účinky: dráždění očí, nosu, krku, dlouhodobá expozice způsobuje poruchy jater, ledvin a nervové soustavy
- Formaldehyd
 - o Zdroj: nedokonalé spalování, cigaretový kouř, kosmetika, izolační pěny, nábytek, koberce, barvy, laky
 - o Účinky: vysušuje pokožku, snižuje imunitu, karcinogenní

2.1.4.3 Aerosolové mikroklima

Aerosolové mikroklima je tvořeno aerosoly z pevných částic, běžně nazývaných jako prach, a z kapalných částic od velikosti cca 0,8 μm . Aerosoly určují čistotu v interiéru budovy, působí na člověka a spoluvytvářejí jeho celkový stav. [10]

Pevné aerosoly mohou být původu organického (živočišného nebo rostlinného), anorganického (kovové nebo nekovové) nebo smíšeného. Organické částice jsou lehčí než částice anorganické. Prach vzniká též činností člověka, například při opracování pevných materiálů nebo při spalování organických látek. Při zpracování azbestocementu nebo při jeho zvětrávání se do vzduchu uvolňuje azbestový prach, který je závažným zdravotním problémem ve stavebnictví. [10]

Kapalné aerosoly vznikají kondenzací vodní páry při poklesu teploty vzduchu pod rosný bod (mlha), dále v průmyslových provozech při stříkání laků, mokrém broušení, leštění a čištění povrchů. Dle velikosti částic se dělí na páry (částice $< 10^{-4} \mu\text{m}$) a spraye (částice $> 10 \mu\text{m}$), dále na monodisperzní (všechny částice mají stejnou velikost) a polydisperzní (částice jsou různých velikostí). [10]

Účinek mikroklimatu vytvářeného aerosoly závisí hlavně na průtoku aerosolových částic, délce expozice, jeho koncentraci, chemickém složení a fyzikálních vlastnostech. Aerosoly mechanicky ovlivňují pokožku, spojivkový vak, sliznici a mohou blokovat lymfatické cesty v plicích. Při dlouhodobé expozici může dojít k dráždivým účinkům, které se projevují nespecifickými zánětlivými změnami na kůži, spojivkách a sliznicích. Tyto změny závisí na chemickém složení částic, jejich množství, velikosti, tvaru, hloubce působení a individuální reakci organismu. Především z prachu organického původu (zvířecí srst, roztoči, švábi, pyly) se stávají alergeny způsobující člověku různé druhy alergií. [23]

2.1.4.4 Mikrobiální mikroklima

Mikroorganismy, známé také jako mikroby nebo nověji bioaerosoly (jako například bakterie, viry, plísňe a jejich spóry, endotoxiny a mykotoxiny, a antigeny s průměrem od 0,1 do 100 μm), se nacházejí ve vzduchu, proto jsou někdy označovány jako aeromikroby. Tyto částice ovlivňují lidský organismus a přispívají k celkovému stavu člověka, jsou součástí prostředí nazývané mikrobiální nebo též bioaerosolové mikroklima. [10]

Hlavním zdrojem mikroorganismů patogenních pro člověka jsou především lidé, ze kterých se infekční původce dostává do vnitřního i venkovního ovzduší, díky tomu může proniknout zpětně do interiéru budov a do klimatizačních zařízení. Proto je potřeba pravidelně čistit a vyměňovat filtry vzduchotechniky, na kterých mikroby ulpívají. Největším problémem v obytných místnostech jsou však plísňe, ty se usazují v plicních sklípcích a snižují tím funkci plic. [10]

Aerosoly jsou nositelem mikroorganismů. Kapalným aerosol z chladicích věží a klimatizačních zařízení je nositelem tyčinkových bakterií tzv. legionell, které způsobují plicní onemocnění. Pevný aerosol, suchý ptačí trus, je nositelem roztočů a spór hub. [9]

2.2 Hygienické požadavky na vnitřní prostředí bytů

Z hlediska hygienických požadavků lze kvalitu vnitřního prostředí budov charakterizovat jako souhrn fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů. Je důležité zajistit, aby byly tyto ukazatele udržovány v rozsahu stanovených limitů, a to tak, aby minimalizovaly potenciální zdravotní rizika pro obyvatele.

2.2.1 Teplota a vlhkost

Norma ČSN EN 16798-1 udává návrhové hodnoty operativní teploty v zimě a v létě pro budovy se strojním chlazením rozdílných pro 4 kategorie uvedené v kapitole 2.1.2 - tepelně-vlhkostní komfort v tabulce 2.2.

Typ budovy	Kategorie	Operativní teplota °C	
		Minimální hodnota pro vytápění (zimní období) cca 1,0 clo	Minimální hodnota pro chlazení (letní období) cca 0,5 clo
Obytné budovy, obytné místnosti (ložnice, obývací pokoje, kuchyně...)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0

POZNÁMKA: Za předpokladu relativní vlhkosti 50 % a rychlosti proudění < 0,1 m/s.

Tabulka 2.3: návrhové hodnoty operativní teploty v zimě a v létě

Požadavky na relativní vlhkost vzduchu a proudění vzduchu v obytných místnostech jsou uvedeny ve vyhlášce č. 6/2003 Sb.:

Teplé období roku	Nejvýše 65 %
Chladné období roku	Nejméně 30 %

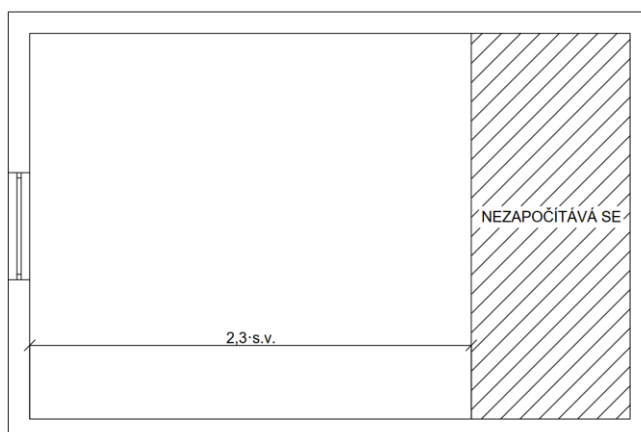
Tabulka 2.4: relativní vlhkost v obytných místnostech

Teplé období roku	0,16 – 0,25 m/s
Chladné období roku	0,13 – 0,20 m/s

Tabulka 2.5: rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech

2.2.2 Proslunění

Dle ČSN 73 4301 musí být všechny byty bytového domu navrhovány tak, aby byly prosluněny. Byt se považuje za prosluněný právě tehdy, je-li alespoň třetina všech podlahových ploch obytných místností prosluněna. Pokud je místnost příliš hluboká, počítá se pouze s podlahovou plochou, která leží před hranicí hloubky místnosti rovné 2,3 násobku její světlé výšky viz obrázek 2.3.



Obrázek 2.3: podlahová plocha místnosti

Zjednodušeně se místnost považuje za prosluněnou, pokud je 1. března doba proslunění alespoň 90 minut za den. Což znamená, že osvětlovacím otvorem o nejmenším skladebném rozměru 900 mm dopadá po stanovenou dobu sluneční záření na kritický bod. Další upřesňující požadavky jsou uvedeny ve výše zmiňované normě.

2.2.3 Hluk

Dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. jsou stanoveny hygienické limity hluku a vibrací pro denní a noční dobu v chráněných vnitřních prostorech – v našem případě v obytných místnostech následovně:

- Ekvivalentní hladina akustického tlaku = základní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T} = 40 \text{ dB}$ + korekce (uvedená v tabulce 2.6)
- Maximální hladina akustického tlaku = základní maximální hladina akustického tlaku $L_{Amax} = 40 \text{ dB} + \text{korekce}$ (uvedená v tabulce 2.6)

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Obytné místnosti	Doba mezi 6:00 a 22:00	0
	Doba mezi 22:00 a 6:00	-10

Tabulka 2.6: korekce

Dle normy ČSN 73 0532 jsou stanoveny maximální přípustné hladiny akustického tlaku A v obytných místnostech způsobené činnostmi technických zařízení v budově mimo vlastní byt tabulce 2.7:

Zdroj hluku TZB	Maximální hladina akustického tlaku A, v dB
Sanitární instalace (rozvody vody a kanalizace) Vzduchotechnika a klimatizace (zařízení VZT) Topení a ohřev vody (kotelny, výměňkové stanice) Výtahy, domovní dveře a garážová vrata Další trvale instalovaná zařízení technického vybavení budovy (tepelná čerpadla apod.)	$L_{Amax} \leq 30 \text{ dB}^a$
^a V případě prokázání tónové složky se tato hodnota dále snižuje o 5 dB. Měření a hodnocení hladin hluku včetně nejistot měření se provádí v souladu s Metodickým návodem MZČR a měřicími normami, např. ČSN EN ISO 16032, popř. ČSN ISO 1996-2.	

Tabulka 2.7: maximální hladina akustického tlaku v místnostech způsobené TZB

2.2.4 Kvalita vzduchu

Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu jsou též uvedeny ve vyhlášce č. 6/2003 Sb.:

Ukazatelé	Jednotka	Limit
Oxid dusičitý	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Frakce prachu PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150
Frakce prachu PM2,5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80
Oxid uhelnatý	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5000
Ozón	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Azbestová a minerální vlákna	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1000
Amoniak	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200
Benzen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Toluen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	300
Suma xylenu	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200
Styren	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	40
Etylbenzen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200
Formaldehyd	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	60
Trichloretylen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150
Tetrachloretylen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150

Tabulka 2.8: limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu

Dalšími požadavky z vyhlášky č. 6/2003 Sb. na kvalitu vzduchu jsou:

- Není přípustné, aby byl v obytných místnostech na zdech a površích viditelný nárůst plísně.
- Koncentrace bakterií nesmí překročit 500 kolonie tvořících jednotek na 1 m³ vzduchu (dále jen „KTJ/m³ vzduchu“).
- Koncentrace plísní nesmí překročit 500 KTJ/m³ vzduchu.
- Horní limit pro 1 gram prachu vysátého z lůžek, čalouněného nábytku a koberce je 2 mg alergenů roztočů nebo 0,6 mg guaninu.

2.3 Požadavky na větrání bytů

Jedním z klíčových opatření, která pomáhají zajistit dodržení stanovených limitů, je řádné větrání. Díky větrání jsou škodliviny odstraňovány z vnitřního prostředí budov, ať už jsou odvedeny ven, nebo je jejich koncentrace alespoň snížena na přípustnou úroveň, která neohrožuje zdraví lidí. I když je větrání energeticky náročným opatřením, a v době současného důrazu na úsporu energie se hledají různé způsoby, jak snížit energetickou náročnost budov, je nezbytné si uvědomit, že hygienické a provozní požadavky, včetně větrání, musí vždy převládat nad energetickými cíli. [12]

Při návrhu bytového větrání dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. je za jediného ukazatele kvality vnitřního prostředí považován oxid uhličitý CO₂. Jeho koncentrace v interiéru nesmí překročit hodnotu 1500 ppm. Požadavky jsou v této vyhlášce popisovány velmi obecně, proto budou dále rozepsány konkrétnější hodnoty uvedené v národní příloze ČSN EN 15665/Z1.

2.3.1 Přívod vzduchu

Množství venkovního vzduchu, které je třeba do místnosti přivádět, je vyjádřeno intenzitou větrání, což je poměr objemového průtoku čerstvého venkovního vzduchu k objemu vnitřního větraného prostoru.

Norma ČSN EN 15665/Z1 stanovuje minimální hodnotu intenzity větrání na 0,3 h⁻¹ v obytných prostorech (jako jsou obývací pokoje a ložnice). Avšak pro dosažení vyšší kvality vnitřního prostředí se doporučuje navrhovat intenzitu větrání v rozmezí 0,5 h⁻¹ až 0,7 h⁻¹. V situacích, kdy je budova dlouhodobě nevyužívána, lze větrat prostor s intenzitou pouze 0,1 h⁻¹.

Dalším kritériem pro dimenzování přívodního vzduchu je minimální dávka čerstvého venkovního vzduchu připadající na jednu osobu, která činí 15 m³/(h*os). Toto kritérium doplňuje návrh s cílem zajistit splnění minimální intenzity větrání. Hodnoty jsou přehledně uvedeny v tabulce 2.9.

2.3.2 Odvod vzduchu

Odvod znečištěného vzduchu v bytových domech se obvykle provádí z kuchyně a hygienických zázemí, jako jsou koupelny a toalety. Při trvalém větrání je množství odváděného vzduchu stejné jako množství přiváděného vzduchu, které splňuje stanovené požadavky na intenzitu větrání. Norma pro nárazové větrání stanovuje specifické hodnoty odsávaného vzduchu z hygienických zázemí a kuchyní, které jsou uvedeny v tabulce 2.9.

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h*os)]	Kuchyně [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tabulka 2.9: požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1

2.4 Požadavky na větrání garáží v bytovém domě

V garážovém prostoru se obvykle projektují tři způsoby větrání:

- Provozní větrání, které má za úkol udržet koncentraci škodlivin v garážovém ovzduší pod přípustnými hodnotami.
- Havarijní větrání, jehož cílem je ředění hořlavých látek s rizikem výbuchu v garáži, aby nedosáhly jejich dolní meze výbušnosti.
- Požární větrání, které odvádí teplo a kouř z garáže během požáru. [13]

Provozní a požární větrání může být navrženo jako přirozené nebo nucené, ovšem havarijní větrání se navrhuje pouze jako nucené. Konkrétní požadavky jsou uvedeny v normě ČSN 73 6058.

Jak již bylo zmíněno výše provozní větrání může být přirozené, kdy se navrhuje velikost větracích otvorů, nebo nucené, kdy se určuje množství venkovního větracího vzduchu.

- Přirozené větrání hromadných garáží se navrhuje pouze pro nadzemní garáže s pohybem vozidel vlastní silou a vhodnou stavební dispozicí. Velikost větracích otvorů závisí na počtu stání a typu vozidla. Pro osobní automobily je volná plocha větracích otvorů pro jedno stání minimálně 0,025 m²/stání.
- Nucené větrání hromadných podzemních garáží se navrhuje jako podtlakové. Rozhodujícím plynem pro dimenzování nuceného větrání je oxid uhelnatý CO, jehož nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace je určena pro 30minutový pobyt osob v garáži hodnotou 50 ppm. Výchozími údaji pro návrh je zejména stavební uspořádání, lokalita

umístění, provozní podmínky, skupina vozidel, trasy průjezdu vozidel atd. Podrobný výpočet je uveden dále v kapitole 6 - vzduchotechnika podzemních garáží.

Havarijní větrání se navrhuje pro vyhrazená parkovací stání pro vozidla na plynná paliva. V momentě detekce úniku plynného paliva, je spuštěno havarijní větrání, které musí zajistit minimálně šestinásobnou výměnu venkovního vzduchu za hodinu.

Koncepce požárního větrání garáží spočívá v odvádění horkých spalin z hoření, které se hromadí pod stropem, a zajišťování přívodu venkovního vzduchu do dolní části garáže nad podlahou. Při návrhu je nezbytné zachovat správně vyvážený hmotnostní poměr mezi odváděným kouřem a přiváděným vzduchem, protože přiváděný vzduch nahrazuje kouř odvedený z prostoru. Větrací systém musí být zároveň podtlakový, aby se zabránilo šíření kouře do dalších částí objektu. Požární větrání garáží může být realizováno přirozeným, nuceným nebo kombinovaným způsobem. Dvě nejběžnější systémová řešení používaná v projektové praxi jsou [14]:

- Přirozený odvod kouře a tepla s přirozeným přívodem vzduchu.
- Nucený odvod kouře a tepla s přirozeným přívodem vzduchu.

3 Popis objektu

Při tvorbě modelu koncentrace škodlivin a návrhu vzduchotechnického systému se tato práce nadále zabývá konkrétním bytovým domem, který bude podrobněji popsán v následujících podkapitolách.

3.1 Základní informace o objektu

Objekt se nachází v městské části Praha 10 – ve staré části Strašnic s převládající bytovou zástavbou v zahradách. Z jižní strany pozemek přiléhá k ulici K Červenému dvoru a Pod Třebešínem.

Jedná se o bytový dům s pěti nadzemními podlažními a jedním podzemním. Podzemní a první tři nadzemní podlaží mají stejný půdorys o ploše 538 m². Čtvrté patro má půdorysnou plochu menší a to 321 m² a poslední páté patro je nejmenší s půdorysnou plochou 240 m². Jednotlivé části objektu jsou zastřešeny plochými jednoplašťovými střechami s klasickým pořadím vrstev.

Výstavba tohoto bytového domu byla dokončena v roce 2019.



Obrázek 3.1: pohled na dokončenou výstavbu bytového domu

3.2 Konstrukční řešení

Objekt je založen na plošných základech – suterénní konstrukce (zákl. desky + obvodové stěny) jsou provedeny jako „bílá vana“ z vodotěsného železobetonu. Nosný systém je kombinovaný – tvoří ho příčné stěny a obvodový plášť. Nosné stěny v 1.NP jsou monolitické železobetonové tl. 200–250 mm. Ostatní vislé nosné konstrukce tzn. nosné stěny od 2.NP včetně jsou navrženy zděné. Vodorovné nosné konstrukce jsou kompletně železobetonové monolitické tl. 200, 250 a 260 mm. Stropní konstrukce přecházejí v balkonové desky nebo lodžie pomocí Iso-nosníků. Schodiště je železobetonové z prefabrikovaných dílců.

3.3 Dispoziční řešení

Bytový dům dohromady disponuje 15 bytovými jednotkami o předpokládané kapacitě 65 osob. V podzemním podlaží se nachází garáž, místnost technologie, sklepy a kočárkárna/kolárna. Do 1.NP vedou vstupní dveře bytového domu a dále jsou zde 4 bytové jednotky. 2.NP a 3.NP je řešeno dispozičně stejně a také jsou zde 4 byty. 3. NP je o něco menší a nalézají se zde pouze 2 byty, jejichž dispozice jsou ovšem větší než bytů v 1.NP až 3.NP. V posledním 5.NP je pouze jeden velký byt 6kk.



Obrázek 3.2: jižní pohled na bytový dům

4 Modelování průběhu koncentrace CO₂ v bytech

Předmětem této části je zobrazení průběhu koncentrace CO₂ ve 3 modelových bytech pomocí programu CONTAM. Průběh závisí především na přítomnosti osob v místnostech a objemu větracího vzduchu, který byl navržen z doporučených hodnot stanovených normou.

