

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Větrání sociálně zdravotních zařízení

Diplomová práce

Bc. Eliška Moravcová

Vedoucí práce: Ing. Hana Kabrhelová, Ph.D.

Praha, Leden 2024

Vedoucí práce:

Ing. Hana Kabrhelová, Ph.D.
Katedra Technických Zařízení Budov
Fakulta Stavební
České Vysoké Učení Technické v Praze
Technická 2
160 00 Praha 6
Czech Republic

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Moravcová Jméno: Eliška Osobní číslo: 486124Zadávající katedra: 11125Studijní program: Budovy a prostředíStudijní obor/specializace: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Větrání sociálně zdravotních zařízeníNázev diplomové práce anglicky: Ventilation of a Social and Health Facilities

Pokyny pro vypracování:

Projekt vzduchotechniky zadaného domova pro seniory s rozšiřující částí na téma vnitřního prostředí v domovech pro seniory.

Projektová dokumentace obsahující technickou zprávu, výpočet množství větracího vzduchu, dimenze rozvodů, návrh vzduchotechnické jednotky, výkresová část s půdorysy a řezy s trasami rozvodů, řešení technické místnosti Rozšiřující část obsahující analýzu vnitřního prostředí v sociálně-zdravotních zařízeních 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 EN ISO 14644-1: Čisté prostory a příslušné řízené prostředí. Klasifikace čistoty Vzduchu, Český normalizační institut, květen 2005.

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: 3.10.2023Termín 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

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

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

Praha, Leden 2024

.....
Bc. Eliška Moravcová

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou vnitřního prostředí sociálně zdravotních zařízení, se zaměřením na větrání. Práce je rozdělena do tří částí: Teoretická část, která seznamuje s faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí a se speciálními požadavky pro návrh budov sociálně zdravotních. Dále pojednává o rozdílném chování a potřebách obyvatel pečovatelského domu od chování a potřeb dospělých jedinců. A nakonec se zabývá možnostmi zlepšení kvality vnitřního prostředí v pečovatelských domech, důležitostí filtrů ve zdravotnických zařízeních či problémy a údržbou vzduchotechnických systémů. Praktická část představuje koncept návrhu a množství větracího vzduchu, výpočet provedený v programu CADvent a simulace koncentrace CO_2 a vodní páry v programu CONTAM. Projektová část, která je přílohou, sestává z návrhu a výpočtu vzduchotechnických zařízení pečovatelského domu a přilehlé budovy s ordinací.

Keywords: kvalita vnitřního prostředí, vzduchotechnický systém, pečovatelský dům, sociálně zdravotní zařízení, CO_2 , vlhkost

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of the internal environment of social health facilities, with a focus on ventilation. The thesis is divided into three parts: The theoretical part, which introduces the factors affecting the quality of the indoor environment and the special requirements for the design of social and health care facilities. It also discusses the different behavior and needs of nursing home residents from the behavior and needs of adults. And finally, it deals with the possibilities of improving the quality of the indoor environment in nursing homes, the importance of filters in medical facilities, or the problems and maintenance of air-conditioning systems. The practical part consists of a conceptual design, calculation performed in the CADvent program and simulation of CO_2 concentration and water vapor concentration in the CONTAM program. The project part, in the appendix, consists of the design and calculation of the ventilation system of the nursing home and adjacent building with a doctor's office.

Keywords: indoor environmental quality, air handling system, nursing home, health care facility, CO_2 , humidity

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Haně Kabrhelové, PhD. za odborné vedení, ochotu a čas strávený konzultacemi při vypracování této diplomové práce.
Také bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Seznam tabulek

2.1	Celkové zneškodnění znečišťujících látek zelenou infrastrukturou v přeplněných městech [18]	17
3.1	Požadavky na větrání obytných budov [23]	27
3.2	Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostředí [24]	28
3.3	Kategorie kvality vnitřního prostředí podle úrovně ošekávání uživatele . . .	28
3.4	Kritéria pro celkové větrání a přívod vzduchu	29
3.5	Návrhová koncentrace CO_2 v obytných místnostech a ložnicích [25]	29
3.6	Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje (M) vyjádřené v brutto hodnotách a ztráta tekutin za osmihodinovou směnu [26]	30
3.7	Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště, podle třídy práce [26]	30
3.8	Teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u pobytových místností [7]	31
3.9	Třídy čistoty vzduchu ISO podle koncentrace částic (velikost částic je v μm)	31
4.1	Kritéria kategorií kvality vnitřního prostředí na základě přiváděného větracího vzduchu [25]	33
4.2	Zadané hodnoty pro návrh dimenzí vzduchovodů (zadání lze vidět na Obrázku 4.1)	36
4.3	Předpokládaný harmonogram dne	39
4.4	Možnosti kombinací simulací pro proudění vzduchu a kontaminant [28] . .	46
4.5	Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne v jednolůžkovém pokoji	48
4.6	Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne v dvoulůžkovém pokoji - Varianta 1	48
4.7	Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne v ve dvoulůžkovém pokoji - Varianta 2	49
4.8	Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne ve dvoulůžkovém pokoji - Varianta 3	49
4.9	Časový plán vaření v jednolůžkovém pokoji	57
4.10	Časový plán sprchování v jednolůžkovém pokoji	57
4.11	Časový plán sprchování ve dvoulůžkovém pokoji - dvě varianty	59

Seznam obrázků

1.1	Devět základních kamenů zdravých budov [5]	4
2.1	(a) Časový fond všech 384 dobrovolníků v 10 různých pečovatelských domech strávený v různých mikroprostředích budovy nebo mimo ni [%]; (b) Časový fond všech sledovaných pečovatelských domů podle počtu hodin strávených v různých mikroprostředích budovy nebo mimo ni [%] [11] . . .	11
2.2	Změna množství částic $PM_{0,3-0,5}$; $PM_{0,5-1}$; $PM_{1-2,5}$; $PM_{2,5-5}$ a PM_{5-10} v čase v ložnicích (EEC7 a EEC10) a ve společenských místnostech (EEC4 a EEC5) [11]	12
2.3	Průměrná denní expozice (Daily Average Exposure) škodlivinám ve zkoumaných pečovatelských domech [mg/m^{-3}] [11]	13
2.4	Relativní vlhkost ve třech různých pečovatelských domech se třemi různými způsoby větrání [%] [12]	13
2.5	Koncentrace CO_2 ve třech různých pečovatelských domech se třemi různými způsoby větrání [ppm] [12]	14
2.6	Chování tepelné adaptace seniorů ve vnitřním prostředí podle výše uvedeného průzkumu [15]	15
2.7	Chování tepelné adaptace ve vnitřním prostředí praktikované v letním období seniory (plná čára) a dospělých jedinců (přerušovaná čára) ve výše uvedené průzkumu na Taiwanu [15]	16
2.8	Změna tepelné preference seniorů ve vztahu k vnitřní provozní teplotě (T_{op}) [15]	16
2.9	Sankey diagram inteligentní budovy pro seniory [20]	20
2.10	Matice určující úroveň rizika, kterému je pacient vystaven ve větraném zdravotnickém prostředí. [10]	25
4.1	Zadané hodnoty pro návrh dimenzí vzduchovodů	36
4.2	Zadané dimenze	37
4.3	Kalkulace přívodních rozvodů hlavní budovy	37
4.4	Kalkulace odvodních rozvodů hlavní budovy	38
4.5	Kalkulace přívodních rozvodů vedlejší budovy	38
4.6	Kalkulace odvodních rozvodů vedlejší budovy	38
4.7	Zóna Ložnice + KK v jednolůžkovém pokoji	40
4.8	Nastavení flow path mezi místnostmi v interiéru	40
4.9	Nastavení flow path - rozsah konstrukce ($5,59 m^2$) a směr proudění (z Ložnice + KK do Předsíně)	41
4.10	Model místnosti se zadanými zónami, flow paths a vzduchotechnickou jednotkou	41
4.11	Určení vzduchotechnického systému pro model jednolůžkového pokoje . . .	42

4.12	Prívod vzduchu jednolůžkového pokoje do zóny Ložnice + KK 60 m ³ /h . . .	42
4.13	Odvod vzduchu jednolůžkového pokoje ze zóny Ložnice + KK 30 m ³ /h . . .	43
4.14	Definice CO ₂ jako kontaminantu do modelu	44
4.15	Zadání zdroje CO ₂ jako kontaminantu do modelu jednolůžkového pokoje s produkcí 20 l/h	44
4.16	Časový plán vzduchotechnického systému v jednolůžkovém pokoji	45
4.17	Časový plán vzduchotechnického systému v jednolůžkovém pokoji znázorněný graficky	45
4.18	Nastavení simulace	47
4.19	Koncentrace CO ₂ ve jednolůžkovém pokoji	50
4.20	Koncentrace CO ₂ ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem obou osob v obývacím pokoji přes den (Varianta 1)	51
4.21	Koncentrace CO ₂ ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem jedné osoby v obývacím pokoji přes den a jedné osoby v ložnici (Varianta 2)	52
4.22	Koncentrace CO ₂ ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem obou osob v ložnici po celý den (Varianta 3)	52
4.23	Časový plán obsazenosti společenské místnosti	53
4.24	Koncentrace CO ₂ ve společenské místnosti	53
4.25	Definice vodní páry jako kontaminantu do modelu	55
4.26	Zadání zdroje vodní páry jako kontaminantu do modelu, s produkcí 2600 g/h, odpovídající sprchování	55
4.27	Stanovení limitních hodnot v Hx diagramu	56
4.28	Časový plán kontaminantu představující vaření	57
4.29	Časový plán kontaminantu představující sprchování v jednolůžkovém pokoji	58
4.30	Časový plán kontaminantu odvodního prvku v kuchyňském koutě jed- nolůžkového pokoje	58
4.31	Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje	58
4.32	Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje	59
4.33	Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje	59
4.34	Nastavení simulace v modelu pro koncentraci vodní páry	60
4.35	Koncentrace vodní páry v jednolůžkovém pokoji při vaření a sprchování v hlavní místnosti a koupelně	61
4.36	Koncentrace vodní páry ve dvoulůžkovém pokoji při vaření a sprchování v obývacím pokoji s kuchyňským koutem a koupelně - Varianta 1	62
4.37	Koncentrace vodní páry ve dvoulůžkovém pokoji při vaření a sprchování v obývacím pokoji s kuchyňským koutem a koupelně - Varianta 2	63

Obsah

Abstrakt	iv
Abstract	v
Poděkování	vi
Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
1 Vnitřní prostředí	2
1.1 Úvod	2
1.2 Kvalita vnitřního prostředí	3
1.2.1 Osvětlení	4
1.2.2 Hluk	5
1.2.3 Tepelně vlhkostní mikroklima	5
1.2.4 Výměna a kvalita vzduchu	7
2 Budovy sociálně zdravotních zařízení	10
2.1 Pečovatelské domy	10
2.1.1 Chování a potřeby seniorů vzhledem ke kvalitě vnitřního prostředí	10
2.1.2 Možnosti zlepšení kvality vnitřního prostředí domů pro seniory	17
2.2 Zdravotnická zařízení	20
2.2.1 Důležitost filtrů ve vzduchotechnických systémech zdravotnických zařízení	22
2.2.2 Návrh, problémy a údržba vzduchotechnických systémů ve zdravotnických zařízeních	23
3 Normové a legislativní požadavky na větrání	26
3.1 Pečovatelské domy	26
3.1.1 ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov	26
3.1.2 Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.	28
3.1.3 ČSN EN 16798-1 Energetická náročnost budov - Větrání budov	28
3.2 Zdravotnická zařízení a pracoviště	29
3.2.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. - podmínky ochrany zdraví při práci	29
3.2.2 Vyhláška č. 6/2003 Sb.	30
3.2.3 Norma ČSN EN ISO 14644-1	31

4 Praktická část	33
4.1 Koncept návrhu	33
4.1.1 Hlavní budova pečovatelského domu	33
4.1.2 Vedlejší budova s ordinací	34
4.2 Výpočet	36
4.3 Simulace koncentrace CO ₂ v programu CONTAM	39
4.3.1 Cíle a předpoklady simulace	39
4.3.2 Nastavení modelu pro simulaci	39
4.3.3 Simulace	46
4.3.4 Vstupy	47
4.3.5 Výstupy a jejich zhodnocení	49
4.4 Simulace koncentrace vodní páry v programu CONTAM	54
4.4.1 Cíle a předpoklady simulace	54
4.4.2 Nastavení modelu pro simulaci	54
4.4.3 Vstupy	55
4.4.4 Simulace	60
4.4.5 Výstupy a jejich zhodnocení	60
4.5 Zjištění a jejich hodnocení	63
5 Závěr	64
Literatura	68

Obsah práce

Tématem této diplomové práce je problematika vnitřního prostředí sociálně zdravotních zařízení, se zaměřením na větrání, a návrh vzduchotechnického systému pečovatelského domu pro seniory. Práce je rozdělena do tří částí:

- **Teoretická část**, jejímž cílem je řešerše pro kvalitní a efektivní návrh vzduchotechnického systému zajišťující kvalitní vnitřní prostředí objektu s obyvateli staršího věku. A seznámení s dalšími faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí a speciálními požadavky pro návrh budov sociálně zdravotních.
- **Praktická část** představuje koncept návrhu množství větracího vzduchu a výpočet provedený v programu CADvent. Dále také ověření v programu CONTAM, zda-li návrh splňuje I. kategorii kvality vnitřního prostředí. To bylo provedeno pomocí simulace koncentrace CO_2 (v denním a nočním režimu) a vodní páry (při vaření a sprchování) v modelech jednolůžkového a dvoulůžkového pokoje zkoumaného objektu. Ve společenské místnosti je simulace zaměřena pouze na koncentraci CO_2 .
- **Projektová část**, která je přílohou, sestává z výkresové dokumentace vzduchotechnického zařízení hlavní budovy pečovatelského domu a vedlejší budovy s ordinací, výpočtové dokumentace, technické zprávy a technických listů použitých prvků v návrhu.

Kapitola 1

Vnitřní prostředí

1.1 Úvod

Lidé ve vnitřním prostředí budov prožijí podstatnou část svého života, minimálně tu část strávenou odpočinkem a spánkem, která činí přibližně třetinu dne. Délka pobytu ve vnitřním prostředí domácnosti je odlišná v různých fázích lidského života. Lidé žijící v pečovatelských domech stráví ve vnitřním prostředí mnohem více času a jsou mnohem více náchylnější k nemocem a k vlivům okolního prostředí. Kvalitu života ve vnitřním prostředí ovlivňuje klimatická zóna, geografické umístění, pohlaví, a věk dále také vlastnosti budovy a činnost člověka v ní žijící. Rozhoduje jejich počet a druh činnosti, dále také intenzita a frekvence větrání, frekvence úklidu, vytápění nebo množství a druh rostlin, přítomnost zvířat apod. Věk je poměrně zásadním faktorem, jelikož se odhaduje, že světová populace vzroste mezi lety 2000 až 2050 z 6,1 miliardy na 9,7, přičemž podíl starších osob, tedy osob starších 60 let, se zvýší z 10 % na 21,8 %. Je známo, že až 50 procent nemocí souvisí s kvalitou vnitřního prostředí. A jednou ze základních potřeb člověka, ostatně stejně jako všech živočichů, je dýchat, tudíž ve vnitřních prostorech větrat, tedy zajistit přivádění čerstvého vzduchu do pobytového prostoru a odvod vzduchu znehodnoceného. Větrání, je jeden z mnoha aspektů, kterým se dá markantně ovlivnit kvalita vnitřního prostředí a má prokazatelný vliv na lidské zdraví. [1]–[4]

V současnosti je kladen důraz na tepelně-technické vlastnosti obytné budovy, v souvislosti s vysokou cenou energií, důrazem na udržitelnost a ekonomičnost při provozu budovy. Tudíž infiltrace okenními spárami, která dříve umožňovala trvalé přirozené větrání, není s novými těsnými okny možná. Instalace takovýchto neprůvzdušných oken při rekonstrukci v budově, kde infiltrace dříve zajišťovala přirozené větrání nebo do novostavby s nevhodným řešením větrání, může vést k velice nepříjemným nežádoucím důsledkům, jako jsou třeba například: vyšší koncentrace škodlivin ve vnitřním prostředí, zvýšená vlhkost -

tedy třeba i kondenzace vodní páry na chladném povrchu konstrukce, růst plísní a vlhnutí konstrukce. Proto je správný návrh větrání v obytných budovách, obzvláště pak v budovách určených pro péči o seniory či budovy zdravotních zařízení naprosto zásadní.

Tato diplomová práce se zabývá kvalitou vnitřního prostředí obytných budov (obytná část pečovatelského domu) a zdravotních zařízení. [1]–[3]

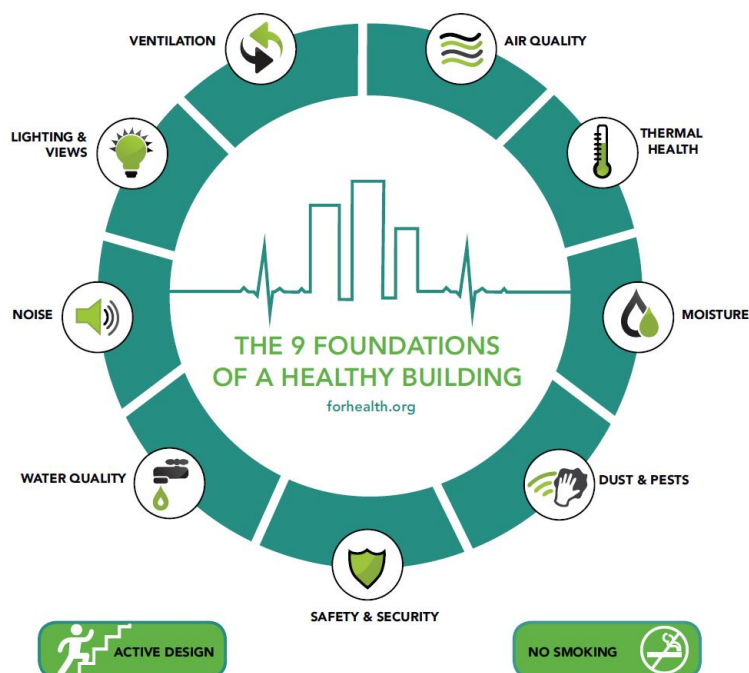
1.2 Kvalita vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí je charakterizováno škálou fyzikálních, chemických a biologických parametrů, které mají vliv na fyzický a psychický stav člověka. Celkový účinek souboru určitých parametrů vyjadřuje tepelný a vlhkostní stav prostředí, kvalitu (čistotu) ovzduší, osvětlení a akustiku prostředí. Důvody pro úpravu stavu prostředí jsou hygienické, technologické, biologické a bezpečnostní. V obytných prostředích a hlavně ve prostředích zdravotních zařízení jsou to hlavně důvody hygienické, definující požadavky na stav a kvalitu prostředí. Kvalitu vnitřního prostředí ovlivňuje, krom vlastností budovy (použitý materiál, stavební technologie, kvalita technických zařízení a kvalita provedených prací) a činnosti člověka, také způsob užívání či provozu dané budovy. Je možné kvalitu vnitřního prostředí narušit nevhodným provozem objektu, jako třeba přetápění jedné části nebo naopak nevytápění či nevětrání jiné části pod záminkou úspory, nebo naopak podpořit nastavením zimního a letního provozu vzduchotechnické jednotky. Právě správný provoz a údržba technických zařízení, která ovlivňují vnitřní prostředí, jsou závislé na správě uživatele budovy a častokrát jsou podceněny či zanedbány. Nebo uživatel není obeznámen s funkcionalitami zařízení a jeho správným provozem. [1], [2]

Zdravé budovy

Existuje mnoho odborníků, kteří se rozhodli zaměřit na jeden aspekt kvality vnitřního prostředí - specialista na hospodaření s vodou, specialista na kvalitu vnitřního vzduchu apod. Ale často nedochází ke komunikaci mezi těmito disciplínami. Aby byl návrh úspěšný a mohl se označovat jako "Healthy building", je vyžadován holistický přístup, který řeší řadu faktorů a systémů a nutí tak spolupráci mezi jednotlivými specializacemi. Experti z Harvardské university z oboru "Healthy Buildings program" určili, za účelem simplifikace výsledků jejich výzkumu, 9 fundamentálních faktorů zdravých budov, vycházejících ze 40 let výzkumu a interakce v průběhu posledních pár let s realitními makléři, vlastníky nemovitostí, provozovateli nemocnic a jiných objektů a akademickými kolegy (viz Obrázek 1.1). A těmi jsou: osvětlení a viditelnost (lighting & views), hluk (noise), teplotní pohoda (thermal health), vlhkost (moisture), ventilace (ventilation), kvalita vnitřního vzduchu (air qua-

lity), kvalita vody (water quality), prach a škůdci (dust & pests) a bezpečnost (safety & security). Já se v další části zaměřím na prvních šest těchto faktorů. [5]



Obrázek 1.1: Devět základních kamenů zdravých budov [5]

1.2.1 Osvětlení

Denní světlo je nezbytně nutné pro člověka a jeho cirkadiánní rytmus, ten je podporován pokud je člověku dáno světlo ve správném množství, ve správném spektru a ve správný čas. To má obrovský vliv na zdraví jak fyzické, tak hlavně psychické. Teplota chromatičnosti určuje spektrum bílého světla, jinými slovy jeho odstíny. Výzkumy dokazují, že při studeném modrém světle ve školách či kancelářích, se zvyšuje výkon subjektů, jsou více ostražití, lépe se koncentrují a mají rychlejší kognitivní funkce. Proto ovšem tento typ světla není vhodný do míst a v čase, kdy a kde se chystáme ke spánku. Nové technologie umožňují imitovat měnící se odstíny denního světla, kdy ráno a večer jsou barvy teplejší (jako při východu a západu slunce) a během dne je světlo studené až modré. Důležité je i proslunění prostoru (ozáření přímým slunečním světlem), nejen že přispívá k vyhřátí interiéru, má baktericidní účinky, ale hlavně podporuje zdravý rozvoj organismu a zvyšuje jeho odolnost a pozitivně působí na psychiku, duševní stav a náladu člověka. [2], [5]

1.2.2 Hluk

Hladina hluku v budovách je ovlivňována lokací, hlukem mechanických systémů, návrhem stěnových konstrukcí a oken a akustickými vlastnostmi materiálů ve vnitřním prostředí. Záleží také na typu budovy a účelu využití místností, protože společenská místnost nebo chodba bude mít jiné požadavky na hluk než ložnice ve stejném objektu. V obytném prostředí se setkáme pouze v extrémních případech s hlukem, který by mohl poškodit sluch. Většinou, pokud dochází k nepříznivým dopadům hluku, tak se jedná o hluk, který by mohl zapříčinit sluchovou únavu nebo psychický rozklad organismu. Dalšími nepříznivými účinky hluku mohou být poruchy spánku, změna krevního tlaku, stres, zvýšená hladina adrenalinu a noradrenalinu. Nové výzkumy dokazují také korelaci mezi hlukem a kardiovaskulárními onemocněními. A tomu všemu se snažíme předejít, proto je důležité nejprve definovat odlišné "zóny hluku" s různými požadavky na maximální dosažitelnou hladinu akustického tlaku na základě účelu využití. Minimalizovat přenos hluku mezi zónami a infiltraci hluku z vnějšího prostředí. Zajistit použití materiálů v budově pohlcujících zvuk a minimalizujících dozvuk. A zvážit využití technologií potlačujících hluk, pokud není možné dosáhnout kontroly hluku pouze za pomoci předchozích kroků. [2], [5]

1.2.3 Tepelně vlhkostní mikroklima

Tepelně vlhkostní mikroklima je soubor faktorů (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu), jejichž úpravami se dá docílit tepelné pohody člověka. Tepelná pohoda je zachování tepelné rovnováhy (což je rovnost mezi produkovaným tepelným tokem a tokem tepla, který je tělu odnímán - sáláním, konvencí, vypařováním, dýcháním a vedením) za optimálních fyziologických podmínek člověka, se jedná subjektivní poct. Krom výše uvedených, můžeme mezi tyto faktory zařadit ještě povrchovou teplotu okolních ploch, vertikální a horizontální gradient teploty, intenzitu turbulence. Dále také veličiny, které se nedají ovlivnit návrhem budovy nebo vzduchotechnického systému, vyjadřující momentální stav člověka, jako jsou intenzita lidské činnosti (aktivita) nebo tepelný odpor oděvu, mimo to svůj vliv mají i nezávislé faktory jako pohlaví (například ženy, jelikož mají silnější podkožní tukovou vrstvu a tím jsou termoreceptory v kůži izolovány od zdroje tepla, kterým je v zimě jejich teplokrevný organismus, tak požívají nižší teplotu než jedinci s nižší tukovou vrstvou), genetika, stáří (u jedinců vyššího věku může dojít jak k podchlazení, tak k přehřátí v důsledku lability termoregulačních mechanismů, k selhání termoregulace může dojít jak vlivem chladu tak i tepla působícího prostředí) a zdravotní stav člověka.

Tepelná pohoda

Nejvýznamnější vliv na člověka má právě tepelná pohoda prostředí. Plného výkonu, při téměř jakékoliv činnosti, je schopen člověk při teplotě 22°C, schopnost podávat plný výkon klesne o 25 % při teplotě 27°C a při dosažení teploty 30°C schopnost podat plný výkon klesne na polovinu. Proto jsou studenti unavení v přetopených třídách. [2], [6]

Dalším často zmiňovaným důsledkem vysoké teploty v místnosti je uvolňování chemických látek do ovzduší z materiálů použitých v interiéru. Tuto hypotézu ale vyvrací prof. Fanger a jeho kolegové z Technické university v Lyngby svými výsledky výzkumu, kde podrobili velké množství materiálů používaných v interiérech stavby stoupající teplotě a relativní vlhkosti vzduchu. Výsledky ukázali, že pokud teplota prostředí nepřesáhne 28°C a relativní vlhkost 60 %, uvolňování chemických látek (těkavé organické látky a formaldehyd) nebude výrazně ovlivněno. [2], [6]

Relativní vlhkost vzduchu

S teplotou neodmyslitelně souvisí relativní vlhkost, což je veličina vyjadřující nasycenost vzduchu vodními parami. Relativní vlhkost vzduchu v interiéru převážně, vyjma otopného období, kopíruje hodnoty venkovního prostředí. V zimním období je třeba vzduch vlhčit, protože v důsledku vymrzání klesá obsah vzdušné vlhkosti ve venkovním prostředí a ve vnitřním prostředí relativní vlhkost klesá důsledkem vytápění a větráním suchým venkovním vzduchem. Optimální hodnota relativní vlhkosti se pohybuje mezi 35 % až 50 %. Při trvale převyšující hodnotě relativní vlhkosti 50 % dochází k vytvoření ideálních podmínek pro růst plísní (přestože vyhláška uvádí jako maximální hodnotu relativní vlhkosti vzduchu pro pobytové místnosti 65 % [7]). Krom důvodů hygienických a estetických (růst plísní) je třeba aby nedocházelo ke zvýšené vlhkosti vzduchu i z důvodů ekonomických, krom nákladů na odstraňování plísně ze stěn, je důležité zabránit orosování stěn. Tepelná vodivost materiálu roste se zvyšující se vlhkostí a tak klesá jeho tepelně izolační schopnost, spolu s tím se ztrácí komfort prostředí a rostou náklady na vytápění. Podle výsledků experimentu *"Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality"* většina lidí vnímá teplejší a vlhčí vzduch jako vzduch více znečištěný, i když byli vystaveni vzduchu čistému bez škodlivin. Naopak při nízkých hodnotách relativní vlhkosti vzduchu může dojít k vysušení sliznic obyvatel místnosti, podráždění očí, chrapotu či sípání, v extrémních případech až ke zdravotním potížím. Tento problém většinou nastává v centrálně vytápěných panelových domech. Obyvatel místnosti může krátkodobě upravovat vlhkost vzduchu zvlhčovačem, avšak ten vyžaduje nezbytnou trva-

lou údržbu, jinak začne produkovat mikrobiální znečištění do vnitřního ovzduší. Relativní vlhkost vzduchu je ovlivňována činnostmi prováděnými v místnosti (vaření, žehlení, sušení prádla, sprchování či koupání), dále také záleží na tom, jestli místnost není příliš naplněna lidmi nebo i rostlinami. [1], [2]

1.2.4 Výměna a kvalita vzduchu

Další nezbytností pro kvalitní vnitřní prostředí, spolu s teplotou a relativní vlhkostí vzduchu, je výměna vzduchu, zprostředkovaná větráním přirozeným či nuceným. Kvalitu vnitřního ovzduší ovlivňují znečišťující látky ze zdrojů z vnitřního či venkovního prostředí, ty mohou být, podle zvolené metody větrání, z prostoru odstraňovány (odsáváním) nebo ředěny (celkovým větráním). Požadavky na minimální a doporučenou hodnotu intenzity větrání a přiváděného vzduchu na osobu uvádí norma zmíněná v Kapitole 3. Větrání by nemělo způsobovat průvan a mělo by být kontrolované tak, aby rychlost proudění vzduchu v obytném pásmu osob obytných budov nepřesáhla v letním období rychlost $0,2 \text{ m/s}$ a v zimním období $0,25 \text{ m/s}$. Kvalita vnitřního vzduchu je závislá zejména na:

Kvalitě venkovního vzduchu: Venkovní vzduch je kontaminovaný lidskou činností neustále, ať už se jedná o průmysl (energetický, metalurgický, stavební, chemický), dopravu, lokální vytápění a další. Emise z dopravy jsou nezanedbatelným zdrojem znečištění ovzduší ve městech po celém světě. Znečišťujícími látkami mohou být částice $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($PM_{2,5}$), ultrajemné částice (UFP 100nm), dále také plynné znečišťující látky, jako je oxid uhelnatý (CO) a oxidy dusíku (NO_x), oxid siřičitý (SO_2). Průměrná koncentrace $PM_{2,5}$ za 24 hodin navrhované WHO byla $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, přesto v odborném článku zabývajícím se vlivem zelené infrastruktury na seniory [8] bylo konstatováno, že na silnicích mnoha světových měst byla koncentrace mnohem vyšší. Právě $PM_{2,5}$ má nepříznivé účinky hlavně na starší lidi i při nízkých úrovních expozice. Venkovní prostředí dále obsahuje polycyklické aromatické uhlovodíky, arzén, berylium, fluor, alifatické uhlovodíky, aldehydy, olovo a jiné kovy a řadu dalších chemických látek. Větráním se všechny tyto látky obsažené ve venkovním vzduchu dostávají do interiéru budov. [2], [8]

Intenzitě větrání

Objemu vzduchu připadající na jednu osobu: Ten se obvykle určuje podle národních norem a předpisů v závislosti na účelu místnosti (jaká práce se v ní bude vykonávat) a druhu obyvatel místnosti (dospělí, starší lidé, děti apod.).