4.1 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý CO₂ je plyn bez chuti, barvy a zápachu. V zemské atmosféře se běžně vyskytuje v koncentraci 420 ppm (částic na milion). [15] Vlivem přítomnosti osob v obytných místnostech se jeho množství zvyšuje a působí negativně na lidský organismus, proto je nezbytné jeho koncentraci v prostoru snižovat pomocí vhodně navrženého větrání. Konkrétní hodnoty koncentrace CO₂ a jeho účinky jsou zobrazeny v následující tabulce [16]:

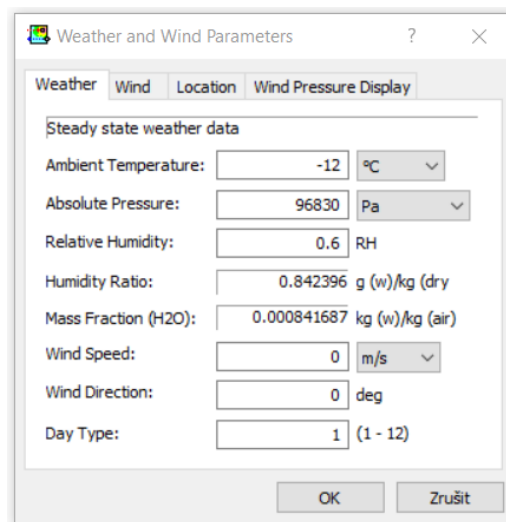
Koncentrace CO ₂ [ppm]	Účinky
420	Koncentrace ve venkovním ovzduší
700	Koncentrace stále vnímaná jako čerstvý vzduch
1 000	Doporučená nejvyšší hodnota pro vnitřní prostory
1 500	Maximální hodnota pro obytné prostory stanovená vyhláškou
> 2 000	Nastávají příznaky únavy, snižování koncentrace, bolesti hlavy
5 000	Maximální krátkodobá bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5 000	Nevolnost a zrychlený tep
> 15 000	Dýchací potíže, při dlouhodobé expozici poškozené zdraví
> 25 000	Možná ztráta vědomí a smrt

Tabulka 4.1: účinky CO₂ na lidský organismus

4.2 Popis modelu

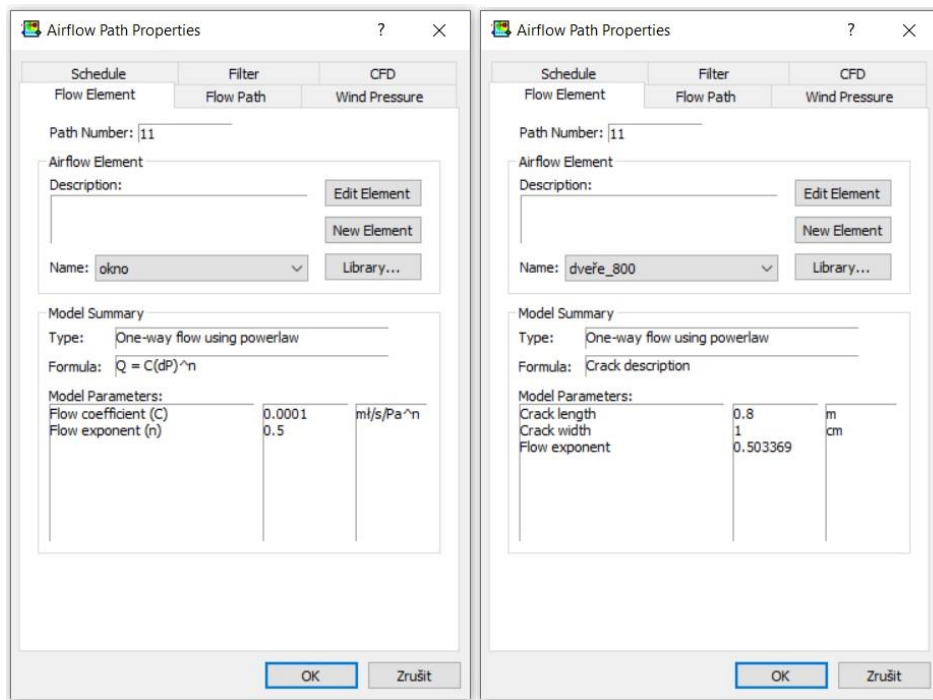
Pro provedení simulace v programu byly vybrány 3 modelové byty lišící se jejich velikostí. Každý z bytů je zadán jako více zónový model, kde je každá zóna definována svým objemem a vnitřní teplotou. Konkrétní geometrie a hodnoty pro každý z bytů jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

Dále je v modelu potřeba definovat vnější prostředí – teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkostí 60 % a absolutním tlakem 968,3 hPa viz obrázek 4.1. Všechny hodnoty byly získány z Českého hydrometeorologického ústavu. [17]



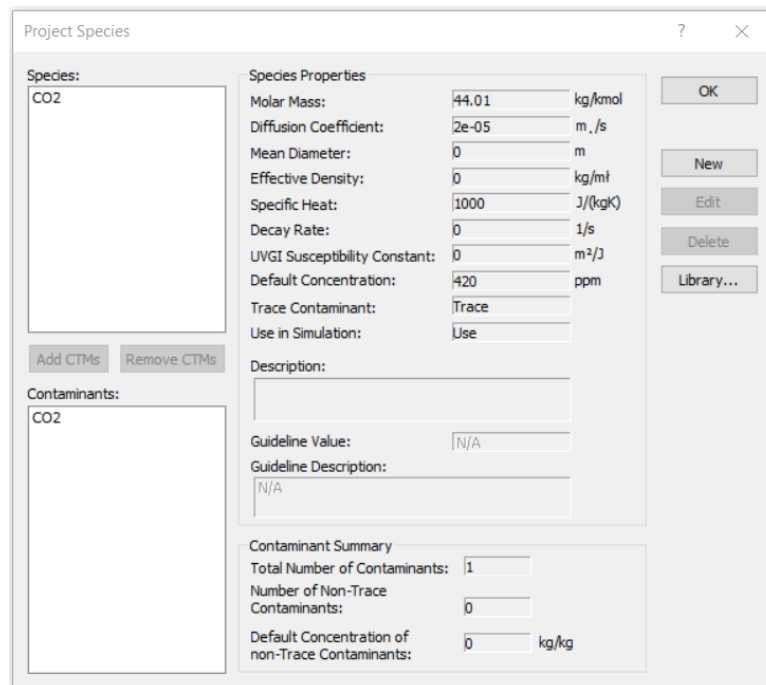
Obrázek 4.1: definice vnějšího prostředí

Propojení mezi zónami a exteriérem se modeluje prostřednictvím otvorů, které znázorňují okna a dveře viz obrázek 4.2. Okno je zadáno pomocí průtokového koeficientu, který je zvolen pouze „symbolicky“ velice malý, protože program potřebuje mít definováno propojení s vnějším prostředím. Dveře jsou popsány přímo rozměry mezery pode dveřmi, velikost mezery je závislá na šířce dveří.



Obrázek 4.2: definice oken a dveří

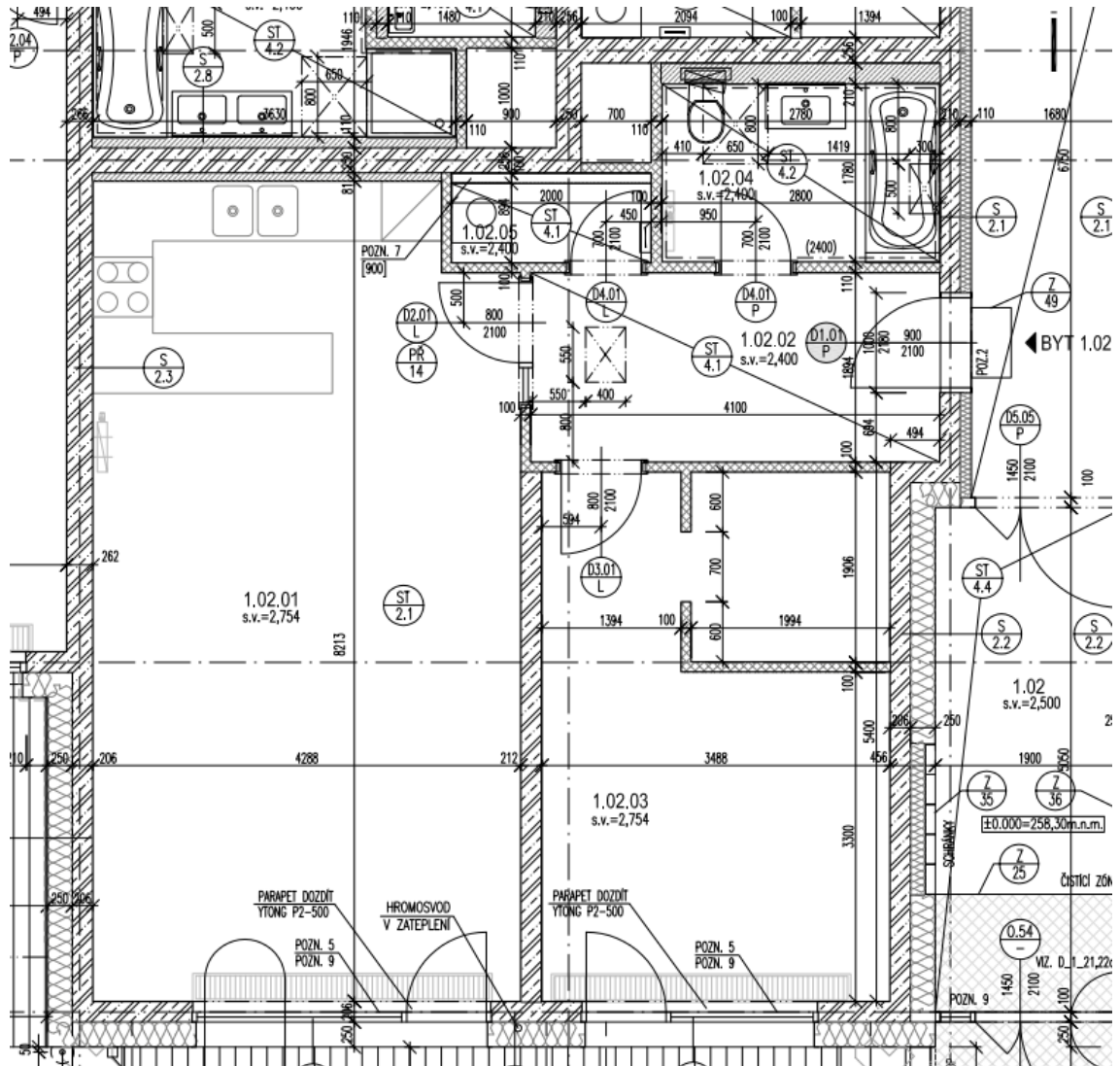
Aby mohly být správně vykresleny průběhy koncentrace CO_2 , je potřeba nejprve definovat samotnou škodlivinu. Ta je zadána pomocí její molární hmotnosti 44,01 kg/kmol a koncentrace ve vnějším prostředí 420 ppm viz obrázek 4.3.



Obrázek 4.3: definice škodliviny CO_2

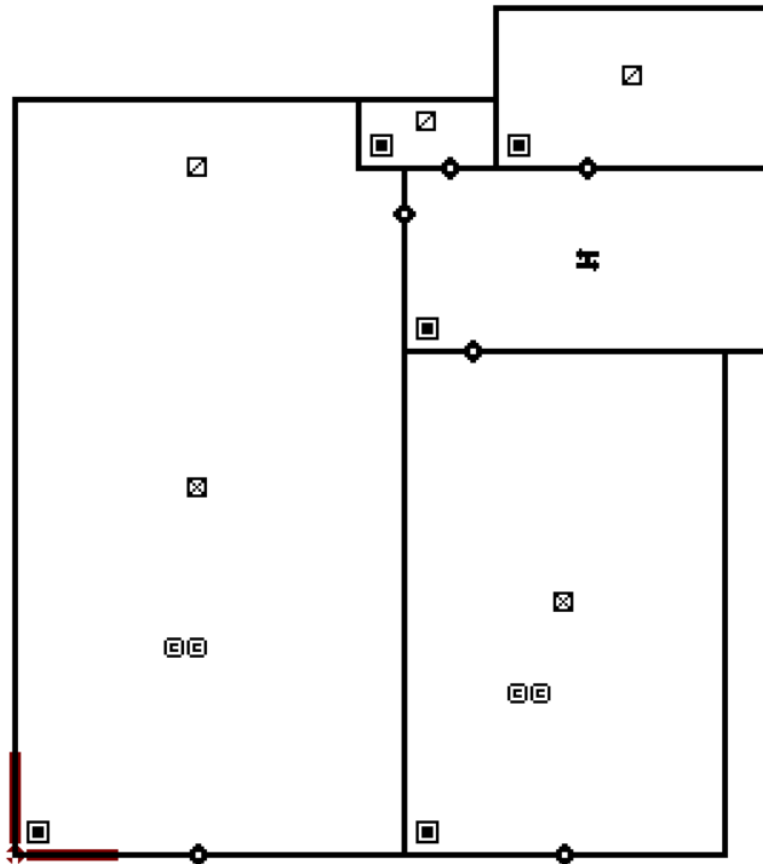
4.2.1 Byt 1.02

Jedná se o byt 2kk s jedním obývacím pokojem a ložnicí v 1. NP.



Obrázek 4.4: dispozice bytu 1.02

Každá místnost je do programu zadána jako jedna zóna definovaná objemem a vnitřní teplotou viz obrázek 4.5. Zóny jsou mezi sebou provázány otvory.



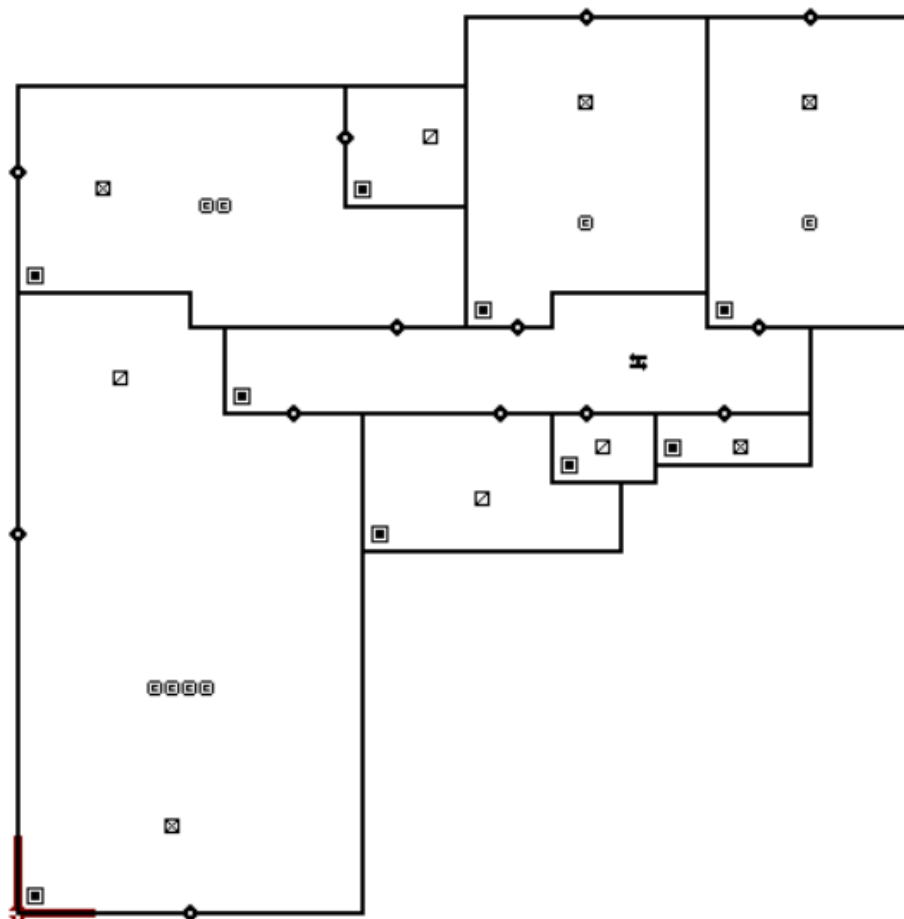
Obrázek 4.5: geometrie bytu 1.02 v CONTAMu

V následující tabulce číslo 4.2 je uvedeno číslo místnosti, její účel, objem, vnitřní teplota, objem větracího vzduchu přírodního případně odvodního a pokud se v místnosti nachází zdroj škodliviny CO₂. Všechny tyto hodnoty jsou pro každou zónu v programu definovány.

Číslo	Účel	V [m ³]	T [°C]	Přívod [m ³ /h]	Odvod [m ³ /h]	Zdroj CO ₂
1.02.01	Obývací pokoj	95	20	50	52	2 x člověk
1.02.02	Předsíň	21	15	-	-	-
1.02.03	Ložnice	22	20	50	-	-
1.02.04	Koupelna + WC	14	24	-	31	-
1.02.05	Komora	4	20	-	17	-

Tabulka 4.2: vlastnosti jednotlivých zón

Stejně jako u předchozího bytu je každá místnost do programu zadána jako jedna zóna definovaná objemem a vnitřní teplotou a jednotlivé zóny jsou mezi sebou propojeny otvory viz obrázek 4.7.



Obrázek 4.7: geometrie bytu 2.01 v CONTAMu

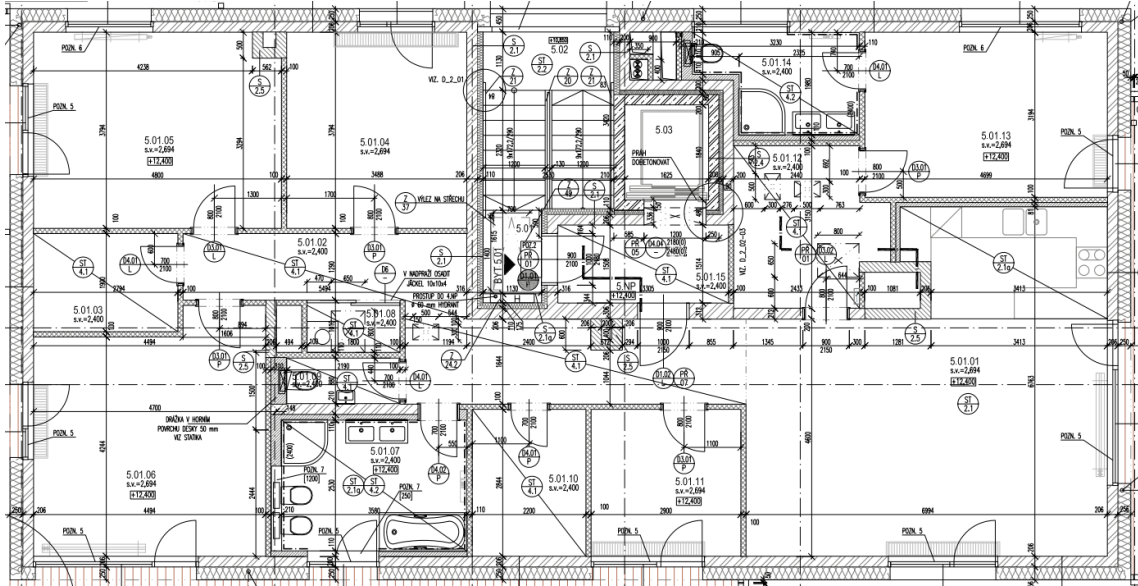
V následující tabulce číslo 4.3 je opět uvedeno číslo místnosti, její účel, objem, vnitřní teplota, objem větracího vzduchu přírodního případně odvodního a přítomnost zdrojů škodliviny CO₂. Všechny tyto hodnoty jsou pro každou zónu v programu definovány.