Kdy se větrá: Pokud je výměna vzduchu zprostředkovaná vzduchotechnickou jednotkou a ta se v průběhu dne vypne (příkladem může být vzduchotechnika v administrativní budově a její vypnutí po skončení pracovní doby nebo na víkend), tak budova ztrácí tlakovou vyrovnanost vůči vnějšímu prostředí a přichází a recykulovaný vzduch není fil-

trovaný. Proto vzniká spousta nových cest skrze praskliny, štěrbiny, otvory oken, dveří a v extrémních případech skrze elektrické zásuvky kudy se znečištěný venkovní vzduch dostává do vnitřního prostředí. A jakmile je uvnitř, tak neprochází přes filtr, kde by byly znečišťující částice zachyceny. Důsledkem pak může být průnik cigaretového kouře z ulice, škodlivin z podzemních garáží nebo návrat znehodnoceného vzduchu z výdechů restauračních zařízení. [5]

Stupni filtrace: Typický filtr používaný v budově s centrální vzduchotechnickou jednotkou je MERV 8, kde MERV znamená "Minimum Efficiency Reporting Value" tedy minimální vykazovaná hodnota účinnosti a čím větší hodnota MERV, tím větší účinnost. MERV 8 filtry dokáží zachytit přibližně 50 % částic $PM_{2.5}$, a je tedy prakticky určen pro zachycení větších částic, které by mohly poškodit vnitřní mechanické zařízení. Proto pokud se budova vyskytuje v oblasti s vyšší koncentrací škodlivin ve vzduchu (velkoměsta, nebo místa ovlivňována lesními požáry jako je například San Francisco, kde úroveň $PM_{2.5}$ dosahuje $100\mu m/m^3$ nebo dokonce $1000\mu m/m^3$ tedy úrovně přímo ohrožující zdraví) je vhodné implementovat filtr o vyšší účinnosti jako je MERV 13 nebo vyšší, ten má účinnost skoro 90 % pro částice $PM_{2.5}$. Filtry s ještě vyšší účinností, tedy "High-efficiency particulate air" (HEPA) filtr, ty mají téměř stoprocentní účinnost, ovšem na balení uvádějí účinnost 99,97 % a to protože tyto filtry jsou hodnoceny na základě velikosti částic, pro kterou jsou nejméně účinné. HEPA filtry jsou nejméně účinné pro částice $0,3\mu m$. Pořizovací ceny jsou vyšší a i se zvýší cena za energii (filtr vytváří větší tlakové ztráty), ale to je v porovnání se zdravotními benefity zanedbatelné. [5]

Koncentraci škodlivin: Prvním krokem by mělo být vyhnout se aplikaci předmětů, které mohou být zdrojem škodlivin do budovy. Pokud ovšem není možné ovlivnit zdroj, je vhodné opatřit recyrkulační proud filtrem. Nejlépe filtrem který dokáže zachytit plynné škodliviny, jako jsou těkavé organické látky, také známé pod zkratkou VOC (volatile organic compound). Takovým filtrem je filtr na bázi uhlíku. Ty ovšem vyžadují určitou zkušenost od provozovatele, protože při jejich nasycení, na rozdíl od filtrů, které zachycují částice (čím více se nasycuje, tím více částic zachytí), po nasycení propouští více. Příklady škodlivin ve vzduchu mohou být:

- Pachy a vůně (oděry)
- Prach - Tvoří pevné částice - větší částice sedimentující na povrchy a menší částice tvořící tzv. respirabilní frakci. V ovzduší jsou ve formě aerosolu, jsou vdechnutelné člověkem. Prevencí je úklid a větrání. Limitní hodinová koncentrace pro frakci PM_{10} (převládající průměr prachových částic do průměru $10\mu m$) je $50\mu g/m^3$ a pro frakci $PM_{2.5}$ je to $80\mu g/m^3$
- Oxid uhličitý (CO_2) - V interiéru se CO_2 vyskytuje více než v exteriéru a se

zvyšováním jeho koncentrace stoupá koncentrace vodní páry ve vzduchu, limitní hodnota dána stavební vyhláškou [9] CO_2 pro vnitřní prostředí 1500 ppm

- Oxid uhelnatý (CO) - Vzniká nedokonalým spalováním paliv (plynu, uhlí, topného oleje, dřeva) za spotřeby kyslíku, tedy u kamen na pevná paliva, špatně odvětrávaných karech nebo u otopných těles na plyn bez dostatečného odtahu, v bytech v blízkosti garáží, kouřením tabákových výrobků. Limit pobytového prostředí je $5000 \mu g/m^3$
- Organické těkavé sloučeniny (VOC) - Zdrojem jsou čisticí prostředky, kouření, deodoranty, rozpouštědla, osvěžovače vzduchu, nátěry, oleje, lepidla, koberce, podlahoviny, barvy a laky. Mají výrazný zápach, některé jsou dráždivé s alergickým účinkem, některé jsou karcinogenní.
- Formaldehyd - potencionální karcinogen, dráždivý a mutagenní plyn s velmi negativními vlivy na lidské zdraví. Zdrojem jsou samy stavební materiály (nábytek - pojivo dřevotřísek, podlahoviny, plasty, tapety, koberce, nátěry, těsnící tmely. Nutná kontrola zdrojů a větrání. Limitní je v obytné místnosti hodnota $60 \mu g/m^3$
- Radon - Zachycením dceřiných prvků radonu v dýchacích cestách a ozařováním při svém rozpadu tkáně, vznikají zhoubné nádory. Ionizující záření se může do budovy dostat z podloží nebo uvolňováním ze stavebních materiálů. Ochranou je trvalé větrání.

Oxidy dusíku (NO_x), oxid siřičitý (SO_2), tabákový kouř, metan, mikroorganismy a i vodní pára je považována za škodlivinu. Navzdory tomu že je vodní pára přirozenou součástí vzduchu, při jejím nedostatečném odvodu může docházet ke kondenzaci či důsledkem vysoké vlhkosti růstu plísní.

Kontroly a údržbě: Budovy ne vždy fungují tak jak byly navrženy a v průběhu času se mění. A tak se mění i vnitřní kvalita vzduchu ať už změnou vnitřního systému nebo účelu využití až po vnější podmínky. Proto pravidelná kontrola napomáhá podchytit problém v raném stádiu a ušetřit si případné pozdější vysoké náklady. Díky sensorové technologii je možné provádět neustálé kontinuální kontroly a ujistit se tak že systém budovy funguje tak jak má. Monitorováno by mělo být CO_2 , teplota, relativní vlhkost a částice a pokud se v objektu nachází nějaké zdroje spalin (jako třeba bojler), tak i CO. [5]

Kapitola 2

Budovy sociálně zdravotních zařízení

Zdravotnictví, medicína a technologie jí nápomocné se progresivně inovují, důsledkem toho je neustálá potřeba přehodnocovat význam nemocničního mikroklimatu. Je dokázáno, že správné větrání, tedy správná filtrace vzduchu a dosažení potřebného rozdílu tlaku mezi nejvíce ohroženými prostředími, napomáhá prevenci přenosu některých nemocí a omezuje nebo dokonce eliminuje šíření fyzických a chemických kontaminantů.

Pravdou také je, že instalace, údržba a náklady na energii na systémy zajišťující kvalitu vnitřního prostředí (vytápění, chlazení a vzduchotechnika) jsou vysoké a jejich cena roste. Proto pro udržitelný HVAC systém (z anglického Heating, Ventilating, and Air-Conditioning) je důležité správné zhodnocení nezbytnosti instalace systému, jeho promyšlený návrh a v neposlední řadě účinné čištění a údržba systému. Dále také schopnost provozovatele nebo správce budovy systém správně provozovat.

Jelikož se jedná o budovy, které obývají osoby s oslabeným imunitním systémem, osoby nemocné nebo v pokročilejším věku, je proto důraz na čistotu a klimatický komfort o to větší. [10]

2.1 Pečovatelské domy

2.1.1 Chování a potřeby seniorů vzhledem ke kvalitě vnitřního prostředí

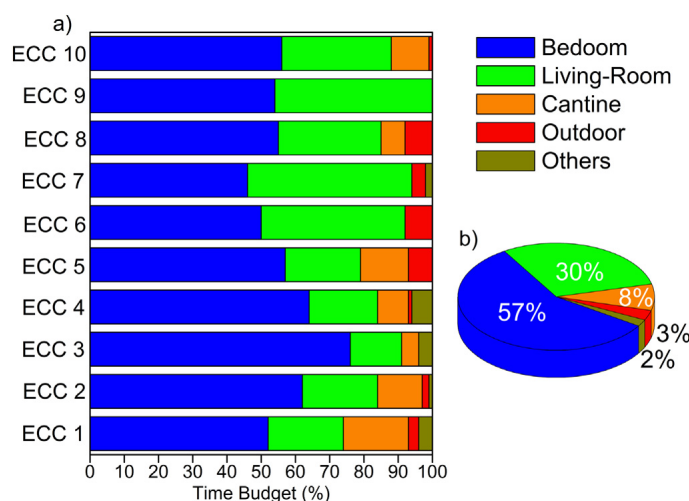
Budovy a jejich technické systémy jsou navrhovány tak, aby splňovaly lidské potřeby, a to co nejefektivněji. Většina současných standardů je založena na potřebách průměrného dospělého člověka, přestože některé studie již zkoumaly rozdíly mezi požadavky na vnitřní prostředí mezi mladou a starší populací. Proto je dobré znát potřeby lidí pro které je

budova navrhována a znát zároveň jejich chování, aby jim byla technologie a zařízení korektně uzpůsobena.

Senioři jsou, stejně jako děti, považováni za "citlivou" (zranitelnou populaci). Protože jsou studie na téma kvality vnitřního vzduchu v pečovatelských domech pro seniory vzácné, porovnávají se většinou výsledky s výsledky ze školských prostředí. Ovšem chování školáků a seniorů je rozdílné - děti jsou neustále aktivní a to například podporuje vyšší resuspenzi prachu, zatímco senioři mají sníženou pohybovou kapacitu. [11]

Kvalita vzduchu v pečovatelských domech

Podle výzkumu nazvaného "Elderly exposure to indoor air pollutants" publikovaného v Atmospheric Environment, provedeného v 10 různých pečovatelských domech (EEC z anglického Elderly Care Center), tráví senioři v průměru 95 % svého času ve vnitřním prostředí budovy a to převážně v ložnici ("bedroom" 57 %) a ve společenských místnostech ("living-room" 30 %). Čas strávený v různých mikroprostředích je vidět na Obrázku 2.1. [11]

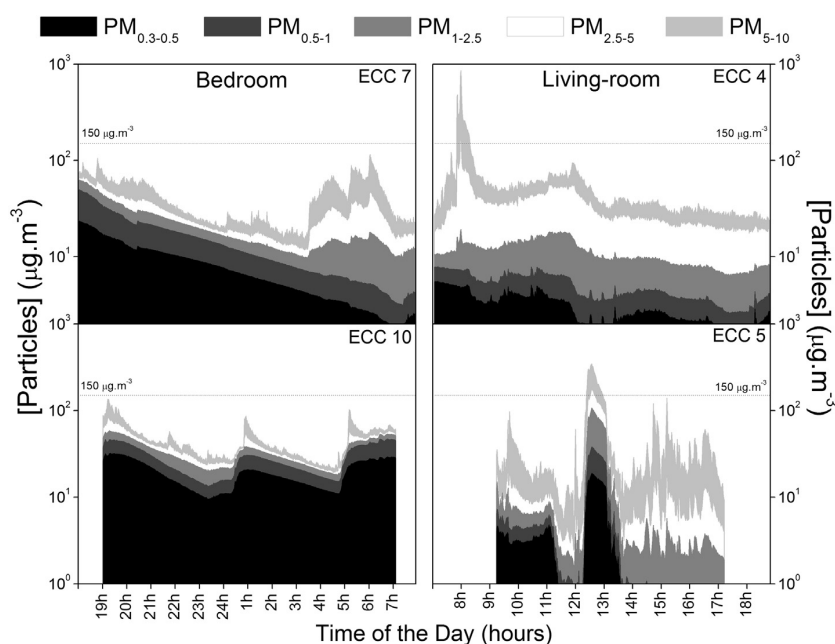


Obrázek 2.1: (a) Časový fond všech 384 dobrovolníků v 10 různých pečovatelských domech strávený v různých mikroprostředích budovy nebo mimo ni [%]; (b) Časový fond všech sledovaných pečovatelských domů podle počtu hodin strávených v různých mikroprostředích budovy nebo mimo ni [%] [11]

Čas trávený v daném mikroprostředí je ovlivněn náplní dne daného pečovatelského domu, kde například v pečovatelských domech 1 a 7 (EEC1 a EEC7) jsou všichni obyvatelé domu vyzýváni k přemístění do společenské místnosti. Naproti tomu v EEC3 je čas strávený v ložnicích ovlivněn velkým počtem obyvatel pečovatelského domu upoutaných na lůžko. [11]

Na Obrázku 2.2 jde vidět množství částic (particles) PM v čase (Time of the Day), přesněji v hodinách (hours), ve společenských místnostech (přes den) a ložnicích (přes

noc). V ložnicích je možné pozorovat pokles částic v průběhu noci a jejich následné rozptýlení při raním vstávání seniorů. Vrcholy v průběhu noci mohou být způsobené pravidelnou kontrolou ze strany personálu pečovatelského domu. Vrcholy ve společenských místnostech mohou být způsobeny příchodem všech obyvatel pečovatelského domu, kdy dochází k resuspenzi částic a následnému zvýšení jejich koncentrace. To samé se může dít v poledne, kdy je v některých domech ve společenské místnosti podáván oběd. Podobné výsledky průměrných koncentrací částic vykazovaly studie prováděné v Amsterdamu a v Helsinkách. [11]

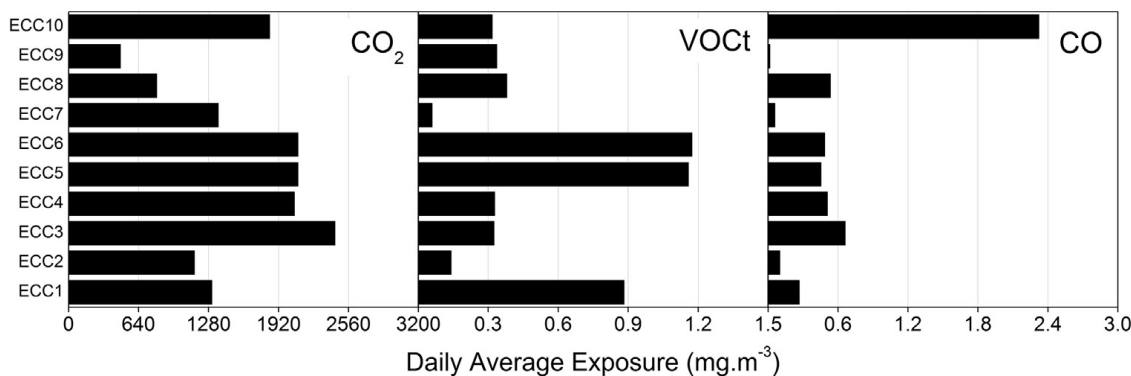


Obrázek 2.2: Změna množství částic $PM_{0.3-0.5}$; $PM_{0.5-1}$; $PM_{1-2.5}$; $PM_{2.5-5}$ a PM_{5-10} v čase v ložnicích (EEC7 a EEC10) a ve společenských místnostech (EEC4 a EEC5) [11]

Z tohoto experimentu také vzešlo to, že v domech, kde nebylo využíváno mechanické větrání a větralo se kontinuálně ventilací, byli seniori nejméně vystaveni CO_2 (ECC9) viz Obrázek 2.3. Ale ovšem jelikož tato škodlivina vzniká v ložnicích při jejich obývání, prostory ložnic jsou menší a okna se během noci obvykle v pečovatelských domech zavírají, a to vše způsobuje, že v průměru v 70 % případů byly ložnice místem, kde byli seniori nejvíce vystaveni CO_2 . [11]

Za pomoci tohoto výzkumu bylo zjištěno, že z celkové koncentrace CO více jak 60 % se vyskytovalo v ložnicích, přestože CO spojeno se spalovacími procesy není produkováno v ložnici. Je možné že k tomuto jevu došlo kvůli odsávání znehodnoceného vzduchu na toaletách u ložnice, který vytváří podtlak a tím transport vzduchu společně se znečišťujícími látkami z prostor domu skrze nedostatečně větranou ložnici na toaletu. [11]

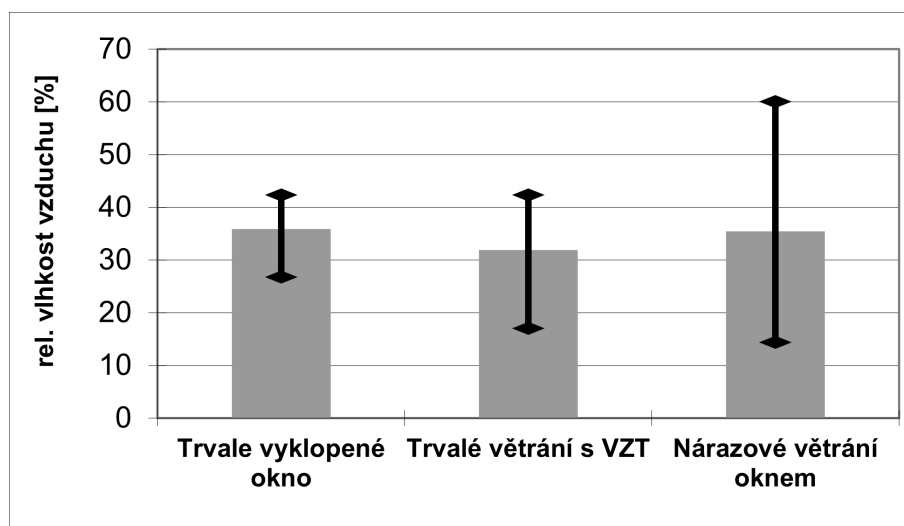
Podobné měření bylo proveden i České Republice společností EkoWATT, kde se ve třech pečovatelských domech se třemi různými způsoby větrání (trvale pootevřené okno,



Obrázek 2.3: Průměrná denní expozice (Daily Average Exposure) škodlivinám ve zkoumaných pečovatelských domech [mg/m^{-3}] [11]

nárazové větrání oknem a větrání za pomoci vzduchotechnického systému), zkoumala relativní vlhkosti a koncentrace CO_2 ve vzduchu.