Číslo	Účel	V [m ³]	T [°C]	Přívod [m ³ /h]	Odvod [m ³ /h]	Zdroj CO ₂
2.01.01	Obývací pokoj	115	20	100	89	4 x člověk
2.01.02	Předsíň	32	15	-	-	-
2.01.03	Pokoj	38	20	25	-	1 x člověk
2.01.04	Pokoj	38	20	25	-	1 x člověk
2.01.05	Ložnice	52	20	50	-	2 x člověk
2.01.06	Koupelna	8	24	-	53	-
2.01.07	Komora	4	20	25	-	-
2.01.08	WC	4	20	-	30	-
2.01.09	Koupelna	17	24	-	53	-

Tabulka 4.3: vlastnosti jednotlivých zón

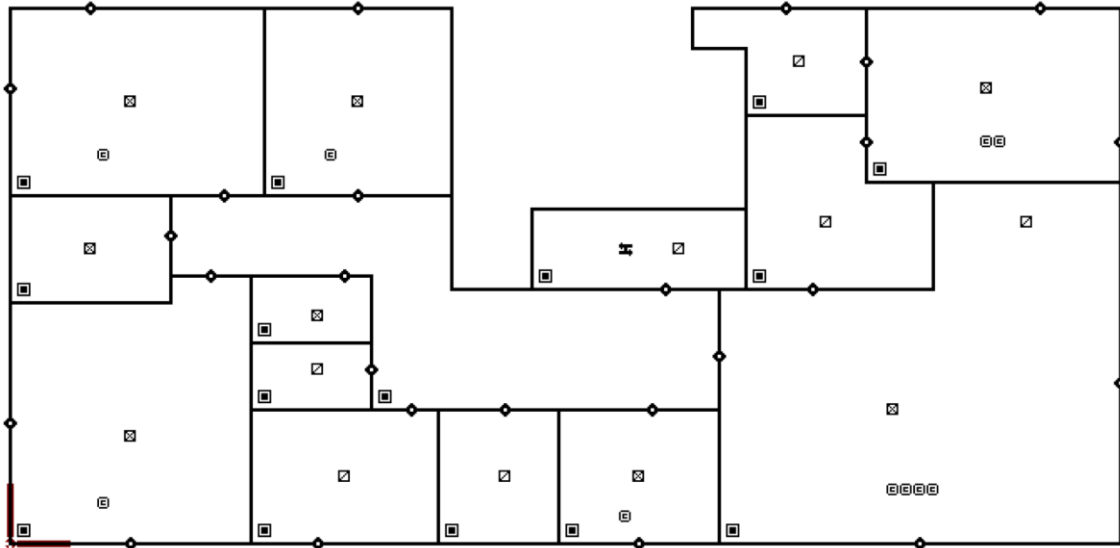
4.2.3 Byt 5.01

Jako poslední byt pro simulaci byl zvolen největší byt 6kk v bytovém domě, který se nachází v 5. NP a má jeden obývací pokoj, jednu ložnici, tři pokoje a pracovnu.



Obrázek 4.8: dispozice bytu 5.01

Stejně jako u předchozích dvou bytů je každá místnost do programu zadána jako jedna zóna definovaná objemem a vnitřní teplotou a jednotlivé zóny jsou mezi sebou propojeny otvory viz obrázek 4.9.



Obrázek 4.9: geometrie bytu 5.01 v CONTAMu

V následující tabulce číslo 4.4 je opět uvedeno číslo místnosti, její účel, objem, vnitřní teplota, objem větracího vzduchu přírodního případně odvodního a přítomnost zdrojů škodliviny CO₂. Všechny tyto hodnoty jsou pro každou zónu v programu definovány.

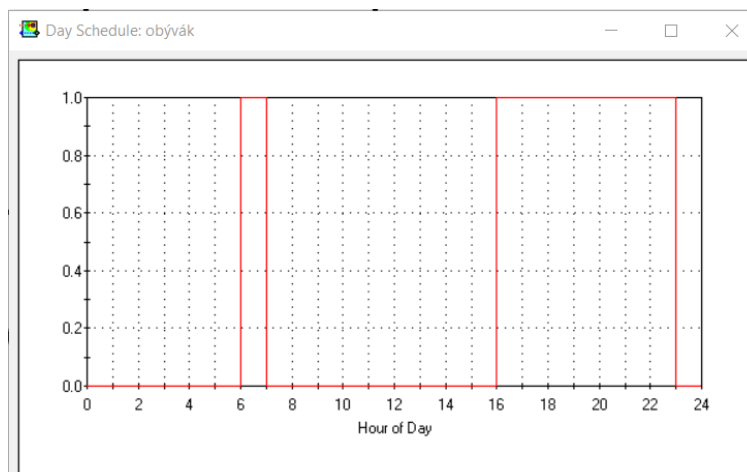
Číslo	Účel	V [m ³]	T [°C]	Přívod [m ³ /h]	Odvod [m ³ /h]	Zdroj CO ₂
5.01.01	Obývací pokoj	110	20	100	102	4 x člověk
5.01.02	Chodba	51	15	-	-	-
5.01.03	Šatna	15	20	25	-	-
5.01.04	Pokoj	36	20	25	-	1 x člověk
5.01.05	Pokoj	49	20	25	-	1 x člověk
5.01.06	Pokoj	55	20	25	-	1 x člověk
5.01.07	Koupelna	25	24	-	61	-
5.01.08	Komora	5	20	25	-	-
5.01.09	WC	5	20	-	34	-
5.01.10	Šatna	17	20	-	14	-
5.01.11	Pracovna	23	20	25	-	1 x člověk
5.01.12	Šatna	23	20	-	14	-
5.01.13	Ložnice	41	20	50	-	2 x člověk
5.01.14	Koupelna	29	24	-	61	-
5.01.15	Předsíň	14	15	-	14	-

Tabulka 4.4: vlastnosti jednotlivých zón

4.3 Rozvrh přítomnosti osob

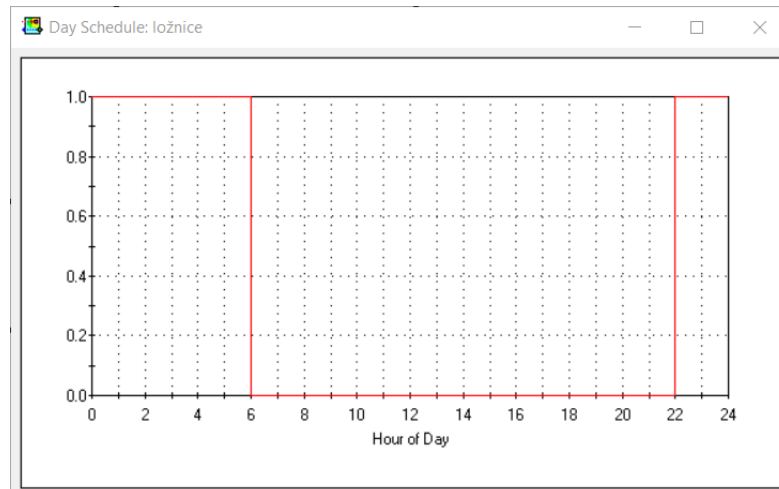
Jak již bylo řečeno průběh CO₂ závisí na době působení škodliviny, což v této simulaci znamená na přítomnosti osob v daných místnostech. Model počítá s tím, že osoby nebudou v bytě přítomny v čase od 7:00 do 16:00, kdy budou buď v zaměstnání případně ve škole. Přítomnost osob v jednotlivých místnostech je rozdílná podle účelu daných místností a dále je konkrétněji popsána.

V obývacím pokoji lidé tráví čas ráno před prací v čase od 6:00 do 7:00, jelikož je součástí i kuchyňský kout, kde si připravují snídani a poté od 16:00 do 23:00, kdy se vrací z práce.



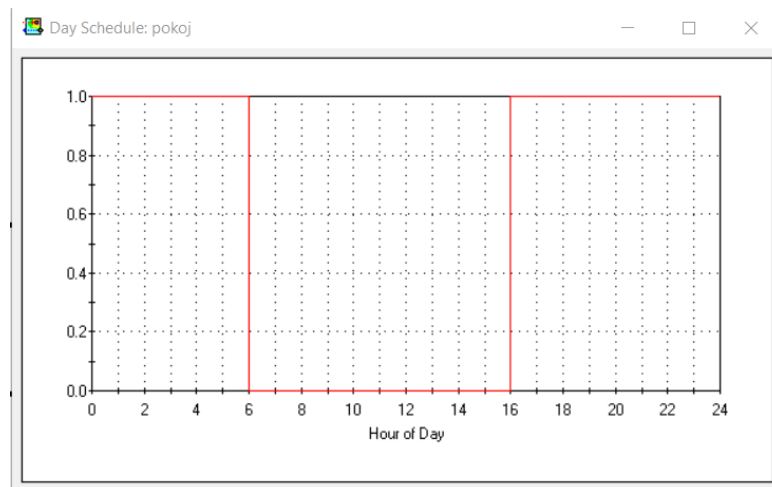
Obrázek 4.10: rozvrh přítomnosti osob v obývacím pokoji

Do ložnice lidé chodí v čase od 22:00 do 6:00 za účelem spánku, díky kterému mohou být produktivní i následující den.



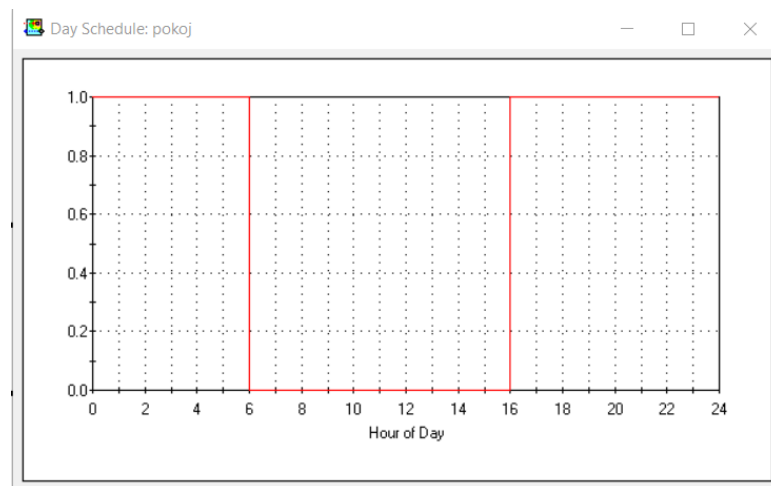
Obrázek 4.11: rozvrh přítomnosti osob v ložnici

V pokoji je uvažováno s přítomností lidí od 16:00, kdy děti přicházejí ze školy a volnočasových aktivit až do 6:00 kdy opět do školy vstávají.



Obrázek 4.12: rozvrh přítomnosti osob v pokoji

Poslední rozdílný rozvrh je v pracovně, kde je uvažována přítomnost osob od 16:00 do 20:00.



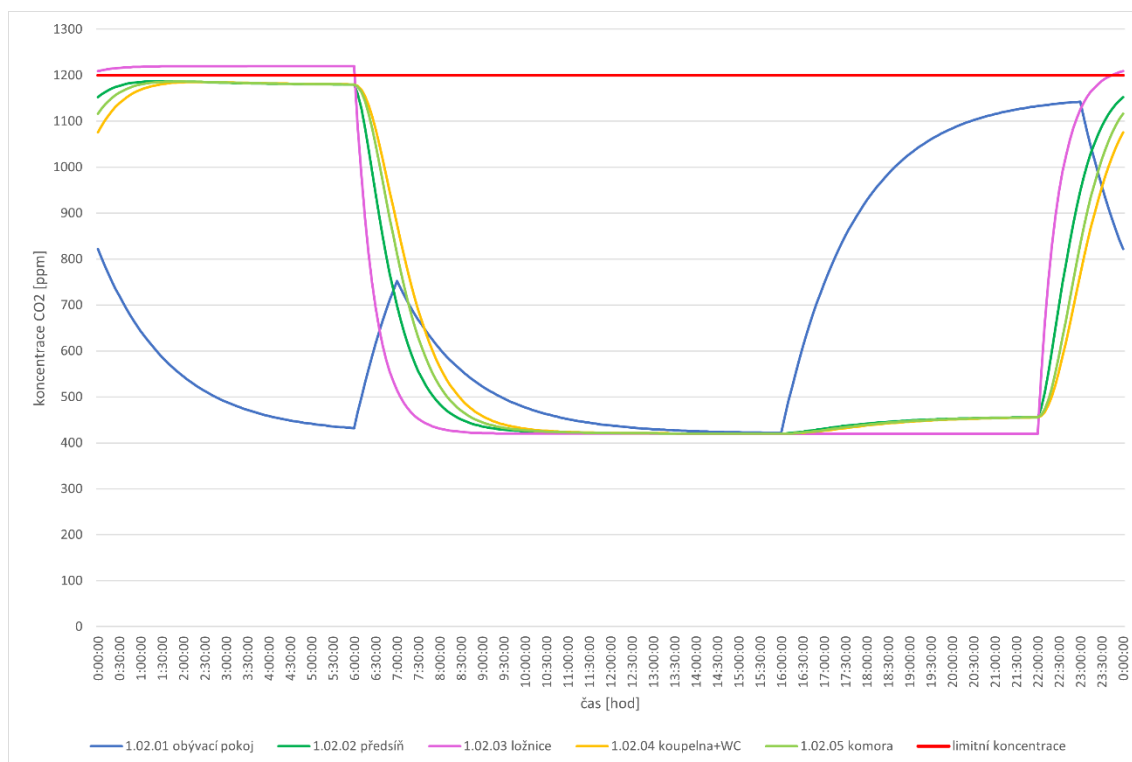
Obrázek 4.13: rozvrh přítomnosti osob v pracovně

V každé z místností je uvažováno s „nejhorším stavem“ – tedy s maximální pravděpodobnou dobou užívání. Avšak ve skutečnosti se rozvrh bude mírně lišit a budou vycházet nižší a přívětivější nárůsty koncentrace CO₂.

4.4 Výsledky simulace

Po provedení simulace byly vytvořeny grafy průběhu koncentrace CO₂ během jednoho dne v každém z bytů. Ty jsou podrobně zobrazeny v následujících podkapitolách.

4.4.1 Byt 1.02



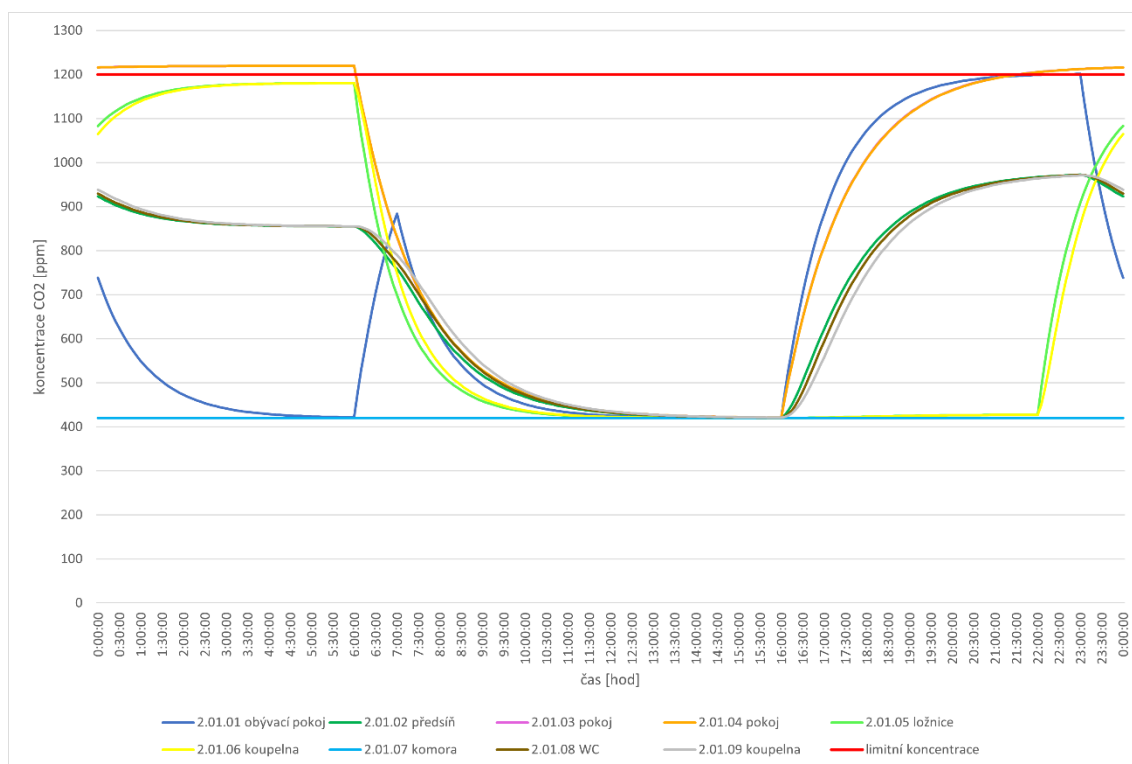
Obrázek 4.14: průběh koncentrace CO₂ během dne v bytě 1.02

Z grafu je na první pohled patrné, že i při dodržení doporučeného množství přiváděného vzduchu na osobu 25 m³/h je koncentrace CO₂ v ložnici od půlnoci do šesti ráno mírně nad limitní hodnotou 1200 ppm.

Ve zbylých třech místnostech – předsíň, komora a koupelna + WC se koncentrace CO₂ drží trvale pod limitní hodnotou a její průběh je velice podobný. To je způsobeno tím, že se v ani jedné z místností nenachází zdroj CO₂ a zároveň je odtud znečištěný vzduch odsáván, nebo je tudy alespoň převáděn.

Na křivce obývacího pokoje je vidět kdy do jednotlivých místností lidé přicházejí – křivky razantně stoupají, a kdy lidé odcházejí – křivky naopak rychle klesají. I zde koncentrace vyhovuje limitu.

4.4.2 Byt 2.01



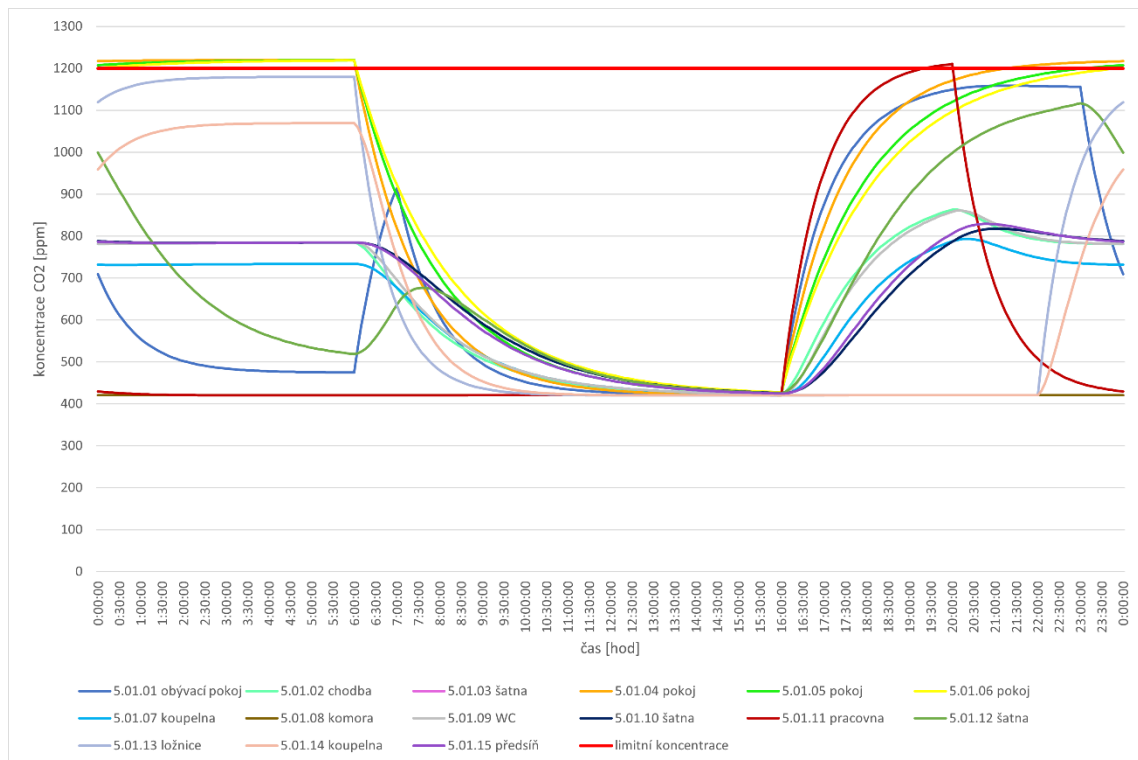
Obrázek 4.15: průběh koncentrace CO₂ během dne v bytě 2.01

V grafu lze vidět, že limitní koncentrace 1200 ppm je překročena v pokoji 2.01.04 v čase od 21:00 do 6:00. Úplně stejná situace nastává i v pokoji 2.01.03, proto jeho křivka není v grafu viditelná. Kolem 23. hodiny je též koncentrace překročena v obývacím pokoji, ovšem velmi nepatrně.

Naopak v komoře lze vidět konstantní hodnotu koncentrace CO₂ během celého dne, která je ustálena na 420 ppm (hodnota exteriérového vzduchu). To je způsobeno tím, že v místnosti se nenachází žádný zdroj CO₂ a zároveň je sem přiváděn pouze čerstvý vzduch a neproudí tudy žádný znečištěný z ostatních místností.

V ostatních místnostech je koncentrace opět proměnlivá v závislosti na přítomnosti osob, jakožto zdrojů škodliviny CO₂. Avšak důležitým faktem je nepřekročení hranice 1200 ppm.

4.4.3 Byt 5.01



Obrázek 4.16: průběh koncentrace CO₂ během dne v bytě 5.01

V bytě 5.01, který je největší, jsou průběhy v místnostech velmi podobné jako u předchozích bytů z důvodu stejných rozvrhů přítomnosti osob. I v tomto bytě nastává stejný případ jako v předchozím bytě 2.01, a sice v komoře je konstantní koncentrace CO₂ 420 ppm z důvodu přívodu čerstvého vzduchu a nepřítomnosti zdroje škodliviny. Podle toho, jak křivka v grafu některé z pobytových místností roste či klesá, lze určit, zda je či není v místnosti přítomný zdroj škodliviny CO₂ – člověk.

Limitní koncentrace 1200 ppm byla překročena v čase 21:00 – 6:00 v pokoji 5.01.04, 23:00 – 6:00 v pokoji 5.01.05 a pokoji 5.01.06 a nepatrně mezi 19:00 a 20:00 v pracovně.

5 Modelování průběhu množství vlhkosti v bytech

Předmětem této části je modelování měrné vlhkosti ve 3 modelových bytech z předešlé kapitoly pomocí programu CONTAM. Průběh množství vlhkosti závisí především na zdrojích vlhkosti v jednotlivých místnostech a objemu větracího vzduchu, který byl navržen z doporučených hodnot stanovených normou.

5.1 Vlhkost vzduchu

Vzduch obsahující vodní páru se označuje jako vlhký vzduch. Jinak lze říct, že vzduch je nasycen vodní párou. Množství vodní páry, které může vzduch obsahovat, se mění v závislosti na teplotě. [18]

Vlhkost se nejčastěji vyjadřuje pomocí relativní vlhkosti. Jde o poměr mezi skutečným obsahem vodních par a maximálně možným obsahem vodních par při dané teplotě. Vyjadřuje se v procentech. Relativní vlhkost suchého vzduchu činí 0 %, zatímco vzduch plně nasycený vodní parou dosahuje relativní vlhkosti 100 %. [18]

V rámci relativní vlhkosti je klíčové zmínit i rosný bod. Tento bod představuje teplotu, při níž je vzduch plně nasycen vodní parou, dosahující relativní vlhkosti 100 %. V takovém scénáři dochází ke kondenzaci nadbytečné vlhkosti, což může vést k vytvoření mlhy nebo kondenzaci vodní páry na površích. [19]

V tomto případě je důležité zmínit i další možnost vyjádření vlhkosti, a to měrnou vlhkost. Měrná vlhkost vzduchu je skutečné množství vodní páry ve vzduchu při dané teplotě. Vyjadřuje se v gramech vodní páry v m³ vzduchu (g/m³) nebo v jednotkách tlaku vodní páry v pascálech. [20]

Vhodná vlhkost vzduchu v bytě je závislá na ročním období – v zimě je daleko vyšší než v létě. V zimních měsících by se měla pohybovat v rozmezí 45 až 60 %, naopak v letních měsících o něco méně, a to v rozmezí 40 až 55 %. Nízká vlhkost vzduchu není prospěšná především pro lidské zdraví, zvyšuje riziko infekce viry nebo bakteriemi z ovzduší, kteří mohou způsobit rýmu a kašel. Vlhkost se dá zvýšit například sušením prádla, avšak účinnějším způsobem je použití zvlhčovače vzduchu. Na druhou stranu vysoká vlhkost podporuje růst plísní a roztočů a zvyšuje riziko koroze, lze se ji zbavit pomocí správného větrání. [21]

5.2 Okrajové podmínky

Pro správné definování vnějšího prostředí a působící škodliviny v interiéru je nejprve potřeba zjistit vnější relativní vlhkost, ta je ovšem proměnlivá v průběhu roku v závislosti na venkovní teplotě a lokalitě. V následujících dvou tabulkách jsou proto uvedeny průměrné teploty a relativní vlhkosti pro každý měsíc za posledních 10 let v lokalitě Praha, Karlov. Hodnoty jsou následně pro potřebu této práce zprůměrovány. Všechny hodnoty jsou převzaty z portálu Českého hydrometeorologického ústavu [22].

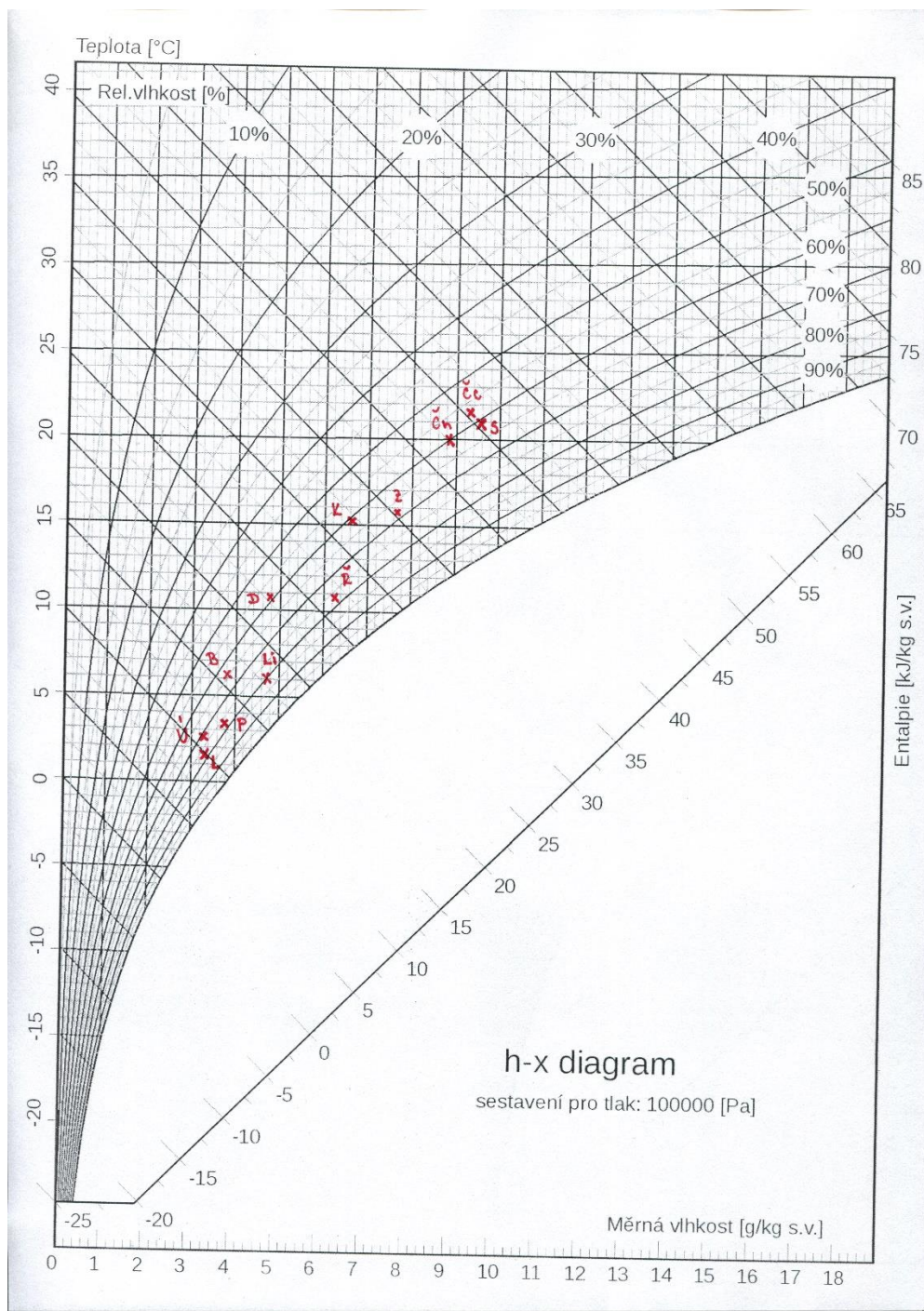
Průměrná teplota [°C]												
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2012	2,7	-2,4	8,5	11,0	17,6	20,3	21,6	21,9	15,7	9,2	6,5	1,4
2013	0,7	1,0	1,5	10,9	14,0	18,4	22,5	20,0	14,0	11,2	6,2	3,3
2014	2,4	4,6	8,7	12,4	13,9	18,5	21,7	17,7	15,8	11,5	7,0	3,3
2015	2,9	1,8	6,2	9,7	14,6	17,6	22,3	23,9	14,9	9,2	7,8	6,4
2016	1,0	4,7	5,3	9,8	15,8	19,6	20,9	19,5	18,3	9,1	4,0	1,7
2017	-3,0	3,3	8,5	9,1	16,4	20,7	20,9	21,0	13,8	11,7	5,8	2,9
2018	4,3	-1,0	2,9	14,9	18,8	19,8	22,9	23,2	16,9	11,9	5,8	3,7
2019	0,8	4,0	8,0	11,8	13,1	23,9	21,6	21,2	15,6	11,4	7,0	4,0
2020	2,8	6,2	6,3	12,2	13,6	18,6	20,8	21,5	16,7	10,9	5,6	3,6
2021	1,1	0,9	5,1	7,6	12,6	21,6	20,5	17,8	16,7	9,9	5,1	2,5
2022	2,4	5,1	5,8	8,5	17,0	21,5	21,2	21,8	14,3	12,5	5,6	2,5
průměr	1,6	2,6	6,1	10,7	15,2	20,0	21,5	20,9	15,7	10,8	6,0	3,2

Tabulka 5.1: průměrné teploty za posledních 10 let; Praha, Karlov

Relativní vlhkost [%]												
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2012	72	68	61	59	56	62	65	60	69	78	80	79
2013	79	78	67	64	72	67	56	64	73	75	80	81
2014	84	72	63	65	68	56	61	67	77	81	83	78
2015	77	72	64	59	59	60	50	52	62	75	74	80
2016	80	74	73	64	61	66	63	59	62	78	79	79
2017	77	73	64	65	59	54	62	60	71	73	76	72
2018	74	65	66	53	53	58	46	49	60	65	77	75
2019	73	65	62	53	63	52	54	66	67	77	81	76
2020	79	67	60	47	59	66	55	63	66	79	83	80
2021	81	79	67	57	61	57	65	70	68	71	81	81
2022	76	64	52	61	55	57	55	62	74	81	88	82
průměr	77	71	64	59	61	60	57	61	68	76	80	78

Tabulka 5.2: relativní vlhkosti za posledních 10 let; Praha, Karlov

Díky tomu, že je známá průměrná venkovní teplota a průměrná relativní vlhkost v každém měsíci, je možné tyto hodnoty zanést do Mollierova diagramu (obrázek 5.1) a zjistit tak měrnou vlhkost, která je potřeba pro zadání do programu CONTAM.



Obrázek 5.1: Mollierův diagram pro jednotlivé měsíce

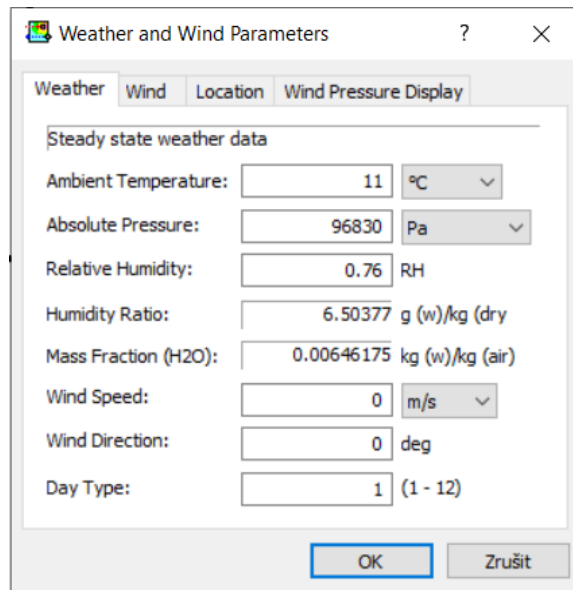
Z grafu je patrné, že vzduch v letních měsících má schopnost pojmout větší množství vodní páry než vzduch v zimních měsících. Pro modelování byl zvolen měsíc říjen, protože se zde předpokládají nejhorší výsledky.

Vzduch	Teplota T	Relativní vlhkost Φ	Měrná vlhkost x
Interiér	20 °C	50 %	7,2 g/kg
Exteriér	11 °C	76 %	6,1 g/kg

Tabulka 5.3: parametry interiérového a exteriérového vzduchu

5.2.1 Vnější prostředí

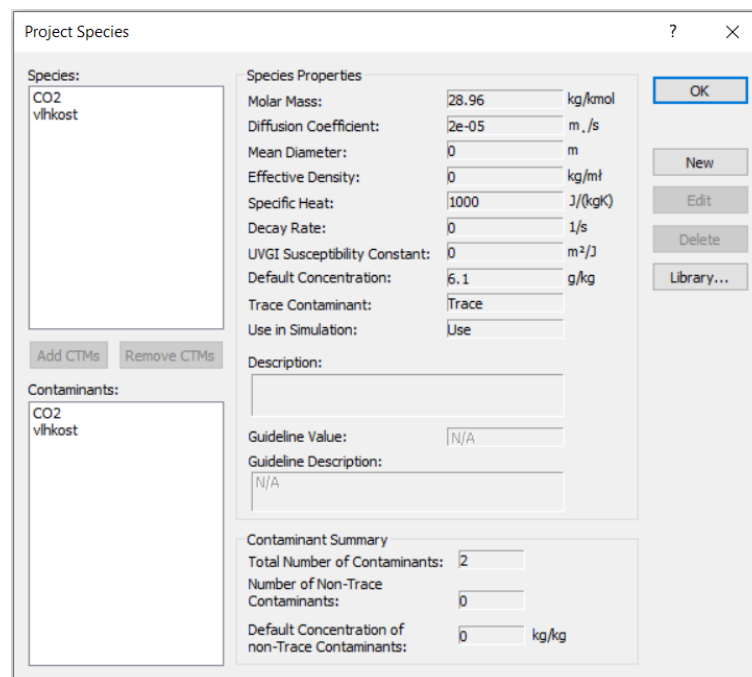
Nyní lze v programu definovat vnější prostředí – teplotou 11 °C, relativní vlhkostí 76 % a absolutním tlakem 968,3 hPa viz obrázek 5.2.



Obrázek 5.2: definice vnějšího prostředí

5.2.2 Škodliviny

V neposlední řadě je ještě potřeba definovat působící škodlivinu – v tomto případě vlhký vzduch. Ta je zadána pomocí její molární hmotnosti 28,96 g/mol a koncentrace ve vnějším vzduchu 6,1 g/kg viz obrázek 5.3.



Obrázek 5.3: definice vlhkého vzduchu

5.3 Popis modelu

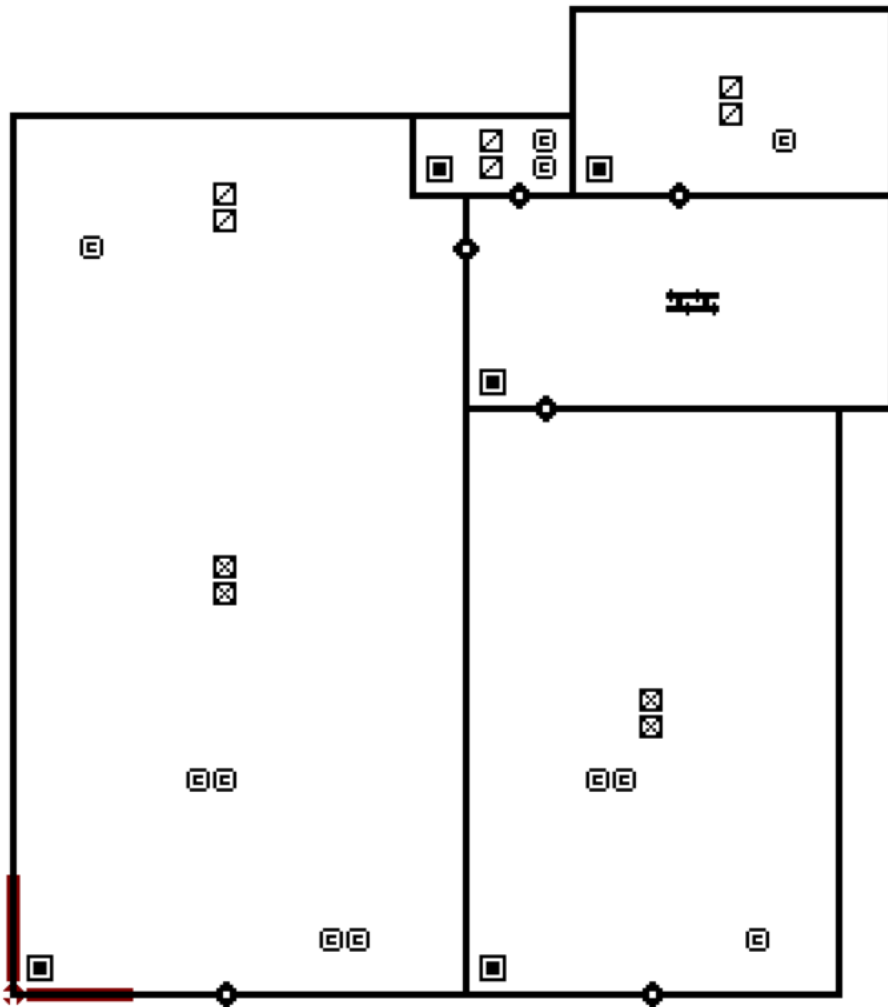
Simulace vlhkosti byla prováděna ve 3 stejných bytech, které byly použity i pro simulaci oxidu uhličitého. V následujících podkapitolách jsou zobrazeny modely jednotlivých bytů, které se od modelů bytů pro zobrazení koncentrace CO₂ odlišují pouze zdroji škodlivin a je zde zohledněno i nárazové větrání. To znamená, že každá místnost bytu je tvořena jako jedna zóna, která je definována teplotou, objemem a množstvím trvalého a nárazového větracího vzduchu. Jednotlivé zóny jsou pak mezi sebou provázány otvory, které jsou opět zadány stejně jako v předchozí kapitole.