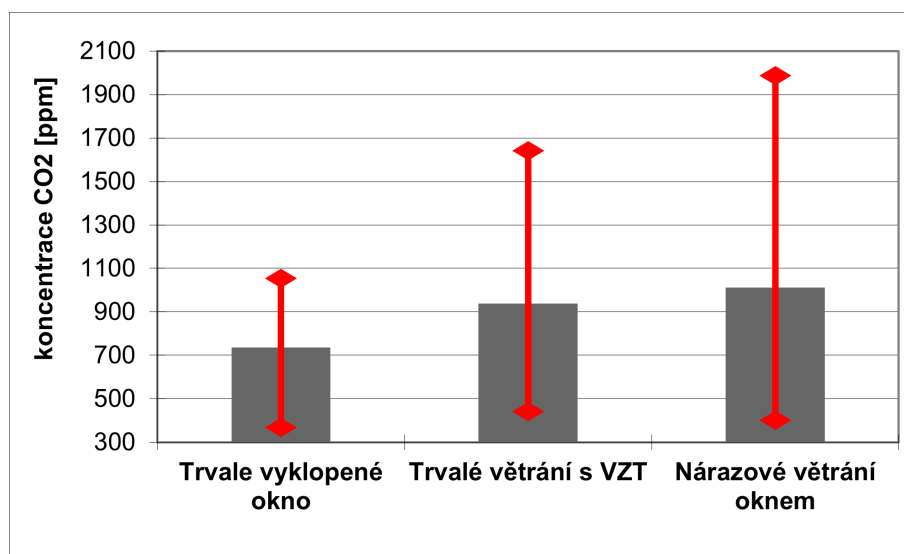
Nejsušší vzduch byl naměřen v pečovatelském domě s VZT systémem, kde si i personál stěžoval na zvýšenou nemocnost obyvatel domu. Což může být způsobeno suchým vzduchem, ten totiž vysušuje sliznice a ty jsou pak méně odolné vůči bakteriím a virům. VZT systém by bylo vhodné opatřit vlhčením vzduchu. Výsledky měření relativní vlhkosti mohou být viděny na Obrázku 2.4. [12]



Obrázek 2.4: Relativní vlhkost ve třech různých pečovatelských domech se třemi různými způsoby větrání [%] [12]

Pomocí měření koncentrace CO_2 , bylo zjištěno, že při nárazovém větrání a při větrání za pomoci vzduchotechnického systému byla překročena hranice 1500 ppm. VZT systém nebyl opatřen žádným měřicím čidlem. Při větráním pootevřeným oknem nepřesáhla koncentrace CO_2 ani 1100 ppm, avšak tento způsob větrání vede k vytápění na vyšší teplotu, což vede k vyšší spotřebě, ale také vysoušení vzduchu. Průměrné hodnoty nepřekročili v žádném z domů hodnotu 1000 ppm. Výsledky měření koncentrace CO_2 mohou být viděny

na Obrázku 2.5. [12]



Obrázek 2.5: Koncentrace CO_2 ve třech různých pečovatelských domech se třemi různými způsoby větrání [ppm] [12]

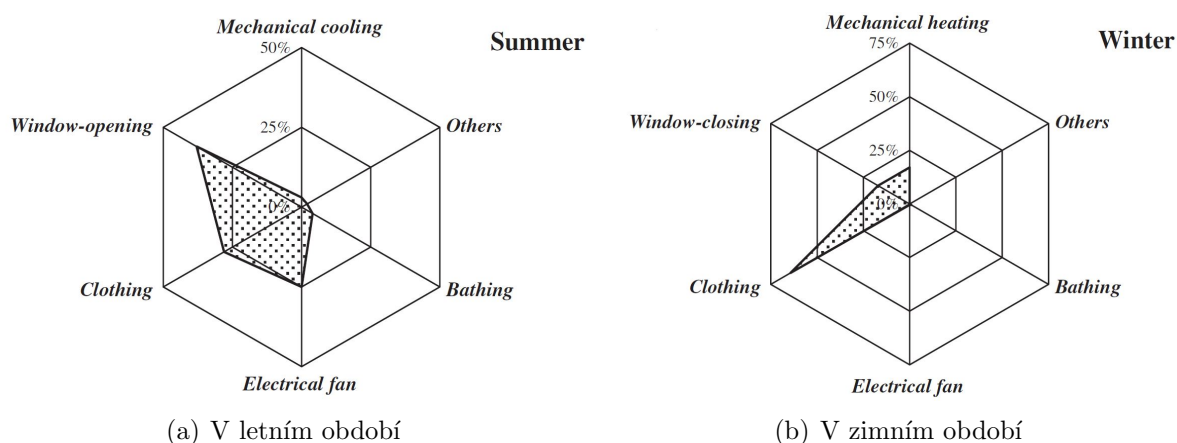
Tepelný komfort seniorů

Seniori mají užší přijatelné teplotní rozmezí ve stabilním prostředí. Zároveň nejzásadnější vliv na neutrální teplotu a tepelnou citlivost lidí má místní klima. Proto je vhodné zkoumat tepelný komfort v daném klimatickém pásmu, aby byly určeny korektní environmentální standardy vhodné pro starší populaci dané lokality. Krom poklesu fyziologických funkcí seniori žijící ve vlastním obydlí také čelí, kvůli nepříliš vysokým příjmům, tzv. "fuel poverty" což je stav, kdy je 10 % z příjmů či více utraceno za udržení dostačujícího tepelného komfortu v domácnosti. Tradiční metodou pro snížení teploty v letním období ve vnitřním prostoru je použití klimatizačního systému, ale to má značnou spotřebu energie. Náklady na provoz a údržbu těchto systémů jsou pro mnoho seniorů neúnosně velké. A navíc starší lidé mají mnohdy potíže pochopit ovládací prvky těchto systémů, tudíž není zaručena správná funkce systému. Alternativou k dosažení tepelné pohody by mohlo být vytvoření mikroklimatu obklopující lidské tělo, ochlazující určité části těla. Některé studie, pomocí výpočtů váhových faktorů lokálního tepelného vjemu pro různé části těla vzhledem k celkovému tepelnému vjemu, došli k závěru, že spodní část těla má menší vliv na celkový tepelný vjem než horní část těla. Proto se jako účinné jeví chlazení horní části těla a hlavy v teplém neutrálním klimatu. Avšak účastníky těchto studií často tvořili skupiny mladých dospělých, zatímco na starší populaci bylo těchto výzkumů provedeno velmi málo, proto není zcela jasné zdali by byly stejné výsledky pozorované i nich. Příkladem je využití ventilátorů během simulovaných veder, kdy mladí dospělý, podle výzkumu Nicholase M. Ravanelliho & Ollie Jay a spol. publikovaného pod názvem: "Electric fan use in

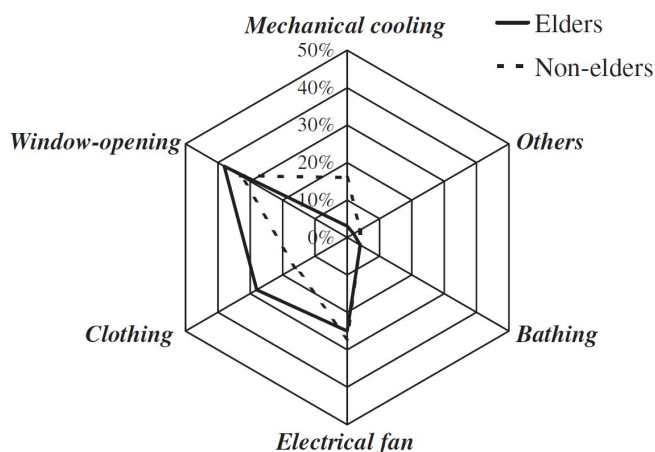
heat waves: Turn on or turn off?” reagovali pozitivně [13], zatímco výsledky obdobného výzkumu Daniela Gagnona & Craiga G. Crandalla *”Electric fan use during heat waves: Turn off for the elderly?”* aplikovaného na starších lidech (ve věku 61 - 71 let) , nedosáhl stejných výsledků. [4], [14]

Chování a adaptace seniorů na tepelnou pohodu

Obyvatelé vnitřních prostor se mohou snažit přizpůsobit tepelným podmínkám aktivní změnou chování a tím dosáhnout lepší tepelné pohody. Chování, vedoucí k tepelné adaptaci se dá klasifikovat na osobní (úprava oblečení, pití vody apod.) a na chování z hlediska vnitřního prostředí (větrání pomocí oken nebo ventilátoru, použití závěsů či žaluzií a mechanické chlazení). Výsledky průzkumných dotazníků studie, provedené na Tchaj-wanu zabývající se tepelným komfortem 87 respondentů (37 mužů a 50 žen) starších 60 let ve vnitřním mikroklimatu, zkoumající jejich požadavky na zajištění tepelné pohody ukázaly, že v létě jako adaptivní strategie bylo otevření oken (Window-opening) uvedeno v 38 % případů, elektrický ventilátor (Electrical fan) v 25 % případů a změna oděvu (Clothing) ve 28 % případů. V zimním období byla v dotaznících změna oděvu uvedena v 64 % případů, zavírání oken (Window-closing) v 17 % případů a vytápění (Mechanical heating) v 17 % případů viz Obrázek 2.6. Rozdíly mezi adaptivními strategiemi mezi starší populací (Elders) a dospělými jedinci (Non-elders) je vyobrazena na Obrázku 2.7. Je třeba poznamenat, že adaptivní strategie jsou ovlivněny venkovním klimatem v daném okamžiku a na daném místě. [15]

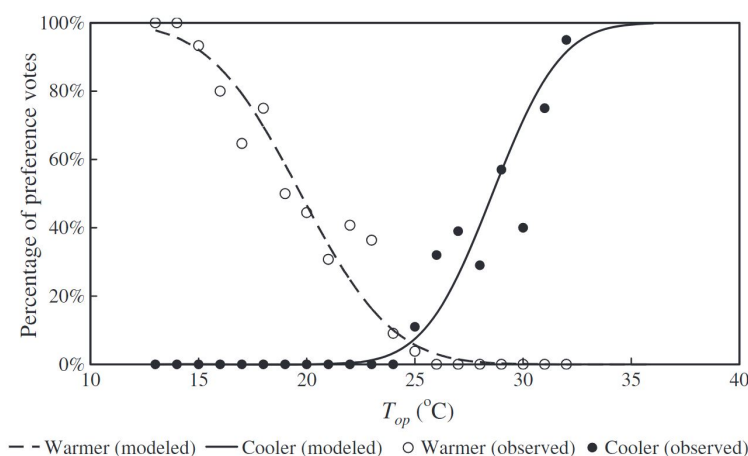


Obrázek 2.6: Chování tepelné adaptace seniorů ve vnitřním prostředí podle výše uvedeného průzkumu [15]



Obrázek 2.7: Chování tepelné adaptace ve vnitřním prostředí praktikované v letním období seniory (plná čára) a dospělých jedinců (přerušovaná čára) ve výše uvedené průzkumu na Taiwanu [15]

Tato studie také zkoumala zónu tepelného komfortu (což je teplotní rozsah, který více než 80 % obyvatel považuje za přijatelné tepelné podmínky) pro dané vnitřní prostředí. Výsledky tohoto průzkumu, tedy vypočítané (observed) preference respondentů pro zvýšení (Warmer) či snížení (Cooler) teploty v místnosti, mohou být vidět na Obrázku 2.8. Ale jak už bylo řečeno, je vhodné zkoumat tepelný komfort v klimatickém pásmu, ve kterém se návrh bude realizovat. Proto výsledky (preference) získané od obyvatel na Taiwanu se nemusí shodovat s výsledky, kterých by se dosáhlo u nás.



Obrázek 2.8: Změna tepelné preference seniorů ve vztahu k vnitřní provozní teplotě (T_{op}) [15]

2.1.2 Možnosti zlepšení kvality vnitřního prostředí domů pro seniory

Tato sekce pojednává o možnostech zlepšení kvality vnitřního prostředí domů pro seniory, jak pasivních tak aktivních, vyjma již zmíněných (v sekci 1.2 Zdravé budovy) správných a efektivních návrhů systémů pro dosažení vysoké kvality 9 základních faktorů ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí. Tedy osvětlení a viditelnost, hluk, teplotní pohoda (vytápění a chlazení), vlhkost, ventilace (správný návrh vzduchotechnického systému), kvalita vnitřního vzduchu, kvalita vody, prach a škůdci a bezpečnost.

Implementace zelené infrastruktury do pečovatelských center pro seniory

Senioři, jak už bylo zmíněno, tráví převážnou většinu svého času v uzavřených prostorech, kam mohou vnější znečišťující látky proniknout větráním okny nebo otevíráním dveří. Dr Gerard Hoek, Ph.D. a jeho kolegové zkoumali relativní riziko úmrtnosti u starších osob (ve věku 55-69 let) žijících nedaleko hlavní silnice a dálnice. Výsledné relativní riziko úmrtnosti obyvatel žijících do 50 m od hlavní silnice bylo 1,41 a u obyvatel žijících 100 m od dálnice 1,95. [16] Uvádí se, že pečovatelské domy pro seniory by měly být umístěny alespoň 152,4 m od hlavní silnice (tedy silnice na které prodeje zhruba 100 000 vozidel za den), aby bylo relativní riziko úmrtí sníženo. [17] Ale v hustých městských oblastech neexistuje "bezpečná vzdálenost". Krom zvětšení vzdálenosti od zdroje dopravního znečištění ovzduší, může jako opatření ke snížení vystavení pečovatelského domu pro seniory být pasivní řešení jako třeba zelená infrastruktura v podobě bariéry mezi zdrojem a receptorem. Množství celkových zneškodněných znečišťujících látek v ovzduší zelenou infrastrukturou podle studie, zabývající se způsoby jakými může implementace zelené infrastruktury zlepšit kvalitu vzduchu v pečovatelských domech pro seniory, z roku 2014 je vidět v Tabulce 2.1. [8], [16], [17]

Znečišťující látka	Množství zneškodněných znečišťujících látek za pomoci zelené infrastruktury [%]
PM_{10}	0,2 - 1,4
O ₃	0,1 - 0,8
CO	0,001 - 0,003
SO ₂	0,1 - 0,7
NO ₂	0,1 - 0,5

Tabulka 2.1: Celkové zneškodnění znečišťujících látek zelenou infrastrukturou v přeplněných městech [18]

Zelené stěny a střechy jsou esenciální v hustě osídlených městských oblastech. Zelená

střecha na budově o výšce 5 m s pokrytím 75 % nebo 10 m budova s pokrytím 50 % mohou minimalizovat $PM_{2,5}$ na úrovni chodců. Zelené stěny zachycují nejvíce $PM_{2,5}$ s pokrytím zeleně 25 %, bez ohledu na jejich výšku, podle odborného článku (viz Zdroj [19]). [8]

Důležitost tohoto tématu vzrostla v roce 2020 počátkem pandemie COVID-19. Studie s názvem *"Urban Vegetation Slows Down the Spread of Coronavirus Disease (COVID-19) in the United States"* referovala o zjištění, že každé zvýšení zelené infrastruktury ve městech o 1 % snižuje počet případů COVID-19 o 2,6 %. [8]

Co se týče prostorového uspořádání zelené infrastruktury uvnitř budovy, je důležité se zaměřit na hlavní obytné místnosti pro seniory: ložnice, jídelny, společenské místnosti. Dále také implementace tzv. "vertikálního lesa", toto označení reprezentuje vnitřní zahrady, zelené balkóny a zelené střechy, ke kterým mají senioři přístup aniž by opustili budovu. Při umisťování zelené infrastruktury do vnitřních prostor, je důležité myslet na dostatek slunečního světla pro pokojové rostliny, dostatečné větrání nebo také dostatečný stín pro např. zelené stěny. *"Pro maximalizaci pozitivního dopadu zelené infrastruktury na zdraví seniorů uvnitř budov je potřeba porozumět vztahům mezi vnitřním a venkovním prostředím a začlenit znalosti environmentálního inženýrství, navrhování prostředí budov a konstrukce budov."* [8]

Chytré bydlení pro seniory

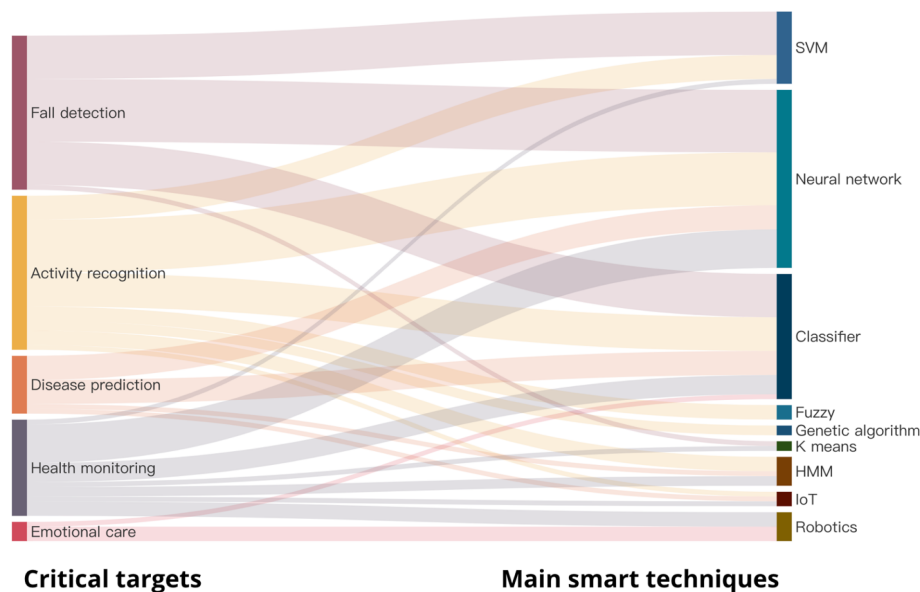
Inteligentní budovy se v posledních letech rychle rozvíjejí a počet seniorů, kteří chtějí žít více nezávisle, popřípadě se chtějí žít ve vlastním obydlí, oproti životu v pečovatelském domě, roste. Takto nezávisle žijící senioři často narazí na mnoho bezpečnostních a zdravotních rizik. S těmito riziky se dá vypořádat právě za pomoci inteligentních budov. Tyto budovy mají pět hlavních cílů:

- Detekci pádu (Fall detection): tradičně se v domech pro seniory používá tlačítko ručního alarmu a následná pomoc ošetřujícího personálu (to je ovšem závislé na závažnosti zranění seniora). Zařízení inteligentní budovy se snaží podpořit nezávislost starší osoby pomocí detekce pádu v reálném čase nebo předpovědi pádu, dříve než k němu dojde. To se dá realizovat abnormální detekcí (detekcí anomálií) a klasifikací. Aby automatická detekce reprezentovala skutečné aktivity starších osob pro následnou analýzu, musí přijímat data, shromážděná různými zařízeními, v reálném čase. Tato zařízení (často obsahující kameru - problém s ochranou soukromí, nositelný senzor, okolní senzor) musí být umístěna na vhodných místech, pro přesné zachycení dat. [20]
- Rozpoznání aktivity (Activity recognition): typickou nebezpečnou aktivitou seniorů je již zmíněný pád, dalšími aktivitami mohou být nezdravý životní styl (hygi-

ena, používání toalety, denní aktivity apod.), nebezpečné nebo abnormální chování způsobené nemocí. Rozpoznání aktivity je hlavním aspektem chytrých budov pro podporu samostatného bydlení seniorů. [20]

- Monitorování zdraví (Health monitoring): Automatický systém monitorování zdraví má být alternativou k pečovatelským domům s náležitými službami a k péči rodinných příslušníků. Je to cestou k dosažení nezávislého a zdravého života seniorů ve své vlastní domácnosti. Cílem je dlouhodobé hodnocení zdravotního stavu a kvality života seniorů, služba vzdálené péče a monitorování vnitřního prostředí. Tento systém automatického monitorování zdraví se sestává ze sítě senzorů snímajících různá data, ať už přímo z člověka (signál elektrokardiogramu, srdeční frekvence, dechová křivka, dechová frekvence, saturace kyslíkem, krevní tlak, tělesná hmotnost, tělesná teplota, glykémie apod.) nebo z vnitřního prostředí, ve kterém se osoba pohybuje, pomocí termostatu, senzoru osvětlení, PIR senzoru (spotřeba elektrické energie, kvalita vzduchu, teplota, stav osvětlení apod.). Na základě těchto fyziologických monitorování a monitorování prostředí lze identifikovat zdravotní stav seniorů a hodnotit ho pomocí algoritmů. [20]
- Predikci nemocí (Disease prediction): Data o chování pozorované osoby a o prostředí ve kterém se vyskytuje jsou základem pro detekci příznaků a předpovědi pravděpodobných nemocí. Vzorce aktivit a informace o prostředí se dají extrahovat z dat senzorů a algoritmy určit, předpovědět a varovat o potencionálním nebezpečí. Dlouhodobá data o vnitřním prostředí mohou být použita k predikci onemocnění způsobených faktory vnitřního prostředí. [20]
- Emoční péči (Emotional care): Kromě fyzického zdraví je třeba dbát i na duševní zdraví seniorů, kteří zejména během pandemie COVID-19 byli izolováni. Ke zjištění emočního stavu pozorované osoby se sleduje obraz obličeje, dýchání, kožní vodivost, srdeční frekvence, svalová a mozková aktivita, analýza chůze apod. Tato data jsou odesílána systému umělé inteligence, kde se zpracují pomocí algoritmů. Algoritmus rozpoznává šest základních emocí - štěstí, hněv, překvapení, znechucení, strach a smutek. [20]

Tyto cíle (Critical targets) by měly být dosaženy pomocí čtyř hlavních technik (Main smart techniques): SVM (Support vector machines, doslovným překladem metoda podpůrných vektorů - metoda strojového učení analyzující data pro klasifikaci a regresní analýzu), porovnávání klasifikátorů (Classifier), neuronové sítě (Neural network), HMM (Hidden Markov Model, slouží ke zpracování sekvenčních dat - rozpoznání vzorů a aktivity, klasifikace sekvencí) a robotika (Robotics).



Obrázek 2.9: Sankey diagram inteligentní budovy pro seniory [20]

2.2 Zdravotnická zařízení

Zdravotnická zařízení musí kromě akustického, vizuálního a psychického komfortu poskytnout tepelnou pohodu a především kvalitní ovzduší a absenci rizikových faktorů prostředí. Kvalitu vnitřního vzduchu ovlivňuje přítomnost biologických a chemických nečistot, které se ve venkovním ovzduší přirozeně nevyskytují. Požadavky na kvalitu vzduchu ve zdravotnických zařízeních jsou odlišné podle zdravotní funkce a mnohokrát i podle typu místnosti. Specifické prostory jako jsou operační sály, jednotky intenzivní péče a izolační místnosti mají vysoké požadavky na filtraci vzduchu, pro zajištění ochrany pacientů i personálu. Zatímco jiné prostory vyžadují pro zajištění bezpečného a příjemného pracoviště eliminaci látek, plyných kontaminantů, chemických látek a pachů. Primárním aspektem pro dosažení kvality vnitřního ovzduší, ostatně jako u všech budov, je její umístění, tedy co nejdál od zdroje nečistit ovzduší (továrny, frekventované silnice, skládky odpadu). Dále samotná konstrukce objektu, její správné provedení a použité materiály a návrh vzduchotechnického systému. Pokud je návrh vzduchotechnického systému nevhodný, může se stát zdrojem kontaminace vnitřního vzduchu, což je v prostorách s častokrát velkou potřebou sterilizace, velice nežádoucí. Také je vhodná aplikace kontroly vzdušných mikroorganismů, protože vzduch je nosičem mnoha infekcí. Mnoho poruch (alergie, podráždění, respirační infekce) vzniká z důvodu přítomnosti kontaminantů ve vzduchu. Takovým kontaminantem může být např. *Legionella pneumophila*, vyskytující se v chladících věžích a jiných částech VZT systému. [21]

Několik studií dokazuje, že pacienti v klimaticky kontrolovaném prostředí se rychleji a efektivněji fyzicky uzdravují. Jedná se o kardiaky s městnavým srdečním selháním, pacienti

s revmatoidní artritidou, pacienty vyžadující oxygenoterapii a pacienty s tracheotomií. Rizikovým faktorem pro některá onemocnění může být i suchý vzduch, hlavně onemocnění horních dýchacích cest, může také podporovat rozvoj infekcí, které mohou vyústit až ve smrt pacienta. Návrh, instalace, provoz a údržba vzduchotechnických systémů ve zdravotnických zařízeních mají specifické požadavky, které v obdobných návrzích pro obytné nebo administrativní budovy nejsou vyžadovány. A to požadavky na teplotu, vlhkost, rychlost vzduchu, dále také rychlost výměny vzduchu pro různá oddělení a prostředí. Zvláštní požadavky na filtraci, výměnný poměr, diferenční tlak k ředění, zadržování a zbavování se mikrobiologického, chemického a fyzického znečištění ve formě vzdušných mikroorganismů, virů, pachů, nebezpečných částicových a chemických látek (léky, chemoterapie a antibiotika rozptýlená ve vzduchu apod.). Krom toho je také žádoucí vytvořit komplexní návrh umožňující přesnou kontrolu kvality vnitřního prostředí s pokud možno nízkými náklady na údržbu, snadným přístupem k čištění, popřípadě výměnu dílů. Což činí návrh energeticky udržitelný a šetrný k životnímu prostředí a zabraňující proudění vzduchu mezi jednotlivými prostředími. [10]

Ve zdravotnických zařízeních je možných zdrojů infekcí mnoho. Vzduchotechnický systém tedy sice zlepšuje komfort a zabraňuje vzniku mnoha nemocí, avšak může být také prostředkem k jejich přenosu, obzvláště pro nozokomiální infekce. Všechny bakteriální mikroorganismy přenášené vzduchem, tedy aerosoly a kapénky, nebo směsi vzduchu a vody mohou být za pomoci vzduchotechnického systému rozšiřovány po celém objektu zdravotnického zařízení. Těmito mikroorganismy mohou být: *mycobacterium tuberculosis* (způsobující tuberkulózu), *Legionella pneumophila*, ale také mnoho dalších grampozitivních a gramnegativních mikroorganismů. Bakterie přítomné ve vzduchu většinou tvoří kolonie větší než $1 \mu m$, proto 99,9 % bakterií přítomných ve vzduchu je odloučeno filtry s 90 až 95 % účinností. Proto je použití filtrů s vysokou účinností (HEPA) ve vzduchotechnických systémech zdravotnických zařízení doporučeno legislativními a technickými normami a standardy a to obzvláště v prostředích s vysokou náročností na čistotu jako jsou operační sály, jednotky intenzivní péče, izolační místnosti s řízenou mikrobiální zátěží pro transplantace apod. Kromě kolonií bakterií se mohou ve vzduchu vyskytovat (a vzduchotechnickým systémem být přenášeny) také různé druhy virů (*varicella*, zarděnky, *orthomyxovirus* atd.), ale vzhledem k tomu, že rozměry těchto virů jsou většinou submikronové, je jejich eliminace velmi komplikovaná, často neúčinná. Proto je snaha vyvinout filtr s vyšší účinností než vzduchové filtry s ultranízkou penetrací (ULPA). Dalším způsobem pro eliminaci výskytu virů ve vzduchu je použití tzv. in-line dezinfekce ve vzduchotechnickém systému, tedy ultrafialové záření nebo chemické výpary na bázi chlóru. Tyto metody mohou namísto účinnosti představovat riziko toxické nebo škodlivé chemické kontaminace. Kromě bakterií a virů mohou vzduchotechnické systémy kontaminovat plísně a to

v důsledku špatné údržby, nedostatečné čistoty potrubí, filtrů nebo lamel anemostatů. [10]

Proto je třeba se snažit zabránit kontaminaci již při návrhu přívodu vzduchu do systému vzduchotechniky a to tak, aby vzduch nasávaný systémem byl co nejméně kontaminovaný nežádoucími látkami. Toho se dosáhne tak, že venkovní sání se umísťují co nejdále od chladících věží, ventilačních výfukových výstupů (ať už z řešeného objektu nebo z přilehlých budov), výfukových otvorů spalovacích zařízení, sanitárních ventilačních komínů a od oblastí kde jsou shromažďovány výfukové plyny z vozidel a jiných škodlivých výparů. Proto se přívody venkovního vzduchu nedoporučuje instalovat na úrovni terénu nebo dokonce podzemí, ale naopak minimálně 1,8 m nad úrovní terénu. Dále také se nedoporučuje přívod vzduchu směřovat v potencionálním směru proudění vzduchu nebo toxických emisí. Výfukové otvory se umísťují alespoň 3 m nad úroveň terénu a mimo otevíratelná okna, obyvatelné prostory a dveře. Je vhodné umísťovat výfukové otvory na střechu ať už ve vertikální či horizontální poloze avšak v již zmiňované vzdálenosti od nasávání venkovního vzduchu. [10]