Jak již bylo řečeno výše, v jednotlivých místnostech (zónách) modelu jsou různé zdroje produkce vodní páry a vycházejí z následující tabulky 5.4:

Zdroj	Produkce vodní páry [g.h ⁻¹]	Zdroj	Produkce vodní páry [g.h ⁻¹]
Člověk v klidu	30	Kuchyň při vaření	600 až 1500
Člověk při lehké činnosti	40-200	Kuchyň - provoz plynového sporáku (spalování plynu)	1500 g na 1 m ³ plynu
Člověk při středně těžké práci	120 až 300	Sušení prádla	50 až 500
Člověk při těžké práci	200 až 300	Praní prádla (v pračce)	300
Koupelna s vanou	cca 700	Žehlení prádla	200
Koupelna se sprchou	cca 2600	Pokojevé květiny	5 až 20
		Bazény (volné vodní plochy)	cca 40 g.m ⁻² .h ⁻¹

Tabulka 5.4: produkce vodní páry při určitých činnostech [23]

5.3.1 Byt 1.02



Obrázek 5.4: model bytu 1.02

Hodnoty uvedené v tabulce číslo 4.2 platí i pro tento model. Avšak jsou zde navíc přidány zdroje vlhkosti do jednotlivých místností takto:

Číslo	Účel	Produkce vlhkosti [g/h]					
		Člověk	Vaření	Sprchování	Praní	Sušení	Rostliny
1.02.01	Obývací pokoj	2 x 100	1500	-	-	-	2 x 20
1.02.02	Předsíň	-	-	-	-	-	-
1.02.03	Ložnice	2 x 100	-	-	-	-	20
1.02.04	Koupelna+WC	-	-	2600	-	-	-
1.02.05	Komora	-	-	-	300	500	-

Tabulka 5.5: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 1.02

5.3.2 Byt 2.01



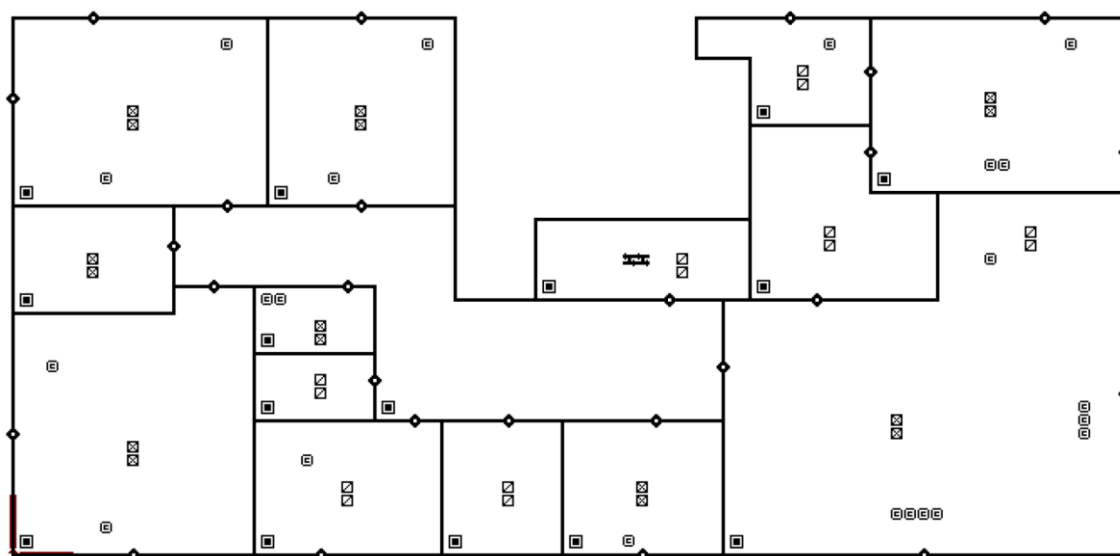
Obrázek 5.5: model bytu 2.01

Hodnoty uvedené v tabulce číslo 4.3 platí i pro tento model. Avšak jsou zde navíc přidány zdroje vlhkosti do jednotlivých místností takto:

Číslo	Účel	Produkce vlhkosti [g/h]					
		Člověk	Vaření	Sprchování	Praní	Sušení	Rostliny
2.01.01	Obývací pokoj	4 x 100	1500	-	-	-	3 x 20
2.01.02	Předsíň	-	-	-	-	-	-
2.01.03	Pokoj	100	-	-	-	-	20
2.01.04	Pokoj	100	-	-	-	-	20
2.01.05	Ložnice	2 x 100	-	-	-	-	20
2.01.06	Koupelna	-	-	2600	-	-	-
2.01.07	Komora	-	-	-	300	500	-
2.01.08	WC	-	-	-	-	-	-
2.01.09	Koupelna	-	-	2600	-	-	-

Tabulka 5.6: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 2.01

5.3.3 Byt 5.01



Obrázek 5.6: model bytu 5.01

Hodnoty uvedené v tabulce číslo 4.4 platí i pro tento model. Avšak jsou zde navíc přidány zdroje vlhkosti do jednotlivých místností takto:

Číslo	Účel	Produkce vlhkosti [g/h]					
		Člověk	Vaření	Sprchování	Praní	Sušení	Rostliny
5.01.01	Obývací pokoj	4 x 100	1500	-	-	-	3 x 20
5.01.02	Chodba	-	-	-	-	-	-
5.01.03	Šatna	-	-	-	-	-	-
5.01.04	Pokoj	100	-	-	-	-	20
5.01.05	Pokoj	100	-	-	-	-	20
5.01.06	Pokoj	100	-	-	-	-	20
5.01.07	Koupelna	-	-	2600	-	-	-
5.01.08	Komora	-	-	-	300	500	-
5.01.09	WC	-	-	-	-	-	-
5.01.10	Šatna	-	-	-	-	-	-
5.01.11	Pracovna	100	-	-	-	-	-
5.01.12	Šatna	-	-	-	-	-	-
5.01.13	Ložnice	2 x 100	-	-	-	-	20
5.01.14	Koupelna	-	-	2600	-	-	-
5.01.15	Předsíň	-	-	-	-	-	-

Tabulka 5.7: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 5.01

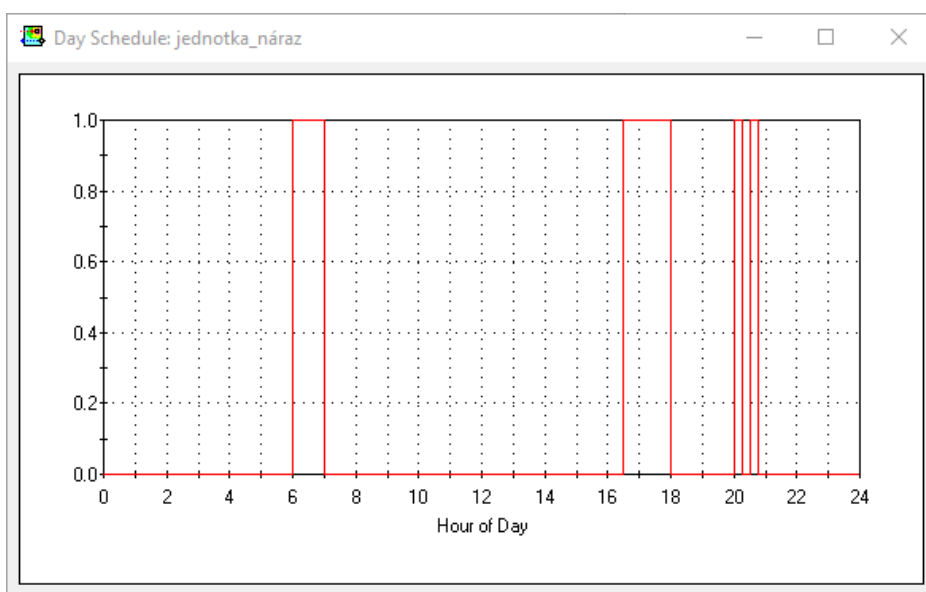
5.4 Větrání místností

V modelu pro simulaci koncentrace CO₂ bylo větráno pouze trvale, ale zde je potřeba zadat i nárazové větrání, které se především navrhuje pro potřebu odvodu zvýšené koncentrace škodlivin a vlhkosti. Nárazové větrání v kuchyni si reguluje každý obyvatel sám tlačítkem na digestoři a předpokládá se, že v okamžiku začátku vaření bude uživatelem spuštěno a

po dovaření opět vypnuto. V koupelně a na WC se nárazové větrání spouští automaticky s rozsvícením světla – tzn. s příchodem uživatele. Jakmile je nárazové větrání spuštěno v jedné z místností, automaticky je nárazovým množstvím vzduchu větrán celý byt.

V praxi to tedy bude vypadat následovně:

- V koupelně se předpokládá pobyt (rozsvícení světla jako spouštěče nárazového větrání) od 6:00 do 6:30
- Následuje snídaně – zapnutí digestoře v čase 6:30 – 7:00
- Večer vaření večere a zapnutí digestoře od 16:30 do 18:00
- Později pak večerní hygiena v čase 20:00 – 20:15 a 20:30 – 20:45



Obrázek 5.7: rozvrh nárazového větrání

V následujících tabulkách je pro úplnost uvedeno množství větracího vzduchu trvalého a nárazového pro jednotlivé místnosti.

Byt 1.02		Trvalé větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]	
Číslo	Účel	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
1.02.01	Obývací pokoj	50	52	145	150
1.02.02	Předsíň	0	0	0	0
1.02.03	Ložnice	50	0	145	0
1.02.04	Koupelna + WC	0	31	0	90
1.02.05	Komora	0	17	0	50
CELKEM		100	100	290	290

Tabulka 5.8: trvalé a nárazové větrání pro byt 1.02

Byt 2.01		Trvalé větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]	
Číslo	Účel	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
2.01.01	Obývací pokoj	100	89	169	150
2.01.02	Předsíň	0	0	0	0
2.01.03	Pokoj	25	0	42	0
2.01.04	Pokoj	25	0	42	0
2.01.05	Ložnice	50	0	85	0
2.01.06	Koupelna	0	53	0	90
2.01.07	Komora	25	0	42	0
2.01.08	WC	0	30	0	50
2.01.09	Koupelna	0	53	0	90
CELKEM		225	225	380	380

Tabulka 5.9: trvalé a nárazové větrání pro byt 2.01

Byt 5.01		Trvalé větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]	
Číslo	Účel	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
5.01.01	Obývací pokoj	100	102	148	150
5.01.02	Chodba	0	0	0	0
5.01.03	Šatna	25	0	36,5	0
5.01.04	Pokoj	25	0	36,5	0
5.01.05	Pokoj	25	0	36,5	0
5.01.06	Pokoj	25	0	36,5	0
5.01.07	Koupelna	0	61	0	90
5.01.08	Komora	25	0	36,5	0
5.01.09	WC	0	34	0	50
5.01.10	Šatna	0	14	0	20
5.01.11	Pracovna	25	0	36,5	0
5.01.12	Šatna	0	14	0	20
5.01.13	Ložnice	50	0	73	0
5.01.14	Koupelna	0	61	0	90
5.01.15	Předsíň	0	14	0	20
CELKEM		300	300	440	440

Tabulka 5.10: trvalé a nárazové větrání pro byt 5.01

5.5 Rozvrh působení zdroje vlhkosti

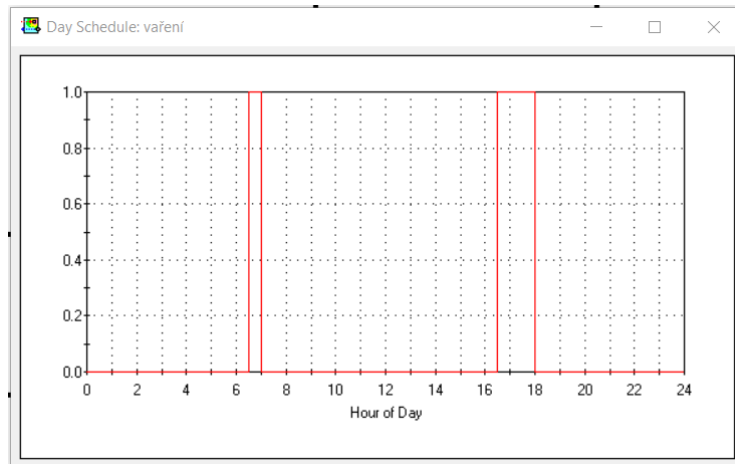
V předešlé kapitole bylo uvedeno pro každou místnost bytu množství produkce vlhkosti, dále je ještě potřeba každému zdroji přiřadit vlastní rozvrh působení.

Rozvrh produkce vlhkosti člověkem je rozdílný podle účelu místnosti a je shodný s rozvrhem přítomnosti osob uvedeném v kapitole 4 – modelování průběhu koncentrace CO₂ v bytech.

Obyvatelé se v jednotlivých místnostech vyskytují následovně:

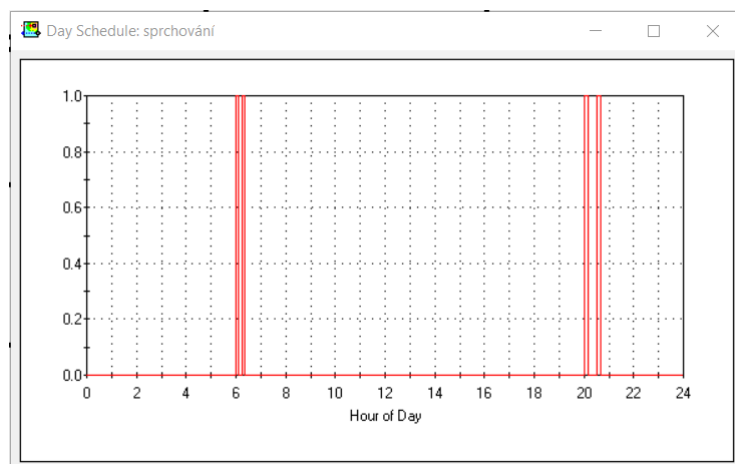
- Obývací pokoj: 6:00 - 7:00 a 16:00 - 23:00 (obrázek 4.10)
- Pokoj: 16:00 - 6:00 (obrázek 4.12)
- Pracovna: 16:00 - 20:00 (obrázek 4.13)
- Ložnice: 22:00 - 6:00 (obrázek 4.11)

Využívání kuchyně se uvažuje ráno na snídani v čase 6:30 – 7:00 a odpoledne k přípravě večere v čase 16:30 – 18:00. Produkce vlhkosti způsobená vaření během dne tedy vypadá takto:



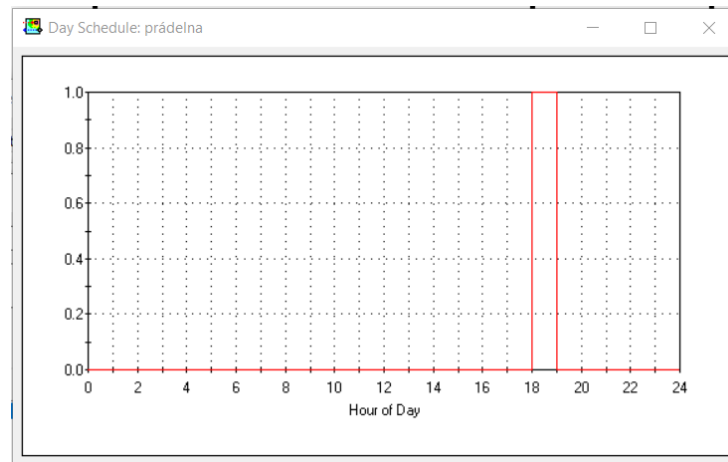
Obrázek 5.8: rozvrh produkce vlhkosti vařením

Každou koupelnu používají dva lidé, u kterých se „v nejhorším případě“ počítá s tím, že se sprchují ráno – rychlá sprcha 5 minut a podruhé večer – delší sprcha 10 minut. Z čehož tedy vychází produkce vlhkosti následovně: 6:00 – 6:05, 6:15 – 6:20, 20:00 – 20:10 a 20:30 – 20:40.

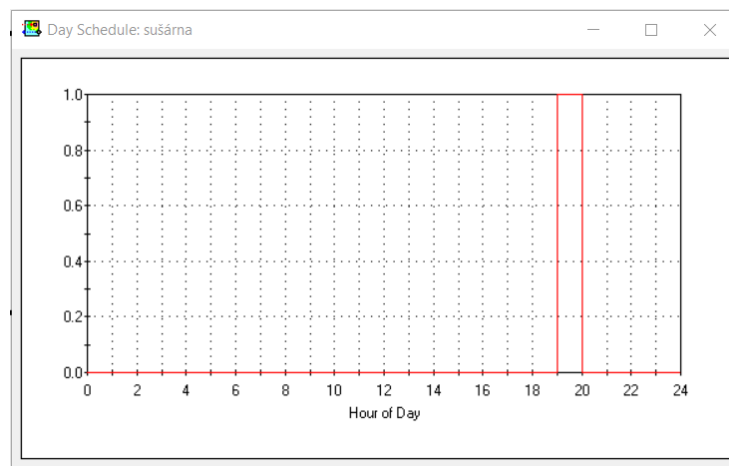


Obrázek 5.9: rozvrh produkce vlhkosti sprchováním

V komoře je vždy umístěna pračka a sušička, jejichž používání se uvažuje od 18:00 – 19:00 a 19:00 – 20:00.