2.2.1 Důležitost filtrů ve vzduchotechnických systémech zdravotnických zařízení

Každá centrální vzduchotechnická jednotka by měla být vybavena filtrem s příslušnou třídou filtrace. Ve zdravotnických zařízeních, kde jsou obyvatelé vystaveni nižšímu riziku nákazy vzduchem přenášenou infekcí, postačuje jeden filtr při vstupu do vzduchotechnické jednotky. Pokud se ovšem jedná o zdravotnická zařízení s obyvateli (pacienty) s vysokým stupněm imunosuprese, je vhodné vzduchotechnickou jednotku opatřit dvěma nebo více filtry, umístěnými, jeden při vstupu vzduchu do VZT jednotky, ostatní při výstupu z VZT jednotky či za systémem, který mohou zvlhčovat nebo znečišťovat vzduch cirkulací. Při instalaci je třeba dbát na těsnost mezi segmenty filtru a filtračním boxem a dodržovat technologickou kázeň, protože jakákoliv chyba při instalaci, která zanechá trhliny ve filtru, může vézt ke kontaminaci vzduchu za filtrem, tudíž ztrátě účinnosti filtru. Stav zanesení filtru nebo případné tlakové rozdíly lze sledovat za pomoci elektronických zařízení, optických a průtokových čidel nebo diferenčních tlakoměrů. Pomocí těchto opatření lze stanovit dobu opotřebení, potažmo frekvenci výměny filtrů nebo čištění a dezinfekci potrubí. Při výstavbě by se mělo zabránit vniknutí prachu a nečistot nebo nebezpečných látek do vzduchotechnického systému, aby nedošlo ke kontaminaci filtrů stavebním materiálem. Po dokončení prací a utěsnění potrubí je vhodné provést čištění propláchnutím inertním plynem a zajistit výměnu filtrů, které byly vystaveny venkovním stavebním pracem. Netěsnosti ve filtračních boxech, nečistoty, prach a úlomky před špatně udržovanými

filtry - to vše bylo přítomno v nemocnicích, kde došlo k propuknutí aspergilózy. Jelikož jsou vysoce účinné filtry nákladné, je vhodné aby vzduchotechnické systémy zdravotnických zařízení, potrubí a filtrační sady byly přístupné a umožňovali tak snadnou a ekonomicky udržitelnou údržbu a jednoduchý postup čištění a sanitace potrubí, bez dopadu na zdraví pacientů a bez zásahu do organizace zdravotní péče. [10]

2.2.2 Návrh, problémy a údržba vzduchotechnických systémů ve zdravotnických zařízeních

Běžné chování ve zdravotnických zařízeních (péče o pacienty, může vytvářet rozptylování částic ve vzduchu, což může vést k přenosu mikroorganismů a plísní. Aby bylo zabráněno šíření bakterií důsledkem těchto činností, tak by měly být vzduchotechnické systémy schopny minimalizovat šíření kontaminace za pomoci vzorových pohybů vzduchu (otevírání dveří, změna teploty a vlhkosti). Pohyb personálu, pacientů a návštěvníků je tzv. nekontrolovaný pohyb a může tedy vytvářet nežádoucí proudění vzduchu. To může být podpořeno vertikálními otvory (výtahy, schodiště) nebo horizontální cesty (obslužné chodby a mostní spojení mezi odděleními). Vliv některých těchto faktorů lze minimalizovat uzavřením šachetních otvorů v uzavřených místnostech a navržením vyrovnávání tlaku vzduchu. Tím se omezí proudění vzduchu a rozptyl kontaminantů v místnosti. Dále by měl být zajištěn pohyb vzduchu z čistých prostor do méně čistých prostor. Dále je také vhodné uvažovat nad systémem s proměnlivým objemem vzduchu a to jak za účelem energetických úspor, tak pro možnost změnu tlaku vzduchu v místnosti. [10]

Ve vzduchotechnické jednotce může dojít k řadě problémů. Koroze zvlhčovacího systému, kvůli jeho zanešení. Množení mikroorganismů v mechanických a filtračních komponentech a usazování na tryskách určených pro vlhčení vzduchu. V nádrži na kondenzát se může shromažďovat flóra a vzdušné spory vytvářející bakteriální fomity. Přírodní ventilátor je bohatý na minerální a organický odpad. Vzduch přiváděný potrubím ventilačního systému s sebou přináší prach, nečistoty, chemikálie. [10]

Neudržovaný zvlhčovací systém ve zkoumaných kancelářích v USA, byl příčinou únavy, potíže s koncentrací, kožními a očními příznaky, příznaky horních cest dýchacích. Málo čištěné potrubí chladících systémů a odtokových nádrží vyvolávalo výrazné zvýšení očních příznaků a bolesti hlavy. Ve zdravotnických zařízeních může nedostatečné čištění a údržba systémů vzduchotechniky mít mnohem větší následky na zdraví pacientů. Proto by čistota systému neměla být zanedbána společně se zachováním vzduchového filtru v suchém stavu. Je ovšem pravdou, že mechanické čištění může způsobit větší uvolňování prachu v průběhu čištění nežli za normálního provozu. Proto by čištění mělo být prováděno za vypnutého režimu a v prostorech bez lidí uvnitř a to nejen po dobu úklidových prací, ale i nějaký

čas po dokončení, kvůli účinku zbytkové kontaminace. To je ovšem častokrát těžko realizovatelné v praxi ve zdravotnických zařízeních, kde některé prostory jsou kontinuálně obsazené - místnosti urgentních příjmů, operačních sálů nebo jednotek intenzivní péče. Dále také vypnutí vzduchotechnického systému, obzvláště systému chirurgických oddělení, způsobuje stagnaci směsi vzduchu a vody a dochází k proliferaci mikroorganismů, které se uvolní do prostředí při reaktivaci systému. Přestože jsou čistící a sanitační postupy účinné při snižování (nikoliv úplné eliminaci) mikrobiální kontaminace, tak v průběhu jejich procesu jsou koncentrace prachu, částic a biochemických aerosolů ve vzduchu vyšší. Je také pravděpodobné, že může dojít k nárůstu infekcí paradoxně po čištění systému, pokud se nezohlední odlišnost charakteristiky prostředí (zdravotnické zařízení a přítomnost velice náchylných subjektů k infekcím a alergiím) oproti jiným prostředím. Některé studie dokazují, že po vyčištění vzduchovodů jsou prostředí, která jsou "po proudu" vzduchu, kontaminována dny, týdny a v některých případech i měsíce, po vyčištění potrubí, i přes důkladnou sanitaci pokojů. Proto je důležité organizační plánování těchto údržbových akcí (podle Centers for Disease Control and Prevention (CDC) z roku 2003) . Na základě druhu prostředí a úrovně údržby lze strukturovat matici rizik, tedy vztah mezi rizikovými skupinami (pro zdravotnická prostředí) a úrovní údržby (filtrace a sanitace systému). Příklad takové matice v originálním znění je na Obrázku 2.10. [10]

Žádné údaje ovšem nenaznačují, že čištění a sanitace nad rámec doporučení pro nejvyšší výkon systému, vede k výraznému zlepšení kvality vnitřního ovzduší nebo snížení rizika infekce. Některé studie dokonce naznačují, že kromě klesající regulace tlaku vzduchu a snížené rychlosti výměny vzduchu se úroveň částic ve vzduchu v důsledku znečištěného potrubí nezvyšuje a ani nesnižuje po čištění a to proto, že většina nečistot ulpívá na povrchu vzduchotechnického potrubí a nevniká do vnitřního prostoru. [22] Tedy účinnost odstraňování je vysoká u některých kontaminantů v potrubí, ale u jiných látek znečišťujících vnitřní vzduch se míra poklesu příliš neliší. Pokud je tedy systém ve zdravotnickém zařízení správně navržen, instalován, spravován a udržován, stane se zásadním faktorem pro udržení ideálních podmínek pro kvalitní vnitřní vzduch a snížení pravděpodobnosti infekce a propuknutí ohniska nemoci přímo v nemocnici. [10]

Důležitý je také multidisciplinární přístup již při návrhu (ale také instalaci a provozu) vzduchotechnických systémů, aby prostřednictvím koordinovaného plánování byly splněny požadavky architekta, stavebního inženýra i inženýra TZB a také manažera systému TZB, který se bude v provozní fázi starat o údržbu systému. [5], [10]

Risk Matrix	HVAC-system Management			
At-risk Groups	Maximum Level Filtration , Maintenance and Sanitizing	Medium Level Filtration , Maintenance and Sanitizing	Minimum Level Filtration , Maintenance and Sanitizing	LackHVAC- Systems Management
Group 1 <ul style="list-style-type: none"> • Hospital social areas, public or communication • Administrative offices • Inpatient areas not occupied (by patients) 	Minimum	Medium	Medium	Medium-High
Group 2 <ul style="list-style-type: none"> • Surgeries and external access areas (except for out-patients from areas 3 or 4) • Admission/discharge areas • Patient areas with patients not pertaining to the level 3 or 4 	Minimum	Medium	Medium-High	High
Group 3 <ul style="list-style-type: none"> • Emergency Unit • Radiology and Nuclear Medicine • Day Surgery and Different areas of the Operating Room • Post Operative Intensive Care or Post Anaesthesia • Laboratories • Echocardiography • Physiotherapy Areas • Neonatology and paediatrics • Geriatrics and long -term care • Internal Medicine and General Surgery 	Minimum	Medium-High	Medium-High / High	Very High
Group 4 <ul style="list-style-type: none"> • ICUs • Operating Theatres • Anaesthesia induction rooms • Oncology departments for outpatients • Transplant Departments (bone marrow and others) and outpatient clinic for outpatients who have received transplants • Dialysis units • Inpatient wards with HIV or immunosuppressed patients • Areas of angiography or hemodynamic and cardiology • Endoscopy Areas • Pharmacy, pharmaceutical preparation and parenteral nutrition • Sterilization Unit • Sterile or clean instruments deposits 	Minimum / Medium-High	Medium-High / High	High	Maximum

Obrázek 2.10: Matice určující úroveň rizika, kterému je pacient vystaven ve větraném zdravotnickém prostředí. [10]

Kapitola 3

Normové a legislativní požadavky na větrání a vzduchotechnické systémy v pečovatelských domech a zdravotnických zařízeních

3.1 Pečovatelské domy

Na obytnou (pokojovou nebo "sociální") část pečovatelského domu se nahlíží z hlediska požadavků a norem jako na obytné prostředí kategorie IEQ_I (z anglického "Indoor Environmental Quality"), tedy obytné prostředí s vysokou úrovní očekávané kvality vnitřního prostředí.

3.1.1 ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov

Požadavky na koncepci rovnotlakého větrání

Jedná se o vyšší kvalitu větrání nežli větrání nucené podtlakové či hybridní. Může se využít i v případech, kde z hygienických důvodů není možné zajistit přívod vzduchu podtlakem z obvodové stěny. Taková situace může nastat v případě, že venkovní prostředí je zatíženo nadměrným hlukem nebo je venkovní ovzduší výrazně znečištěno.

Větrací jednotka musí být vybavena filtrací a předeříváčem vzduchu a doporučuje se využít zařízení pro zpětné získávání tepla. V případě nuceného centrálního rovnotlakého větrání s jednotkou využívanou více byty, musí zařízení při zásahu jednotlivých uživatelů automaticky vyrovnávat tlakové poměry v přívodních i odvodních vzduchovodech. [23]

Požadavky na přívod vzduchu

Norma ČSN EN 15665/Z1 uvádí jako požadavek na trvalé větrání s minimální intenzitou větrání $0.3h^{-1}$ v obytných prostorech, tedy pokoje, ložnice apod., a v kuchyních. Pro dosažení vyšší kvality vnitřního vzduchu je doporučeno, v souladu s ČSN EN 16798-1, intenzita větrání 0,5 až $0,7h^{-1}$. Doplnujícím kritériem pro dimenzování přívodu vzduchu může být doporučená minimální dávka čerstvého vzduchu na osobu (viz Tabulka 3.1.1). Vždy musí být ale splněna minimální požadovaná intenzita větrání. V ostatních prostorech (předsíně, chodby, technické místnosti apod.) je nutné zajistit průtok převáděného (popřípadě čerstvého) vzduchu podle účelu a vybavení místnosti.

System může být řízen podle kvality vzduchu, kde kritériem pro průtok vzduchu je koncentrace oxidu uhličitého v obytném prostoru (viz níže sekce "ČSN EN 16798-1 Energetická náročnost budov - Větrání budov"). [23]

Požadavky na odvod vzduchu

Odvod vzduchu se zajišťuje v místnosti se zdrojem znečišťujících látek (pachy, vlhkost, aj.), tedy hlavně z hygienických zázemí a kuchyní. Při trvalém větrání odpovídá průtok odváděného vzduchu, vzduchu přiváděnému stanoveného podle požadavku na intenzitu větrání (viz Tabulka 3.1.1). Pro intenzivní větrání hygienických zázemí a kuchyní se uplatňuje nárazové odsávání dle požadavků v Tabulce 3.1.1 Odsávaný vzduch je nahrazen přísávaním větracími otvory nebo zvýšeným přívodem vzduchu větrací jednotkou. V kuchyních nad varnými plochami je doporučeno instalovat odsávací zákryty s filtry a ventilátory pro nárazové větrání a odvod vzduchu řešit samostatným vzduchovodem. Při instalaci cirkulačních odsávacích zákrytů v kuchyních se doporučuje instalovat i nucený odvod vzduchu. Při řešení odvodu vzduchu z více kuchyní při nárazovém větrání v bytovém domě společným vzduchovodem, je nutné osadit uzavírací klapku, před každým odsávaným místem. [23]

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 3.1: Požadavky na větrání obytných budov [23]

3.1.2 Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Nařízení vlády ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibraací stanovuje korekci pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb. [24]

Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku se stanoví součtem ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq} = 40$ dB a korekcí adekvátní k druhu chráněného prostoru a denní době podle Tabulky 3.2. [24]

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10

Tabulka 3.2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostředí [24]

3.1.3 ČSN EN 16798-1 Energetická náročnost budov - Větrání budov

Tato norma rozděluje kvalitu vnitřního prostředí do 4 kategorií, podle očekávání uživatele, na vysokou, střední, mírnou a nízkou úroveň. Rozdělení a označení těchto kategorií je znázorněno v Tabulce 3.3. Úroveň střední je pro běžné prostředí, vysoká úroveň je pro uživatele se speciálními potřebami (starší osoby, děti, osoby se zdravotním postižením atd.). Nízká úroveň snižuje komfort uživatele, ale nepředstavuje žádné zdravotní riziko. V Tabulce 3.4 jsou uvedena kritéria pro celkové větrání (1) a přívod vzduchu (2). [25]

Kategorie	Označení	Úroveň očekávání uživatele
IEQ_I	I	Vysoká
IEQ_{II}	II	Střední
IEQ_{III}	III	Mírná
IEQ_{IV}	IV	Nízká

Tabulka 3.3: Kategorie kvality vnitřního prostředí podle úrovně očekávání uživatele

Dále také tato norma definuje metodu uplatňující limitní koncentraci znečišťující látky, kde stanovení návrhového průtoku větracího vzduchu závisí na hmotnostní bilanci znečišťující látky a její koncentraci v prostoru s přihlédnutím ke koncentraci látky ve venkovním vzduchu. Pro CO_2 jako indikátor větrání, jsou limitní hodnoty uvedeny v Tabulce 3.5. [25]

Kategorie	Celkový průtok větracího vzduchu vč. infiltrace (1)		Prívod větracího vzduchu na osobu (2)
	$l/s * m^2$	h^{-1}	l/s na osobu
I	0,49	0,7	10
II	0,42	0,6	7
III	0,35	0,5	4
IV	0,23	0,4	-

Tabulka 3.4: Kritéria pro celkové větrání a přívod vzduchu

Hodnoty uvedené v Tabulce 3.5 odpovídají rovnovážnému stavu, kdy průtok větracího vzduchu 4, 7, 10 l/s na osobu pro kategorie I, II, III a produkce CO_2 je 20 l/h na osobu v obývacích pokojích a 13,6 l/h na osobu v ložnicích. [25]

Kategorie	Návrhová koncentrace CO_2 pro obytné místnosti (ppm nad koncentrací ve venkovním vzduchu)	Návrhová koncentrace CO_2 pro ložnice (ppm nad koncentrací ve venkovním vzduchu)
I	550	380
II	800	550
III	1 350	950
IV	1 350	950

Tabulka 3.5: Návrhová koncentrace CO_2 v obytných místnostech a ložnicích [25]

3.2 Zdravotnická zařízení a pracoviště

V řešeném objektu se vyskytuje ordinace s čekárnou, denní místností pro lékaře a výdejnou léků. Pro tyto prostory jsou, kromě již zmíněného požadavku Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku, určeny následující požadavky:

3.2.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. - podmínky ochrany zdraví při práci

Tato vyhláška stanovuje nutnost zajištění dostatečné výměny vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Množství vyměňovaného vzduchu se určí podle vykonávané práce a její fyzické náročnosti (viz Tabulka 3.6). [26]

V řešeném objektu se vyskytují pouze pracoviště třídy I, IIa a IIb, těm odpovídají množství vzduchu na jednoho zaměstnance uvedené v Tabulce 3.7.