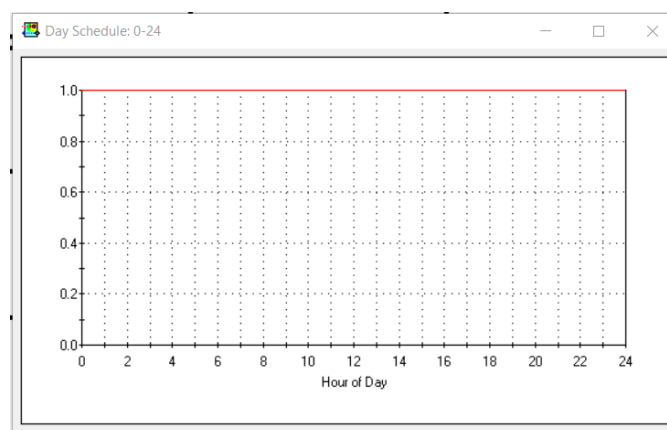


Obrázek 5.10: rozvrh produkce vlhkosti praním



Obrázek 5.11: rozvrh produkce vlhkosti sušením

Jako poslední jsou za zdroj vlhkosti v modelu považovány pokojové rostliny, které se v místnosti nacházejí neustále.

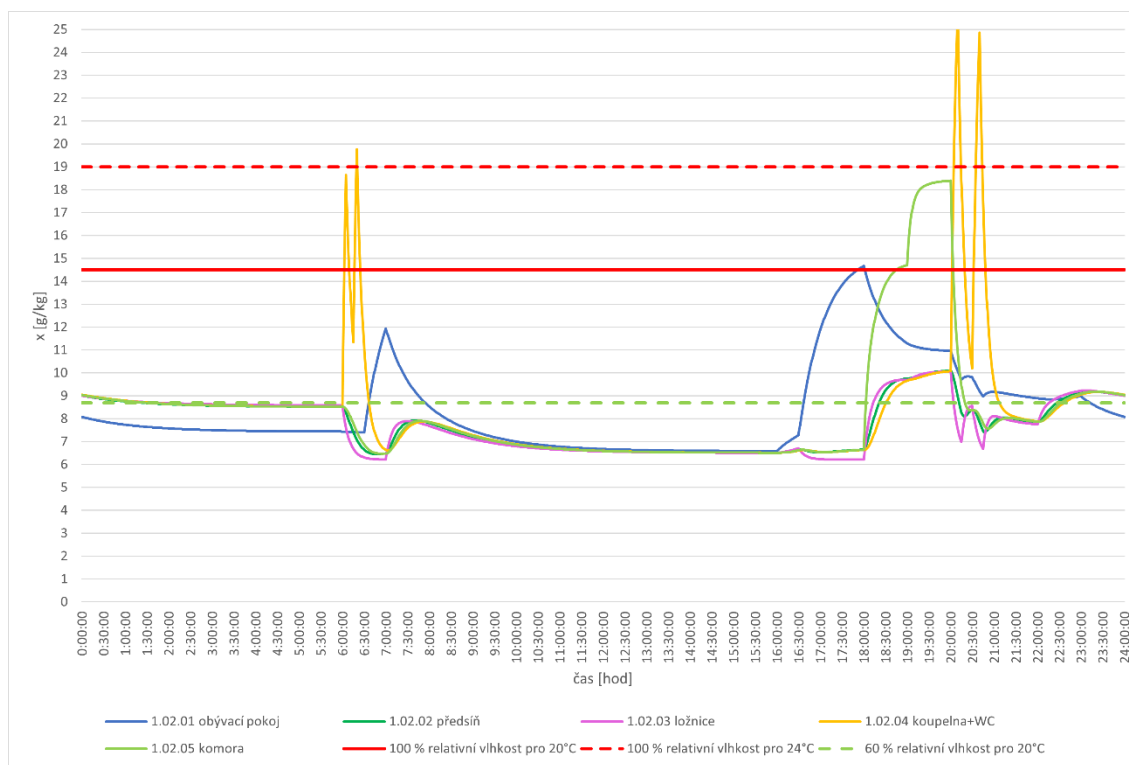


Obrázek 5.12: rozvrh produkce vlhkosti pokojovými rostlinami

5.6 Výsledky simulace

Po provedení simulace byly vytvořeny grafy průběhu měrné vlhkosti během jednoho dne v každém z bytů. Ty jsou podrobně zobrazeny v následujících podkapitolách.

5.6.1 Byt 1.02



Obrázek 5.13: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 1.02

V grafu lze vidět průběh měrné vlhkosti ve všech místnostech bytu 1.02.

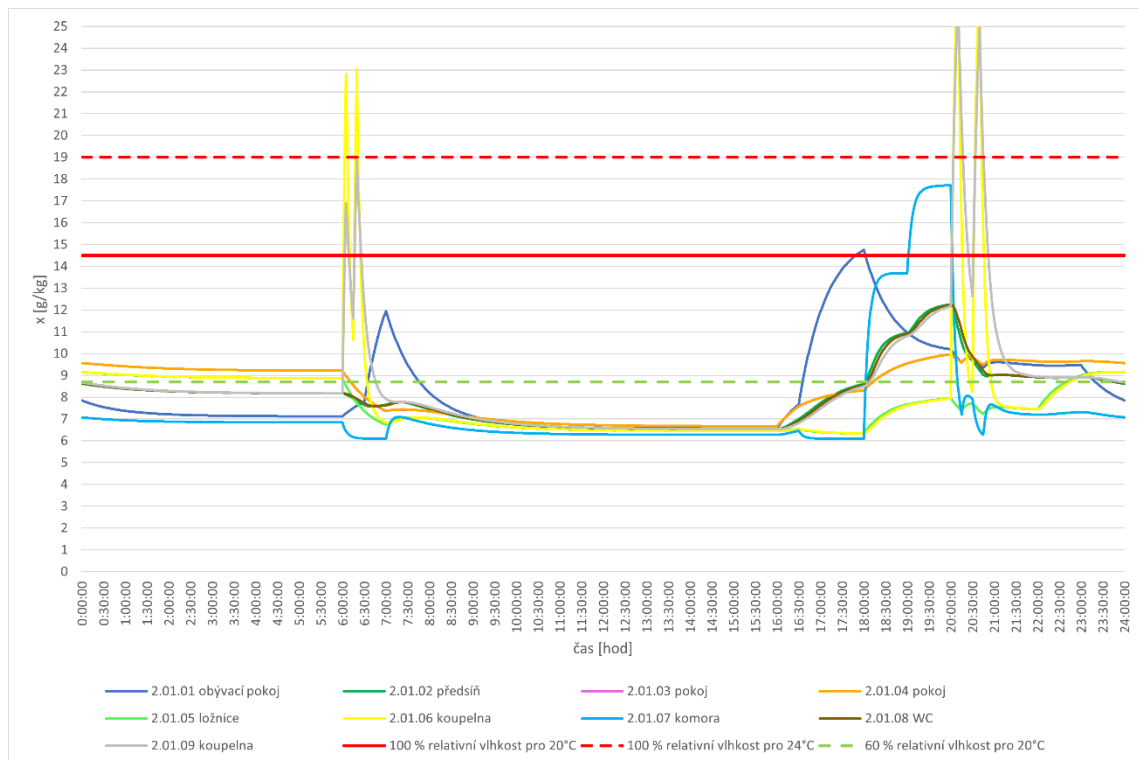
V obývacím pokoji, jehož součástí je i kuchyňský kout, lze vidět vliv produkce vlhkosti během vaření – měrná vlhkost se zvyšuje. Kolem 18. hodiny dokonce dochází ke kondenzaci vodní páry.

V komoře dochází v čase 18:30 – 20:00 také k překročení měrné vlhkosti 14,5 g/kg, která znázorňuje 100 % relativní vlhkost při 20 °C.

V koupelně je vidět rychlý nárůst vlhkosti ihned po začátku sprchování. Na rozdíl od ostatních místností je zde uvažováno s výpočtovou teplotou 24 °C, což posouvá křivku 100% relativní vlhkosti na 19 g/kg. Jak ráno, tak i večer se vlhkost nachází nad mezí nasycení – tzn. dochází zde ke kondenzaci.

Ve zbylých místnostech se po dobu celého dne měrná vlhkost pohybuje kolem optimální relativní vlhkosti 60 %, která je v grafu znázorněna měrnou vlhkostí 8,7 g/kg.

5.6.2 Byt 2.01



Obrázek 5.14: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 2.01

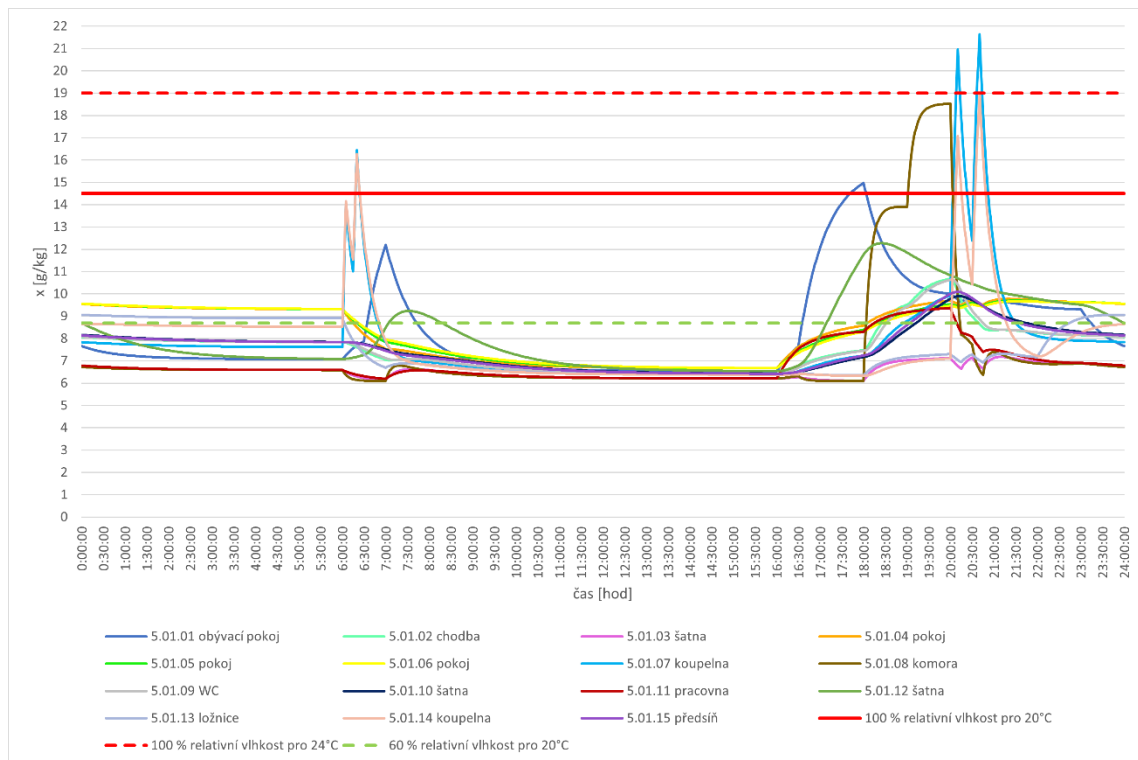
V tomto grafu lze vidět průběh měrné vlhkosti ve všech místnostech bytu 2.01.

Byt má dvě koupelny, v obou se počítá s teplotou 24 °C. Při této teplotě je 100 % relativní vlhkost znázorněna křivkou 19 g/kg měrné vlhkosti. V koupelně 2.01.06 dochází ke kondenzaci jak ráno, tak i večer. Zatímco v koupelně 2.01.09 pouze ve večerních hodinách. Tento rozdíl je způsoben tím, že koupelna 2.01.06 odvádí zátěž z ložnice, kde jsou přes noc dvě osoby produkující vlhkost, kdežto koupelna 2.01.09 odvádí zátěž z pokojů a komory společně s odtahem na WC. Proto není v koupelně 2.01.09 tak velká počáteční vlhkost.

I zde nastává stejný případ jako v předchozím bytě a sice v obývacím pokoji s kuchyňským koutem nastává kondenzace vodní páry kolem 18. hodiny vlivem vaření a v komoře mezi 19:00 a 20:00 vlivem praní a sušení prádla.

Ve zbylých místnostech se po dobu celého dne měrná vlhkost pohybuje kolem optimální relativní vlhkosti 60 %, která je v grafu znázorněna měrnou vlhkostí 8,7 g/kg.

5.6.3 Byt 5.01



Obrázek 5.15: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 5.01

V posledním grafu lze vidět průběh měrné vlhkosti ve všech místnostech bytu 5.01.

I tento byt má dvě koupelny s výpočtovou teplotou 24 °C. Na rozdíl od předchozích dvou bytů zde byla mez nasycení (19 g/kg) překročena pouze v koupelně 5.01.07 při večerní hygieně vlivem vyšší počáteční měrné vlhkosti před začátkem jejího užívání. To je způsobeno tím, že do koupelny proniká vlhkost z komory, kde probíhalo v čase 18:00 – 20:00 praní a sušení prádla. Tím se zvyšovala vlhkost, která ovšem v komoře nebyla odsáta, protože se zde nachází přívod vzduchu.

Průběh měrné vlhkosti v obývacím pokoji s kuchyňským koutem a komoře je velmi podobný jako v předchozích dvou bytech. A sice kolem 18. hodiny dochází v obývacím pokoji ke kondenzaci vodní páry vlivem zvýšené vlhkosti díky vaření a mezi 19:00 a 20:00 v komoře díky praní a sušení prádla.

V tomto bytě se nachází i šatna s odvodem vzduchu. Na její křivce měrné vlhkosti 5.01.12 je vidět, že i přesto že se zde nenachází zdroj vlhkosti, je zde zvýšená vlhkost vlivem proudění vzduchu z ostatních místností ráno i večer.

Ve zbylých místnostech se po dobu celého dne měrná vlhkost pohybuje kolem optimální relativní vlhkosti 60 %, která je v grafu znázorněna měrnou vlhkostí 8,7 g/kg.

6 Vzduchotechnika podzemních garáží

Nedílnou součástí projektu vzduchotechniky tohoto objektu je i návrh větrání podzemní garáže. Projekt se zabývá pouze provozním větráním, které musí být v tomto případě navrženo jako nucené, vzhledem k tomu, že se jedná o garáže podzemní.

Mezi hlavní škodliviny, nacházející se v ovzduší garáže, patří oxid uhelnatý CO, oxidy dusíku NO_x, benzen C₆H₆, saze a prachové částice. Rozhodující škodlivinou pro dimenzování nuceného větrání je CO. Dle ČSN 73 6058 je nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace CO pro nucené větrání stanovena pro 30minutový pobyt osob v garáži hodnotou 50 ppm.

6.1 Výpočet nuceného provozního větrání hromadné garáže

Výpočet vychází z normy ČSN 73 6058, podle které se počítají parkovací místa a modeluje se trasa jízdy automobilů. Výpočtem se navrhne množství větracího vzduchu k udržení koncentrace CO pod přípustnou hodnotou.

6.1.1 Vstupní údaje

V bytovém domě se nachází jednopodlažní podzemní garáž, která nabízí celkem 24 parkovacích míst, z čehož 3 stání jsou vyhrazena pro invalidy/vozičkáře. Podlahová plocha garáže S je 552,7 m² a světlá výška s.v. 3 m.

Rychlost jízdy je zvolena dle doporučené hodnoty z normy $w = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$.

Frekvence výměny vozidel na stání f je 0,3 1/h a je určena z tabulky 6.1 – jedná se o garáž v obytné budově s $\Sigma P < 50$.

Druh garáže	Frekvence f (h ⁻¹)
Obytné budovy $\Sigma P \geq 50$	0,2
Obytné budovy $\Sigma P < 50$	0,3
Administrativní budovy $\Sigma P \geq 50$	0,4
Administrativní budovy $\Sigma P < 50$	0,5
Parkovací objekty (Park & Ride)	0,5
Nákupní centra se smíšeným účelem (prodejny, gastronomie, služby)	0,8
Kulturní, zábavní objekty	1,0
Jednotlivé prodejny s omezenou nabídkou zboží	1,5
<small>x) Tabulka je převzata se svolením Österreichische Normungsinstitut z rakouské normy ÖNORM H 6003 „Lüftungstechnische Anlagen für Garagen. Grundlagen, Planung, Dimensionierung“, Ausgabe 2005-12-01.</small>	

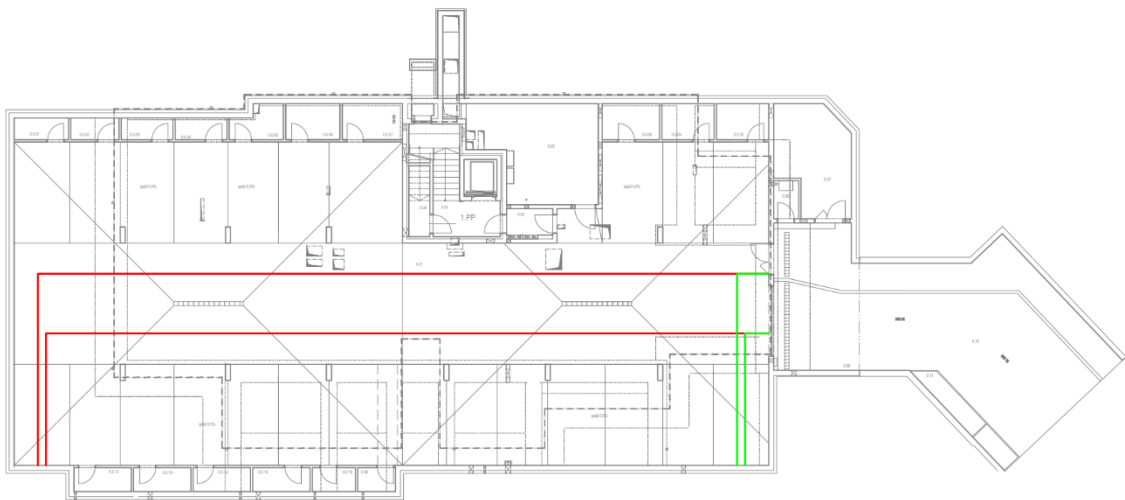
Tabulka 6.1: frekvence výměny vozidel f

Shrnutí:

- Počet stání vozidel v úseku $P = 24$
- Počet úseků $i = 1$
- Rychlost jízdy $w = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$
- Frekvence výměny vozidel na jedno stání $f = 0,3 \text{ 1/h}$
- Vnitřní objem úseku $O = S \cdot s \cdot v = 552,7 \cdot 3 = 1658,1 \text{ m}^3$

6.1.2 Stanovení délky trasy s [m] jednoho vozidla v úseku

Je nutné stanovit dvě délky tras pohybu vozidla. První trasa se určuje pro vozidla parkující v daném úseku a druhá pro vozidla projíždějící daným úsekem do jiného úseku, kde zaparkují. V tomto případě má garáž pouze jeden úsek, proto je stanovena pouze jedna délka trasy vozidla. Je určena tak, že se změří nejdelší a nejkratší trasa od vjezdu do úseku na stání a odtud zpět k výjezdu z úseku a tyto dvě délky se zprůměrují.



Obrázek 6.1: schéma trasy vozidla

Nejdelší trasa s_1 má délku 88 m a na obrázku 6.1 je znázorněna červenou barvou a zelená čára ukazuje nejkratší trasu s_2 o délce 18,8 m. Průměrná trasa vozidla s se tedy vypočte z následujícího vzorce:

$$s = \frac{s_1 + s_2}{2} = \frac{88 + 18,8}{2} = 53,4 \text{ m} \quad (1)$$

6.1.3 Stanovení doby volnoběhu jednoho vozidla v daném úseku

Doba volnoběhu jednoho vozidla je uvedena v normě a zpravidla se navrhuje takto:

- Vjezd do garáže: 20 s
- Výjezd z garáže: 20 s
- Vjezd na stání: 10 s

- Výjezd ze stání: 20 s

6.1.4 Výpočet doby jízdy t_j [s] jednoho vozidla trasou s v daném úseku

Doba průjezdu t_j [s] se stanoví samostatně pro vozidla parkující v úseku a projíždějící do jiného úseku. V tomto případě se tedy vypočte pouze jedna hodnota pro vozidla parkující v úseku pomocí následujícího vzorce:

$$t_j = \frac{s}{w} = \frac{53,4}{2,78} = 19,2 \text{ s} \quad (2)$$

- s průměrná trasa vozidla
- w rychlost jízdy

6.1.5 Výpočet počtu vozidel p vjíždějících do úseku

Počet vozidel p vjíždějících do úseku v intervalu 1 hodiny se určí následovně:

$$p = P \cdot f = 24 \cdot 0,3 = 7,2 \text{ h}^{-1} \quad (3)$$

- P počet stání vozidel v úseku
- f frekvence výměny vozidel na jedno stání

6.1.6 Výpočet doby chodu motorů za jízdy $t_{jc,rov}$

Doba chodu motorů za jízdy $t_{jc,rov}$ všech vozidel projíždějících úsekem v intervalu 1 hodiny se vypočte z následujícího vzorce:

$$t_{jc,rov} = p \cdot t_j = 7,2 \cdot 19,2 = 138,24 \text{ s/h} \quad (4)$$

- p počet vozidel vjíždějících do úseku
- t_j doba jízdy jednoho vozidla trasou s

6.1.7 Výpočet doby volnoběhu vozidel t_{vc}

Doba volnoběhu vozidel t_{vc} v intervalu 1 hodiny se vypočte ze vzorce 5. Garáž má pouze jedno podlaží se vstupem/výstupem, proto se musí započítat doba volnoběhu t_{v1} parkujících vozidel v úseku a také doba volnoběhu všech vozidel při vjezdu a výjezdu t_{v2} z garáže.

$$t_{vc} = p \cdot t_{v1} + f \cdot P \cdot t_{v2} = 7,2 \cdot 30 + 0,3 \cdot 24 \cdot 40 = 504 \text{ s/h} \quad (5)$$

- p počet vozidel vjíždějících do úseku
- t_{v1} doba volnoběhu parkujících vozidel (vjezd na stání 10 s + výjezd ze stání 20 s)
- f frekvence výměny vozidel na jedno stání
- P počet stání vozidel v úseku

- t_{v2} doba volnoběhu všech vozidel při vjezdu a výjezdu (vjezd do garáže 20 s + výjezd z garáže 20 s)

6.1.8 Výpočet emisí oxidu uhelnatého

Emise oxidu uhelnatého všech vozidel v úseku se stanoví zvlášť pro jízdu po rovině a pro volnoběh z měrných emisí jednoho vozidla, které jsou uvedeny v tabulce 6.2.

Jízda ($m^3/s \cdot \text{voz.}$)		Volnoběh $V_{CO \text{ v voz.}} (m^3/s \cdot \text{voz.})$
Rovina, klesání $V_{CO \text{ j rov. voz.}}$	Stoupání $V_{CO \text{ j st. voz.}}$	
$5 \cdot 10^{-5}$	5 %	$6,5 \cdot 10^{-5}$
	10 %	$8,9 \cdot 10^{-5}$
	15 %	$13,0 \cdot 10^{-5}$
		$2,2 \cdot 10^{-5}$

Tabulka 6.2: měrné emise jednoho vozidla

Při jízdě po rovině:

$$V_{CO \text{ j,rov,T}} = V_{CO \text{ j,rov}} \cdot t_{j,rov} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 138,24 = 6,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/h \quad (6)$$

- $V_{CO \text{ j,rov}}$ měrná emise jednoho vozidla na rovině/při klesání
- $t_{j,rov}$ doba chodu motorů za jízdy

Při volnoběhu:

$$V_{CO \text{ v,T}} = V_{CO \text{ v}} \cdot t_{vc} = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 504 = 0,011088 \text{ m}^3/h \quad (7)$$

- $V_{CO \text{ v}}$ měrná emise jednoho vozidla při volnoběhu
- t_{vc} doba chodu motorů při volnoběhu

6.1.9 Celkový objemový průtok CO v úseku

Celkový objemový průtok CO $V_{CO, T}$ v úseku se stanoví ze vztahu:

$$V_{CO, T} = V_{CO \text{ j,rov,T}} + V_{CO \text{ v,T}} = 6,912 \cdot 10^{-3} + 0,011088 = 0,018 \text{ m}^3/h \quad (8)$$

- $V_{CO \text{ j,rov,T}}$ emise CO při jízdě po rovině
- $V_{CO \text{ v,T}}$ emise CO při volnoběhu

6.1.10 Průtok odváděného vzduchu pro větrání garáže

Objem odváděného vzduchu V pro garáž se vypočte takto:

$$V = \frac{V_{CO, T}}{(c_p - c_e) \cdot 10^{-6}} = \frac{0,018}{(50 - 10) \cdot 10^{-6}} = 450 \text{ m}^3/h \quad (9)$$

- $V_{CO,T}$ celkový objemový průtok
- c_p přípustná výpočtová koncentrace CO v garáži – 50 ppm
- c_e přípustná výpočtová koncentrace CO ve venkovním přiváděném vzduchu – 5 ppm pro menší města, **10 ppm pro velkoměsta**, 0 ppm pro oblasti bez automobilové dopravy

6.1.11 Intenzita větrání I a měrný průtok vzduchu V_m

Intenzita větrání se vypočte ze vzorce:

$$I = \frac{V}{O} = \frac{450}{1658,1} = 0,27 \text{ h}^{-1} \quad (10)$$

- V objem odváděného vzduchu
- O vnitřní objem úseku

Intenzita větrání vyšla $0,27 \text{ h}^{-1}$, což není vyhovující, protože musí dosáhnout minimálně $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Je tedy potřeba upravit množství přiváděného vzduchu V_p následovně:

$$V_p = I \cdot O = 0,5 \cdot 1658,1 = 829,05 \text{ m}^3/\text{h} \doteq 830 \text{ m}^3/\text{h} \quad (11)$$

Množství přivodního vzduchu V_p bylo zvoleno $840 \text{ m}^3/\text{h}$ kvůli rovnoměrnému rozdělení na vyústky ($6 \times 140 \text{ m}^3/\text{h}$).

Měrný průtok vzduchu V_m vztažený na počet stání P v úseku se vypočte:

$$V_m = \frac{V_p}{P} = \frac{840}{24} = 35 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{stání} \quad (12)$$

Jelikož přiváděné množství vzduchu V_p musí být o 10 - 20% nižší, je potřeba ještě vypočítat odváděné množství vzduchu V_o :

$$V_o = 1,1 \cdot V_p - 1,2 \cdot V_p = 1,1 \cdot 840 - 1,2 \cdot 840 = 924 - 1008 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 930 \text{ m}^3/\text{h} \quad (13)$$

6.1.12 Závěr

Pro zajištění spolehlivého provětrání garáží a udržení koncentrace škodliviny CO pod hodnotou 50 ppm je navrženo množství přiváděného vzduchu V_p $840 \text{ m}^3/\text{h}$, které vychází z minimální intenzity větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$. Množství odváděného vzduchu V_o je $930 \text{ m}^3/\text{h}$, protože musí být o 10 - 20% vyšší než V_p , aby bylo dosaženo podtlaku.

7 Modelování průběhu koncentrace CO v garážích

Předmětem této části je zobrazení průběhu koncentrace CO v garážích pomocí programu CONTAM 2.4. Průběh závisí na frekvenci pohybu vozidel, která byla vhodně zvolena, a objemu větracího vzduchu vypočteného v předešlé kapitole.

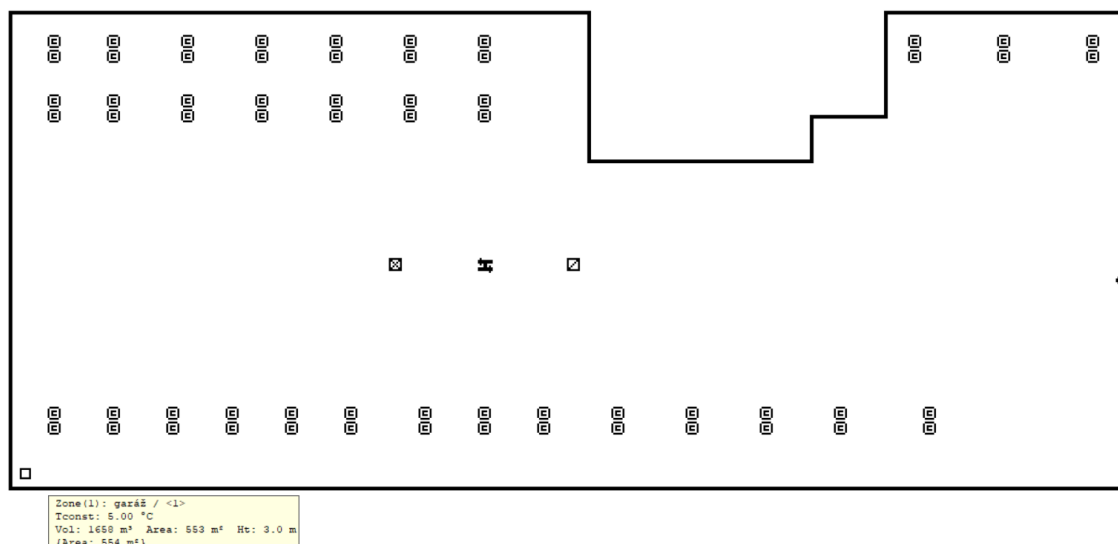
7.1 Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý (CO) je jedovatý plyn bez barvy a bez zápachu, který vzniká při neúplném spalování uhlí, ropy, plynu a jiných organických paliv a do lidského těla se dostává jeho inhalací.

Je důležité sledovat jeho množství v hromadných garážích především proto, že vystavením člověka zvýšeným koncentracím oxidu uhelnatého, může dojít k otravě, která se projevuje příznaky jako závratě, bolesti hlavy, zmatenost, nevolnost a dokonce i smrt. Dlouhodobá expozice nízkým koncentracím oxidu uhelnatého může způsobit chronické zdravotní problémy, včetně poškození srdce, nervového systému a plicních funkcí. [24]

7.2 Popis modelu

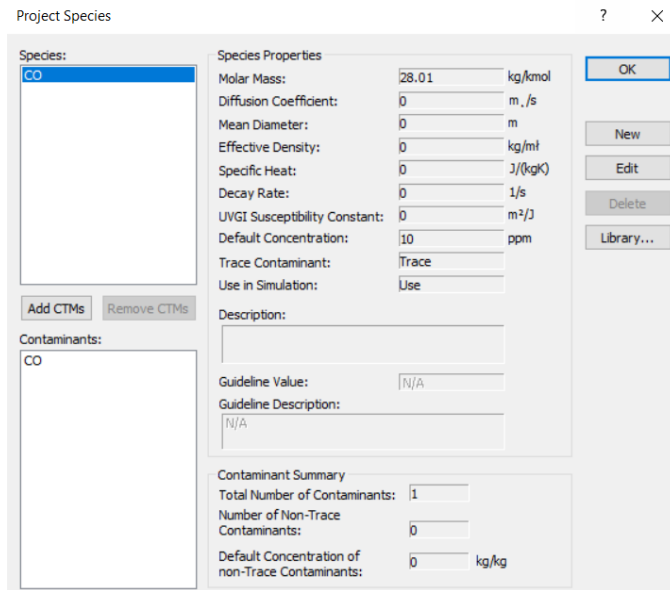
Garáž je vytvořena jako jednozónový model, který má zadanou vnitřní teplotu 5 °C, podlahovou plochu 553 m², světlou výšku 3 m a objem 1658 m³.



Obrázek 7.1: model garáže

V modelu je definován způsob větrání – přívod vzduchu 840 m³/h a odvod vzduchu 930 m³/h. Na východní straně fasády jsou zadána garážová vrata, která znázorňují netěsnosti a propojení zóny s exteriérem, avšak vliv větru zde není uvažován.

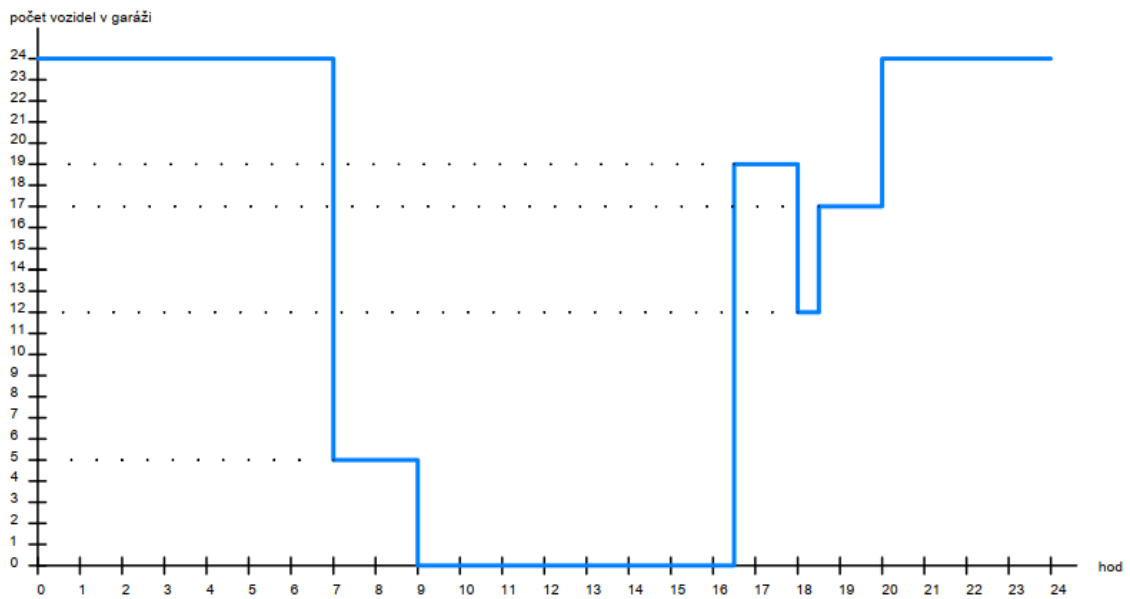
Dále je definovaná zkoumaná škodlivina a to CO pomocí molární hmotnosti 28,01 kg/kmol a počáteční koncentrace ve vnějším ovzduší 10 ppm.



Obrázek 7.2: zadání škodliviny CO

7.3 Rozvrh pohybu vozidel

V garáži je celkem 24 parkovacích míst. Je uvažováno že 19 automobilů garáž opustí v 7:00 a v 16:30 se vrátí zpět. Zbýlých 5 automobilů odjede v 9:00 a vrátí se v 18:30. Z toho vyplývá, že v době od 9:00 do 16:30 je garáž prázdná bez pohybu vozidel a má možnost se vyvětrat. Dále je počítáno s tím že 7 vozidel garáž opustí podruhé za den v čase 18:00 – 20:00 za volnočasovými aktivitami, případně na večeri. Od 20:00 do 7:00 je garáž plně obsazena, a opět je čas pro vyvětrání prostoru.



Obrázek 7.3: obsazenost garáže

7.4 Modelování produkce CO vozidly v čase

Na obrázku 7.1 můžeme vidět přibližné umístění parkovacích míst díky rozložení symbolů © v prostoru. Odjezd a příjezd jednoho vozidla do garáže je vždy zobrazen pomocí dvojice zdrojů ©, protože jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, měrné emise jednoho vozidla jsou různé pro volnoběh, jízdu po rovině/klesání a jízdu do kopce a jsou uvedeny v tabulce 6.2. Pro zadání do programu je potřeba hodnotu převést na $\text{kg/s} \cdot \text{voz}$ tak, že je hodnota vynásobena hustotou $\text{CO} = 1,14 \text{ kg/m}^3$.

- Po rovině: $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{voz} = 5,7 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} \cdot \text{voz}$
- Volnoběh: $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{voz} = 2,508 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} \cdot \text{voz}$

Dále je vypočtena průměrná délka jedné trasy po rovině $s = 27 \text{ m}$. Díky čemuž lze spočítat dobu jízdy po rovině t :

$$t = \frac{s}{w} = \frac{27}{2,78} = 9,7 \text{ s} \doteq 10 \text{ s} \quad (14)$$

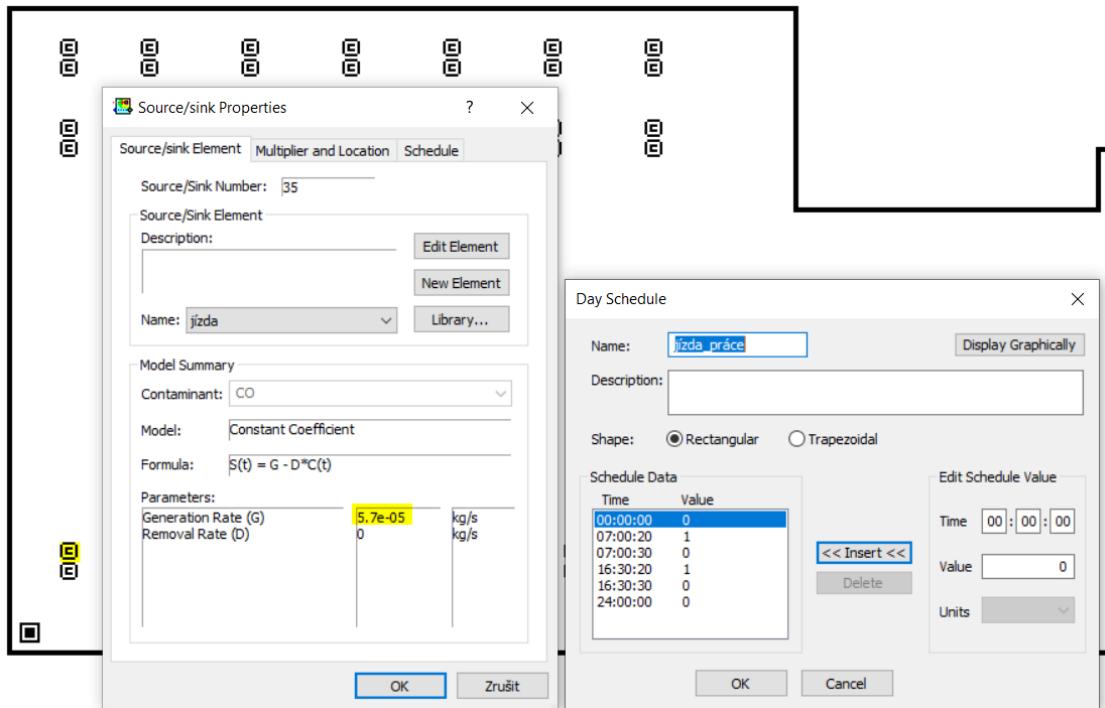
- s průměrná délka jedné trasy vozidla po rovině
- w rychlost jízdy dle normy

Dále je třeba znát dobu volnoběhu jednoho vozidla, která je uvedena v kapitole 6.1.3.