Třída práce	Druh práce	M ($w.m^{-2}$)
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů	≤ 80
Ia	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.	81 až 105
Iib	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou - dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu. Práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg prodavači, lakýrníci, svařování, soustružení, strojové vrtání, dělník v ocelárně, valcír hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků. Práce spojená s ruční manipulací s živým břemenem, práce zdravotní sestry nebo ošetřovatelky u lůžka.	106 až 130

Tabulka 3.6: Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje (M) vyjádřené v brutto hodnotách a ztráta tekutin za osmihodinovou směnu [26]

Třída práce	Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště [m^3/h]
I	25
Ia	50
Iib	70

Tabulka 3.7: Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště, podle třídy práce [26]

3.2.2 Vyhláška č. 6/2003 Sb.

Dle vyhlášky č. 6/2003 Sb., stanovující *"hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností vybraných staveb"* [7] je požadavek na minimální výslednou teplotu kulového teploměru jak u místností zařízení sociální péče (pokoj i prostory k pobytu klienta), tak i u zdravotnických zařízení (pokoje i prostory k pobytu pacienta), 20°C. Zdravotnická zařízení s prostory sloužící k pobytu neonatologických pacientů a pacientů s onkologickým onemocněním, mají požadavek na minimální výslednou teplotu kulového teploměru 22°C. [7]

Rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech by se měla dle již zmiňované vyhlášky pohybovat v teplém období roku mezi 0,16 a 0,25 $m \cdot s^{-1}$ a v chladném období roku mezi 0,13 a 0,20 $m \cdot s^{-1}$. [7]

Relativní vlhkost vzduchu v obytných místnostech by v teplém období roku neměla přesáhnout 65 % a v chladném období roku by neměla klesnout pod 30 %. [7]

Požadavky na minimální teploty a množství odváděného vzduchu hygienických zařízení obytných místností jsou uvedeny v Tabulce 3.8

	Minimální teplota vzduchu t_i [°C]	Množství odváděného vzduchu za hodinu
Umývárny	19	30 m ³ na 1 umyvadlo
Sprchy	19	35 až 110 m ³ na 1 sprchu
WC	15	50 m ³ na 1 mísu 25 m ³ na 1 pisoár

Tabulka 3.8: Teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u obytných místností [7]

3.2.3 Norma ČSN EN ISO 14644-1

Norma pojednává o čistých prostorách a příslušných řízených prostředích - Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic. Zdravotnická zařízení a místa, kde je poskytována zdravotní péče, se řadí mezi tzv. čisté prostory. Jedná se o prostory, kde je zajištěna kontrola kontaminace vzduchu a případně i povrchů na vhodnou úroveň, určenou danému prostředí. Čistá místnost je podle této normy definována jako: *"místnost, v níž je řízena a klasifikována početní koncentrace částic ve vznosu a která je navržena, konstruována a provozována způsobem, který řídí přívod, produkci a zadržení částic uvnitř místnosti."* [27]. Třída čistoty vzduchu se podle normy rozděluje do 9 kategorií podle koncentrace částic ve vzduchu. Maximální přípustná koncentrace částic podle uvažovaných velikostí částic jsou stanoveny v Tabulce 3.9.

Číslo třídy ISO	Maximální povolená koncentrace (počet částic/m ³) pro částice stejně velké nebo větší než je daná velikost viz níže ^{a)}					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	5
1	10 ^{b)}	^{d)}	^{d)}	^{d)}	^{d)}	^{e)}
2	100	24 ^{b)}	10 ^{b)}	^{d)}	^{d)}	^{e)}
3	1 000	237	102	35 ^{b)}	^{d)}	^{e)}
4	10 000	2 370	1 020	3 352	83 ^{b)}	^{e)}
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	^{d),e)}
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	^{c)}	^{c)}	^{c)}	352 000	83 200	2 930
8	^{c)}	^{c)}	^{c)}	3 520 000	832 000	29 300
9^{f)}	^{c)}	^{c)}	^{c)}	35 200 000	8 320 000	293 000

Tabulka 3.9: Třídy čistoty vzduchu ISO podle koncentrace částic (velikost částic je v μm)

- (a) Všechny koncentrace v tabulce jsou kumulativní, např. pro ISO třídu 5 obsahuje 10 200 částic s průměrem $0,3\mu m$, zahrnuje všechny částice stejné velikosti a větší než je uvedené velikost.
- (b) Tyto koncentrace vedou k velkým objemům vzorku vzduchu pro kvalifikaci. Může být použit postupný sekvenční odběr vzorků.
- (c) Limity koncentrací nejsou použitelné v této oblasti tabulky kvůli velmi vysoké koncentraci částic.
- (d) Odběr vzorků a statická omezení pro částice s nízkou koncentrací činí klasifikaci nevhodnou.
- (e) Omezení výběru vzorků pro obě částice v nízkých koncentracích a velikostech větších než $1\mu m$ činí klasifikaci při této velikosti částic nevhodnou kvůli možným ztrátám částic ve vzorkovacím systému.
- (f) Tato třída je použitelná pouze pro stav "v provozu"

Všechny koncentrace v tabulce jsou kumulativní, např. pro ISO třídu 5 obsahuje 10 200 částic s průměrem $0,3\mu m$, zahrnuje všechny částice stejné velikosti a větší než je uvedené velikost.

Kapitola 4

Praktická část

4.1 Koncept návrhu

4.1.1 Hlavní budova pečovatelského domu

Pokoje

V celém objektu se nachází 15 jednolůžkových a 5 dvoulůžkových pokojů. Doporučené množství přiváděného vzduchu pro obytnou místnost je, podle normy ČSN EN 15665/Z1, $25 \text{ m}^3/h$ na osobu. Návrhy průtoku vzduchu jsem prováděla tak, aby pokud možno splňovaly podmínky pro I. kategorii kvality vnitřního prostředí podle normy ČSN EN 16798-1 (viz Tabulka 4.1) a zároveň aby návrh nebyl předimenzovaný. Větrání v pokojích je navrženo jako rovnotlaké s denním a nočním režimem, kdy noční režim 70 % výkon denního režimu.

Kategorie	Celkový průtok větracího vzduchu vč. infiltrace		Prívod větracího vzduchu na osobu
IEQ	$l/s * m^2$	h^{-1}	$l/s * os$
I	0,49	0,7	10
II	0,42	0,6	7
III	0,35	0,5	4

Tabulka 4.1: Kritéria kategorií kvality vnitřního prostředí na základě přiváděného větracího vzduchu [25]

Jednolůžkový pokoj: se sestává z předsíně, koupelny (WC, umyvadlo a sprchový kout) a hlavní místnosti s kuchyňským koutem.

Prívod vzduchu do hlavní místnosti navrhuji $60 \text{ m}^3/h$ vzdálen 1 m od okna vprostřed místnosti a odtah z hlavní místnosti (ve vzdálenosti alespoň 0,7 m od cirkulační digestoře) $30 \text{ m}^3/h$. V koupelně navrhuji odtah také $30 \text{ m}^3/h$ s tím že, díky přepínací klapce na odtahu mezi koupelnou a hlavní místností, při rozsvícení světla v koupelně nebo spuštění

cirkulační digestoře v hlavní místnosti, se zvýší odtah z $30 \text{ m}^3/\text{h}$ na $50 \text{ m}^3/\text{h}$ a na druhé větvi se dočasně sníží na $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Tím se zachová rovnotlaké větrávání a zároveň se v místě produkce nežádoucích kontaminantů vzduchu zajistí větší odtah. Tato funkce bude aktivní jen v denním režimu. Za těchto podmínek bude zachována kategorie kvality vnitřního prostředí jako "vysoká" v denním i v nočním režimu, kdy přívod vzduchu je $42 \text{ m}^3/\text{h}$ a odtah $21 \text{ m}^3/\text{h}$ v hlavní místnosti a v koupelně.

Dvoulůžkový pokoj: V objektu je 5 dvoulůžkových pokojů, sestávajících z předsíně, koupelny (WC, umyvadlo a sprchový kout), obývacího pokoje s kuchyňským koutem a ložnice.

Přívod vzduchu jak do ložnice (vzdálen 1 m od okna vprostřed místnosti), tak i do obývacího pokoje s kuchyňským koutem (vzdálen 1,0 m od stěny dělicí místnost od ložnice vprostřed místnosti) navrhuji $80 \text{ m}^3/\text{h}$. A odtah v obývacím pokoji navrhuji $80 \text{ m}^3/\text{h}$ (ve vzdálenosti alespoň 0,7 m od cirkulační digestoře) a v koupelně také $80 \text{ m}^3/\text{h}$. Nárazové větrání není zapotřebí, protože hodnota $80 \text{ m}^3/\text{h}$ splňuje množství vzduchu trvalého odvětrávání jak v kuchyni tak i v koupelně. V nočním režimu bude množství přiváděného vzduchu sníženo na 70 % množství denního režimu, tedy dohromady $112 \text{ m}^3/\text{h}$. A za pomoci klapky bude toto množství rozděleno do ložnice $72 \text{ m}^3/\text{h}$ a do obývacího pokoje přiváděno $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Odváděno bude $56 \text{ m}^3/\text{h}$ z koupelny a také z kuchyně. Tyto hodnoty splňují podmínky pro vysokou kategorii kvality vnitřního prostředí, jak podle celkového průtoku větracího vzduchu tak i podle přívodu větracího vzduchu na osobu.

Společenská místnost

Jedná se o místnost o rozloze 72 m^2 , která slouží ke shromažďování všech obyvatel pečovatelského domu, což při plném obsazení činí 25 osob a 5 zaměstnanců. Pro tuto místnost jsem zvolila rovnotlaké větrání s celkovým množstvím přiváděného vzduchu $750 \text{ m}^3/\text{h}$, tedy $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu.

4.1.2 Vedlejší budova s ordinací

Kancelář

Místnost kancelář má rozlohu $11,97 \text{ m}^2$. Množství větracího vzduchu bylo navrženo na počet osob v místnosti, tedy dvě, v závislosti na jejich vykonávané práci, tedy práci I. třídy. Prostor je udržován v rovnotlaku. Množství větracího vzduchu je $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zázemí pro zaměstnance a sklad

Pečovatelský dům má pět zaměstnanců, kteří jsou po celou dobu pracovní směny přítomni právě v zázemí zaměstnanců či v jiné části budovy. Zázemí pro zaměstnance má plošnou

rozlohu $19,49 \text{ m}^2$. Množství přiváděného vzduchu bylo navrženo na počet osob ($50 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu), tedy $250 \text{ m}^3/\text{h}$. Zázemí je v přetlaku, kde $200 \text{ m}^3/\text{h}$ je odváděno odvodními prvky umístěnými přímo v místnosti. Zbylá část vzduchu ($50 \text{ m}^3/\text{h}$) je odváděna odvodním prvkem v přilehlém skladu pomocí větrací mřížky.

Denní místnost lékařů

Denní místnost lékařů je určena pro jednoho lékaře, zdravotní sestru a zaměstnance na výdej léků. Samotná místnost má rozlohu $6,68 \text{ m}^2$, ovšem je součástí bloku určeného pro využívání lékařského personálu, který se sestává dále také z toalety, koupelny a chodby. Vzduch je přiváděn do denní místnosti v množství, určeném podle počtu osob ($50 \text{ m}^3/\text{h}$) a druhu jimi vykonávané práce, tedy $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Odvod je zajištěn přes místnost toalety a koupelny, za pomoci větrací mřížky, kde množství odváděného vzduchu bylo navrženo podle druhu hygienického zařízení (WC - $50 \text{ m}^3/\text{h}$, umyvadlo - $30 \text{ m}^3/\text{h}$, sprchový kout - $50 \text{ m}^3/\text{h}$). Zbytek vzduchu je odveden odvodními prvky přímo v denní místnosti.

Ordinace

Množství přiváděného vzduchu do ordinace bylo navrženo na počet osob (doktor, zdravotní sestra a pacient) a druh práce jimi vykonávané. Práce zdravotní sestry se řadí do třídy IIb., práce doktora se může řadit do třídy IIa. a množství vzduchu pro pacienta je uvažováno jako $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Místnost musí být z hygienických důvodů udržována v přetlaku, proto je do místnosti přiváděno $180 \text{ m}^3/\text{h}$ a odváděno $130 \text{ m}^3/\text{h}$. Zbylé množství vzduchu je odváděno přes čekárnu do přilehlé místnosti s toaletou za pomoci větracích mřížek.

Čekárna a toaleta

Do čekárny je množství přiváděného vzduchu navrženo na předpokládané množství čekajících pacientů. Jelikož se jedná o ordinaci náležící pečovatelskému domu, návštěvy by měly být převážně plánované, pacient nevykonává žádnou práci a je v klidu, množství přiváděného vzduchu na osobu je tedy $25 \text{ m}^3/\text{h}$. Celkový přívod vzduchu je $125 \text{ m}^3/\text{h}$ a odvod je $95 \text{ m}^3/\text{h}$, zbylé množství vzduchu je odváděno přes přilehlou toaletu za pomoci větrací mřížky. Odvod vzduchu na toaletě je určen druhem hygienických zařízení (WC - $50 \text{ m}^3/\text{h}$, umyvadlo - $30 \text{ m}^3/\text{h}$).

Výdej léků a sklad

Množství přiváděného vzduchu je $50 \text{ m}^3/\text{h}$, odvod je zajištěn přes sklad za pomoci větrací mřížky.

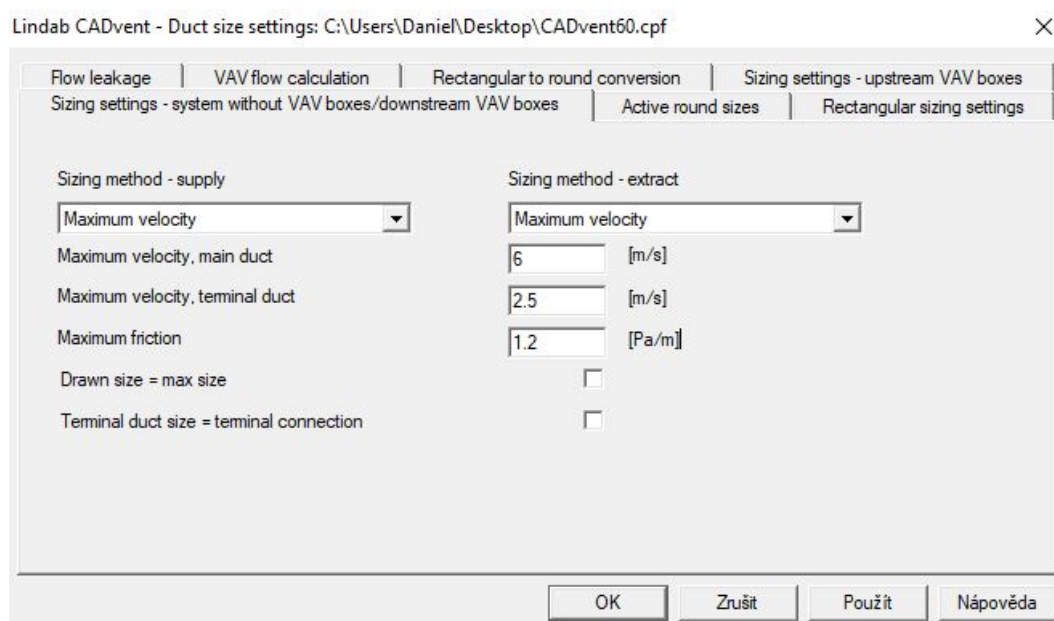
4.2 Výpočet

Výpočty byly provedeny za pomoci programu CADvent.