Motor jednoho vozidla tedy při odjezdu z parkovacího stání běží 20 s na volnoběh, 10 s jízdy po rovině a dalších 20 s na volnoběh při výjezdu. Při příjezdu do garáže motor běží 20 s na volnoběh, 10 s jízdy po rovině a 10 s na volnoběh při parkování.

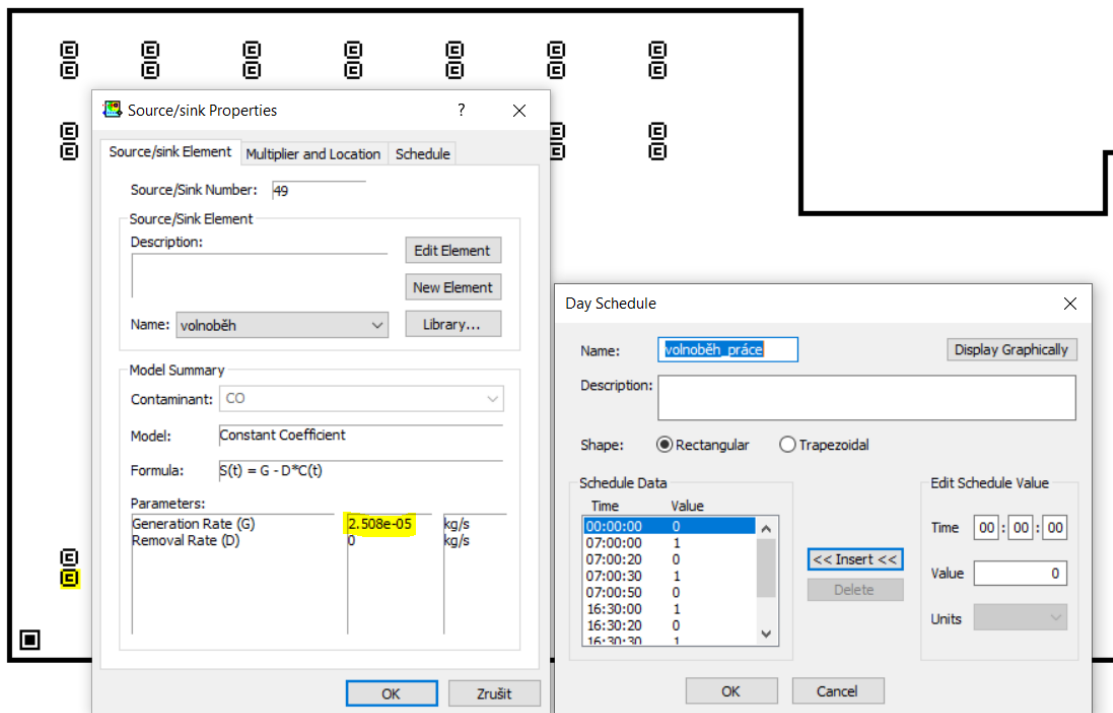
Pro jedno vozidlo odjíždějící v 7:00 a vracející se v 16:30 model kontaminantu vypadá následovně:

- 1. zdroj © znázorňuje jízdu po rovině pomocí produkce $\text{CO } 5,7 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$; vozidlo je v pohybu při odjezdu v čase 7:00:20 - 7:00:30 a při příjezdu v 16:30:20 - 16:30:30



Obrázek 7.4: model jízdy po rovině vozidla 7:00-16:30

- 2. zdroj © znázorňuje chod motoru na volnoběh pomocí produkce CO $2,508 \cdot 10^{-5}$ kg/s; motor je v chodu při odjezdu v čase 7:00:00 - 7:00:20 a 7:00:30 - 7:00:50 a při příjezdu v 16:30:00 - 16:30:20 a 16:30:30 - 16:30:40

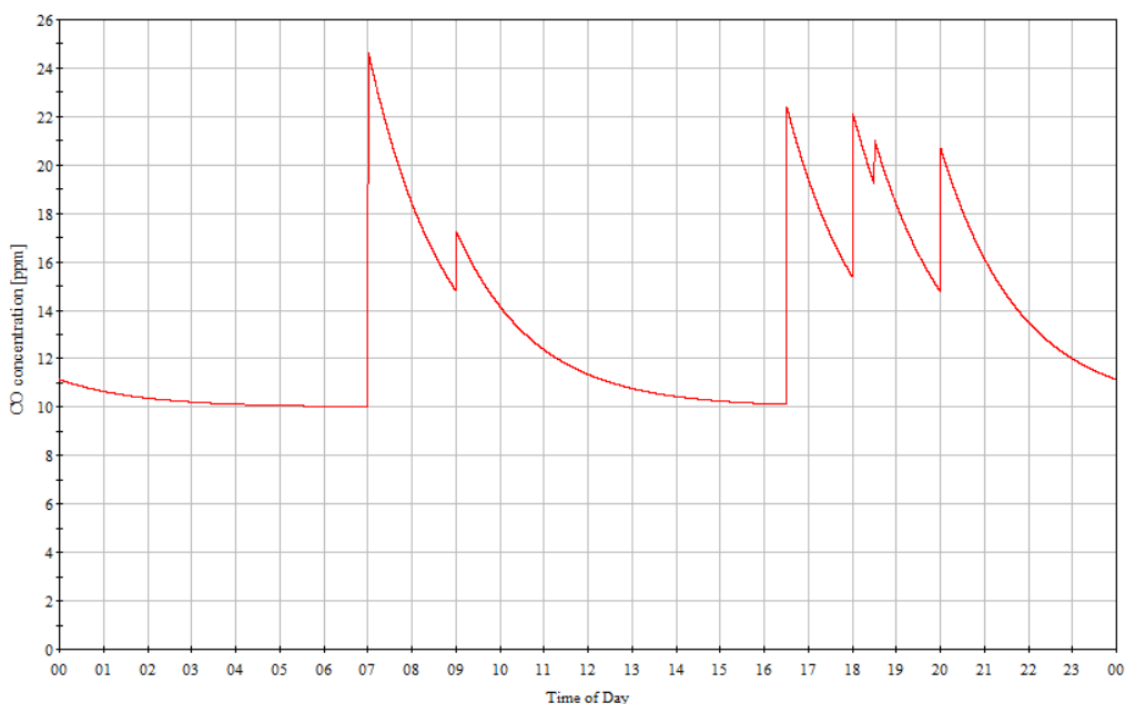


Obrázek 7.5: model běhu motoru na volnoběh vozidla 7:00-16:30

Tímto stylem byla zadána všechna vozidla a jejich harmonogramy.

7.5 Výsledky simulace

Po provedení simulace byl vytvořen graf průběhu koncentrace CO během jednoho dne v garáži viz. obrázek 7.6. Z grafu je patrné, že maximální koncentrace CO je v prostoru v 7 ráno, kdy většina lidí odjíždí do práce, a dosahuje hodnoty 25 ppm. Během dne se tato zóna stihne vyvětrat a v čase 16:30, kdy se lidé vrací z práce je koncentrace ustálena na původních 10 ppm, což je koncentrace CO ve vnějším ovzduší. V tento moment křivka v grafu opět stoupá ovšem už jen na 22,5 ppm. Večerní produkce CO není vyvětratelná do půlnoci daného dne, ale do dalšího dne, kdy opět dochází k odjezdu automobilů. Nejdůležitějším výsledkem je ale fakt, že hodnota koncentrace CO je v garáži trvale pod maximální přípustnou hodnotou 50 ppm.



Obrázek 7.6: průběh koncentrace CO během dne

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo studium vnitřního prostředí bytového domu s garážemi, včetně shrnutí požadavků na vzduchotechniku tohoto typu provozu. Dalším bodem bylo zhodnocení kvality vnitřního prostředí z hlediska koncentrace CO₂ a vlhkosti v bytech a koncentrace CO v garážích díky vytvořenému modelu bytového domu Rezidence Červený Dvůr v programu CONTAM. V neposlední řadě si tato práce kladla za cíl vypracování projektu vzduchotechniky daného bytového domu.

Pro provedení simulace v programu CONTAM byly vybrány tři modelové byty, ve kterých bylo navrženo trvalé a nárazové větrání na základě doporučených hodnot daných normou. Z hlediska zkoumání koncentrace CO₂ bylo zjištěno, že i přes dle normy dostatečnou výměnu vzduchu, je v určitých místnostech bytu překročena limitní koncentrace 1200 ppm. Nedostatečné nárazové větrání se ukázalo při vyšetřování měrné vlhkosti v bytech. Zde bylo zjištěno, že především při rychlém nárůstu měrné vlhkosti způsobené například sprchováním, dochází ke kondenzaci vodní páry v daném prostoru.

V programu byly vymodelovány i garáže, ve kterých byla sledována koncentrace CO. Větrání zde bylo navrženo s použitím normy ČSN 73 6058 jako nucené podtlakové, kdy je do prostoru o objemu 1658 m³ přiváděno 840 m³/h čerstvého vzduchu a odváděno 930 m³/h znečištěného vzduchu. Díky simulaci bylo zjištěno, že v garáži dosahuje koncentrace CO nanejvýš hodnoty 25 ppm a nepřekračuje tak maximální přípustnou hodnotu 50 ppm.

Na základě poznatků nabytých ze studie a s ohledem na výsledky z provedených simulací byl zpracován projekt vzduchotechniky bytového domu Rezidence Červený Dvůr ve stupni pro vydání stavebního povolení, který je přiložen k této práci.

9 Seznam literatury a podkladů

- [1] KABELE, Karel. *Vnitřní prostředí budov*. Prezentace. Praha: ČVUT, 2023.
- [2] VEVERKOVÁ, Zuzana. *Teorie vnitřního prostředí - Tepelný komfort I*. Prezentace. Praha: ČVUT, 2022.
- [3] *Syndrom nemocných/nezdravých budov (SBS). Příznaky, faktory, prevence a kontrola*. Online. BOŽP.cz Bezpečnost práce. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/syndrom-nemocnych-budov/>. [cit. 2023-11-23].
- [4] *How much is the indoor comfort of a residential building worth? A discrete choice experiment*. Online. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323009381>. [cit. 2023-11-23].
- [5] KABELE, Karel; VEVERKOVÁ, Zuzana a DVOŘÁKOVÁ, Pavla. *Vnitřní prostředí budov*. Online. ASB. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/vnitri-prostredi-budov>. [cit. 2023-11-24].
- [6] *4 způsoby, jak dosáhnout tepelné pohody prostřednictvím správného designu, konstrukce a údržby*. Online. Uponor. Dostupné z: <https://www.uponor.com/cs-cz/projektovani/udrzitelne-vytapeni-a-chlazení/tepelná-pohoda>. [cit. 2023-11-24].
- [7] *Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments*. Online. ScienceDirect. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X04003536>. [cit. 2023-11-24].
- [8] VEVERKOVÁ, Zuzana. *Akustické mikroklima*. Prezentace. Praha: ČVUT, 2022.
- [9] DVOŘÁKOVÁ, Pavla. *Vnitřní prostředí budov: Kvalita vzduchu*. Prezentace. Praha: ČVUT, 2022.
- [10] JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov*. Online. Praha: ČVUT, 2011. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1933879-Teorie-vnitriho-prostredi-budov.html>. [cit. 2023-11-28].
- [11] *Aerosoly ve vnitřním prostředí budov*. Prezentace. ČB: VŠTE.
- [12] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb*. Online. Tzbinfo. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>. [cit. 2023-11-07].
- [13] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 73 6058, *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže*.

- [14] TOMAN, Stanislav. *Větrání garáží (III)*. Online. Tzbinfo. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/12303-vetrani-garazi-3-cast>. [cit. 2023-11-29].
- [15] *Cykly koncentrací CO₂ a O₂ v atmosféře*. Online. Fakta o klimatu. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/cykly-koncentrace-co2>. [cit. 2023-10-17]
- [16] *Oxid uhličitý v domácnosti*. Online. Poradme.se. Dostupné z: https://poradme.se/index.php?title=Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD_v_dom%C3%A1cnosti. [cit. 2023-11-09].
- [17] *Český hydrometeorologický ústav*. Online. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>. [cit. 2023-11-13].
- [18] *VLHKOST VZDUCHU*. Online. Techmania Science Center - EDUPORTÁL. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/vlhkost-vzduchu>. [cit. 2023-11-20].
- [19] *JAKÝ JE ROZDÍL MEZI ABSOLUTNÍ, RELATIVNÍ A SPECIFICKOU VLHKOSTÍ?* Online. Gavri.cz. Dostupné z: <https://www.gavri.cz/clanky-o-odvlhcovacich-vzduchu/jaky-je-rozdil-mezi-absolutni-relativni-a-specifickou-vlhkosti/>. [cit. 2023-11-20].
- [20] *Vlhkost vzduchu*. Online. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/mikroklima/www/4%20Vlhkost.htm>. [cit. 2023-11-20].
- [21] *Jaká je optimální vlhkost v bytě?* Online. Vzdušín.cz. Dostupné z: <https://www.vzdušin.cz/jaka-je-optimalni-vlhkost-v-byte>. [cit. 2023-11-20].
- [22] *Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb.* Online. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [cit. 2023-11-20].
- [23] *Souhrn tabulek pro cvičení č.1*. Online. In: Katedra technických zařízení budov K11125. Dostupné z: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/tz2/TZ2_1_tabulky.pdf. [cit. 2023-11-20].
- [24] *Intoxikaci oxidem uhelnatým je dobré nepodceňovat*. Online. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/intoxikaci-oxidem-uhelnatym-je-dobre-nepodcenovat/>. [cit. 2023-11-07].

10 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 2.1: procentuální zobrazení kde člověk tráví kolik času během svého života [1].....	12
Obrázek 2.2: zdroje oděrů [9]	17
Obrázek 2.3: podlahová plocha místnosti.....	20
Obrázek 3.1: pohled na dokončenou výstavbu bytového domu	25
Obrázek 3.2: jižní pohled na bytový dům.....	26
Obrázek 4.1: definice vnějšího prostředí	27
Obrázek 4.2: definice oken a dveří.....	28
Obrázek 4.3: definice škodliviny CO ₂	28
Obrázek 4.4: dispozice bytu 1.02	29
Obrázek 4.5: geometrie bytu 1.02 v CONTAMu.....	30
Obrázek 4.6: dispozice bytu 2.01	31
Obrázek 4.7: geometrie bytu 2.01 v CONTAMu.....	32
Obrázek 4.8: dispozice bytu 5.01	33
Obrázek 4.9: geometrie bytu 5.01 v CONTAMu.....	33
Obrázek 4.10: rozvrh přítomnosti osob v obývacím pokoji	34
Obrázek 4.11: rozvrh přítomnosti osob v ložnici	35
Obrázek 4.12: rozvrh přítomnosti osob v pokoji.....	35
Obrázek 4.13: rozvrh přítomnosti osob v pracovně.....	36
Obrázek 4.14: průběh koncentrace CO ₂ během dne v bytě 1.02	37
Obrázek 4.15: průběh koncentrace CO ₂ během dne v bytě 2.01	38
Obrázek 4.16: průběh koncentrace CO ₂ během dne v bytě 5.01	39
Obrázek 5.1: Mollierův diagram pro jednotlivé měsíce.....	42
Obrázek 5.2: definice vnějšího prostředí	43
Obrázek 5.3: definice vlhkého vzduchu	43
Obrázek 5.4: model bytu 1.02.....	45
Obrázek 5.5: model bytu 2.01.....	46
Obrázek 5.6: model bytu 5.01.....	47
Obrázek 5.7: rozvrh nárazového větrání.....	48
Obrázek 5.8: rozvrh produkce vlhkosti vařením	50
Obrázek 5.9: rozvrh produkce vlhkosti sprchováním.....	50
Obrázek 5.10: rozvrh produkce vlhkosti praním.....	51
Obrázek 5.11: rozvrh produkce vlhkosti sušením	51

Obrázek 5.12: rozvrh produkce vlhkosti pokojovými rostlinami	51
Obrázek 5.13: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 1.02	52
Obrázek 5.14: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 2.01	53
Obrázek 5.15: průběh měrné vlhkosti během dne v bytě 5.01	54
Obrázek 6.1: schéma trasy vozidla.....	56
Obrázek 7.1: model garáže	60
Obrázek 7.2: zadání škodliviny CO	61
Obrázek 7.3: obsazenost garáže	61
Obrázek 7.4: model jízdy po rovině vozidla 7:00-16:30.....	63
Obrázek 7.5: model běhu motoru na volnoběh vozidla 7:00-16:30	63
Obrázek 7.6: průběh koncentrace CO během dne.....	64

Seznam tabulek:

Tabulka 2.1: stupnice PMV.....	14
Tabulka 2.2: kategorie vnitřního tepelného prostředí dle ČSN EN 16798-1.....	14
Tabulka 2.3: návrhové hodnoty operativní teploty v zimě a v létě	19
Tabulka 2.4: relativní vlhkost v obytných místnostech	20
Tabulka 2.5: rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech	20
Tabulka 2.6: korekce	21
Tabulka 2.7: maximální hladina akustického tlaku v místnostech způsobené TZB	21
Tabulka 2.8: limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu	21
Tabulka 2.9: požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1.....	23
Tabulka 4.1: účinky CO ₂ na lidský organismus	26
Tabulka 4.2: vlastnosti jednotlivých zón	30
Tabulka 4.3: vlastnosti jednotlivých zón	32
Tabulka 4.4: vlastnosti jednotlivých zón	34
Tabulka 5.1: průměrné teploty za posledních 10 let; Praha, Karlov	41
Tabulka 5.2: relativní vlhkosti za posledních 10 let; Praha, Karlov	41
Tabulka 5.3: parametry interiérového a exteriérového vzduchu	42
Tabulka 5.4: produkce vodní páry při určitých činnostech [23].....	44
Tabulka 5.5: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 1.02	45
Tabulka 5.6: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 2.01	46
Tabulka 5.7: produkce vlhkosti v jednotlivých místnostech bytu 5.01	47
Tabulka 5.8: trvalé a nárazové větrání pro byt 1.02	48

Tabulka 5.9: trvalé a nárazové větrání pro byt 2.01	49
Tabulka 5.10: trvalé a nárazové větrání pro byt 5.01	49
Tabulka 6.1: frekvence výměny vozidel f	55
Tabulka 6.2: měrné emise jednoho vozidla	58