Dimenze všech rozvodů byly vypočteny na základě navrženého množství přívodního a odvodního vzduchu, trasy potrubí, zvolené maximální rychlosti v páteřních a koncových rozvodech vzduchovodů a maximální tlakové ztrátě třením. Zadané hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 4.2 a pak na Obrázku 4.1. Dále byly také zvolené dimenze potrubí, ty lze vidět na Obrázku 4.2. Pro "kontrolu" správnosti výpočtu byl proveden ruční výpočet nejdelší trasy vzduchovodu hlavní budovy, který je v příloze Výpočty. Jelikož katalog prvků CADvent neobsahuje obtokovou uzavírací klapku TATBU, byla pro účely výpočtu substituována klasickým T-kusem TCPU a dvěma regulačními klapkami na každé větvi.

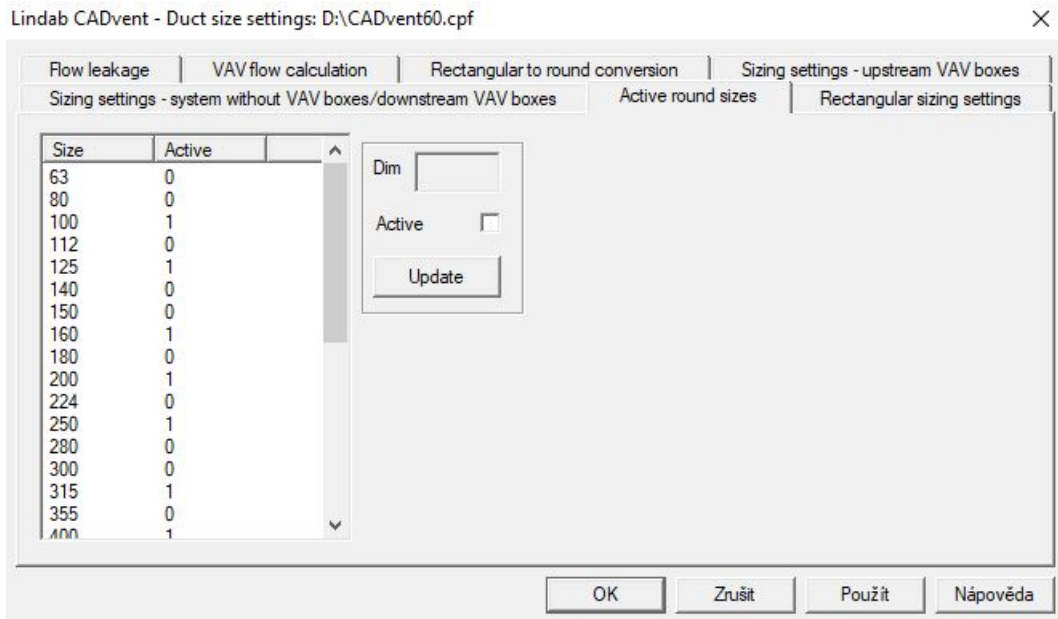
Maximální rychlost v páteřním rozvodu	6 m/s
Maximální rychlost v koncovém rozvodu	2,5 m/s
Maximální tlaková ztráta třením	1,2 Pa/m

Tabulka 4.2: Zadané hodnoty pro návrh dimenzí vzduchovodů (zadání lze vidět na Obrázku 4.1)

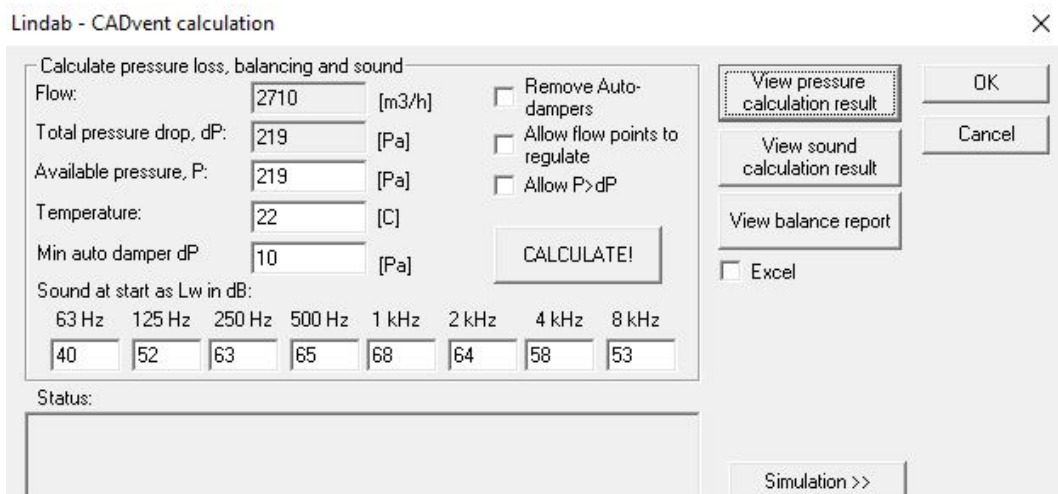


Obrázek 4.1: Zadané hodnoty pro návrh dimenzí vzduchovodů

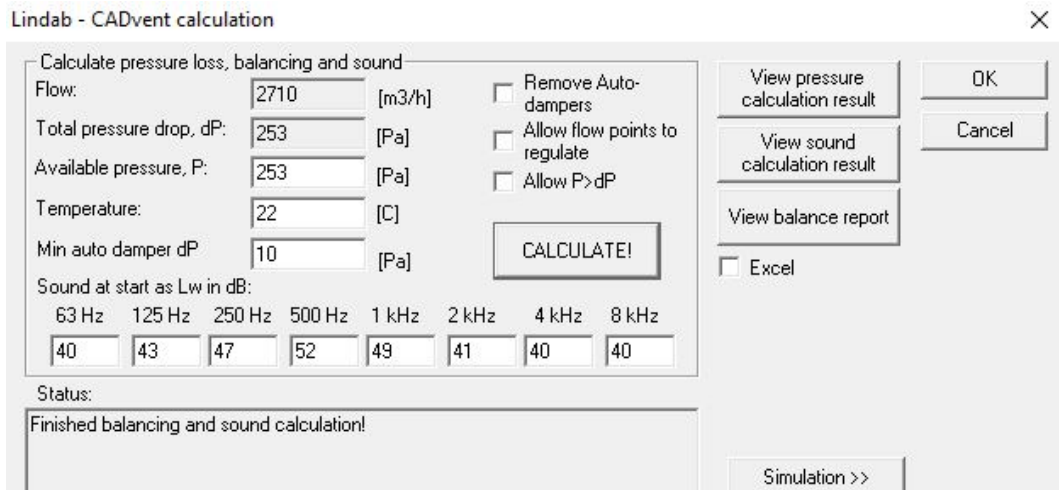
Pro výpočet akustických parametrů je nutné zadat akustické parametry na sání odvodu a výtlaku přívodu vzduchotechnické jednotky (z technických listů vzduchotechnické jednotky). Zadání těchto parametrů a zároveň výsledky celkového množství přiváděného či odváděného vzduchu a výsledky celkové tlakové ztráty přívodních či odvodních vzduchovodů lze vidět na Obrázcích 4.3, 4.4, 4.5 a 4.6.



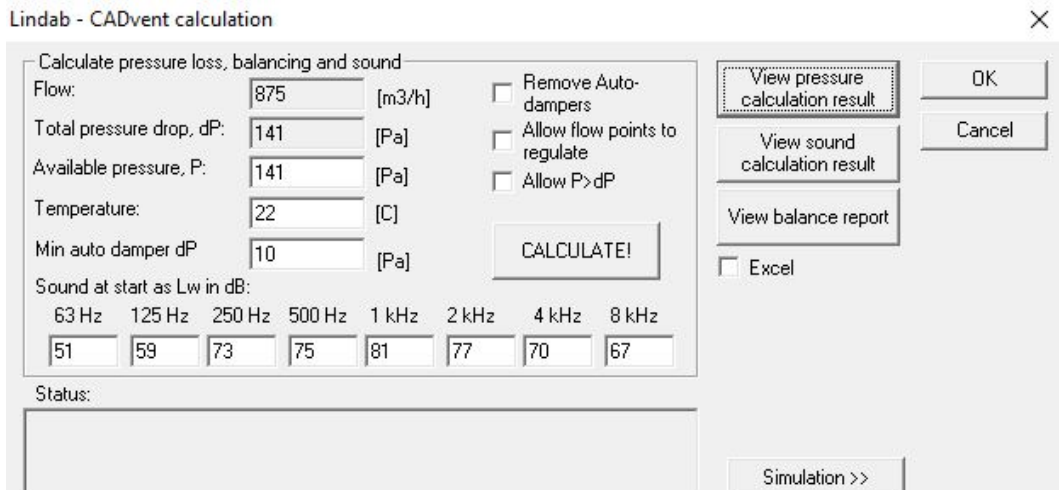
Obrázek 4.2: Zadané dimenze



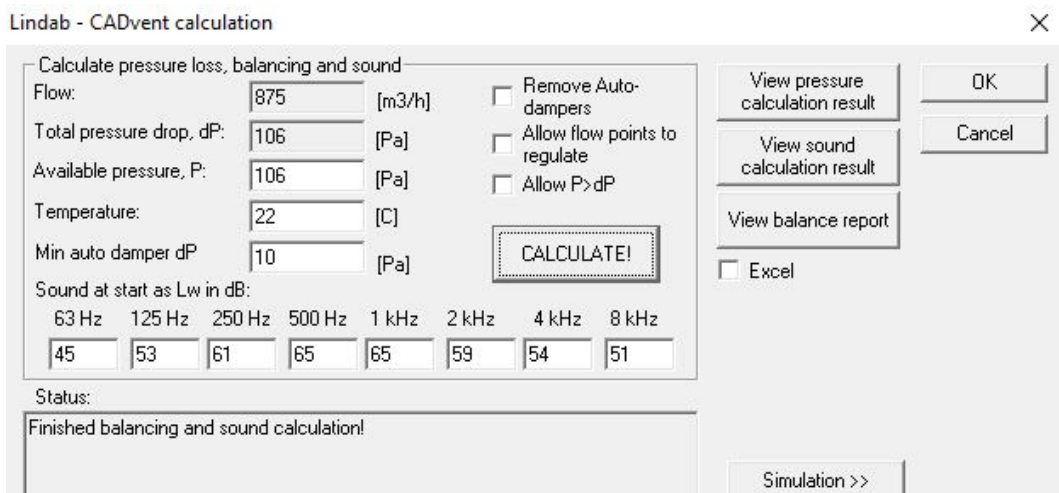
Obrázek 4.3: Kalkulace přívodních rozvodů hlavní budovy



Obrázek 4.4: Kalkulace odvodních rozvodů hlavní budovy



Obrázek 4.5: Kalkulace přívodních rozvodů vedlejší budovy



Obrázek 4.6: Kalkulace odvodních rozvodů vedlejší budovy

4.3 Simulace koncentrace CO_2 v programu CONTAM

4.3.1 Cíle a předpoklady simulace

Cílem je dosáhnout kvality vnitřního prostředí I. kategorie, což tedy pro koncentraci CO_2 znamená převýšení koncentrace CO_2 ve vzduchu místnosti nad koncentrací venkovního vzduchu maximálně o 550 ppm pro obytné místnosti a pro ložnice o 380 ppm. Venkovní koncentrace CO_2 se pohybuje okolo 0,04 % tedy 400 ppm. Předpokládaný harmonogram běžného dne je zaznamenán v Tabulce 4.3, ten je aplikován do společenské místnosti, kde se hodinu před příchodem obyvatel pečovatelského domu počítá s přípravou místnosti personálem a také s tím, že po skončení programu ve společenské místnosti někteří obyvatelé v ní ještě hodinu pobudou. V simulacích pro pokoje se počítá s trvalým pobytem obyvatel po celý den, pro zajištění kvality vzduchu v místnosti i když se obyvatelé rozhodnou trávit celý den uvnitř pokoje. V celém objektu je nastaven noční režim kdy množství přiváděného vzduchu klesne na 70 % a jsou přerušena všechna nárazová odvětrávání.

Čas	6:00 - 8:00	8:00 - 11:00	11:00 - 14:00	14:00 - 17:00	17:00 - 22:00	22:00 - 6:00
Aktivita	Vstávání a snídání	Dopolední program ve společenské místnosti	Příprava oběda a oběd	Odpolední program ve společenské místnosti	Večerní aktivity a příprava ke spánku	Spánek

Tabulka 4.3: Předpokládaný harmonogram dne

4.3.2 Nastavení modelu pro simulaci

Tato sekce popisuje postup vytvoření modelu a simulace na příkladu jednolůžkového pokoje. Konkrétní vstupy pro jednolůžkový pokoj, tři varianty dvoulůžkového pokoje a společenskou místnost jsou uvedeny v sekci 4.3.4 Vstupy.

Vytvoření modelu místnosti

Prvním krokem je vytvoření modelu místnosti (bytu) definováním její geometrie. Každá tato místnost je pak svou vlastní zónou, která je definována teplotou, objemem a vnitřním tlakem (viz příklad vytvoření zóny Ložnice + KK v jednolůžkovém pokoji - Obrázek 4.10). Vnější prostředí se může definovat zadáním konstant teploty, tlaku, směru a rychlosti větru nebo je lze načíst z externího souboru obsahující tato klimatická data (WPC data). Propojení jednotlivých zón a propojení s exteriérem se zadává pomocí otvorů, tedy oken a dveří, a také vzdušnou průvzdušností jednotlivých konstrukcí, označovaná jako flow path. Já jsem zvolila průvzdušnost na jednotku plochy konstrukce s koeficientem úniku 1, průtokovým exponentem 0,65 a tlakovým rozdílem 4 Pa (viz Obrázek 4.8 a 4.9).

Zone Properties

Zone Data | Contaminant Data | Detailed Zone | Schedule

Zone Name: on Level:

Dimensions & Color

Volume: m³

Floor Area: m²

Include in building volume

Color:

Temperature & Pressure

Temperature: °C

Pressure: Pa

Variable Constant

Obrázek 4.7: Zóna Ložnice + KK v jednolůžkovém pokoji

Powerlaw Model: Leakage Area

Name:

Leakage Area

Per Item

Per Unit Length cm²/m²

Per Unit Area

Reference Conditions

Discharge Coefficient:

Flow Exponent:

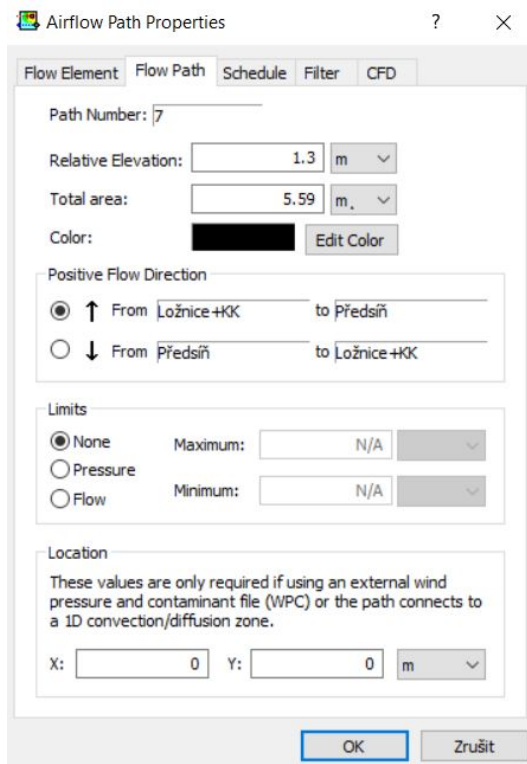
Pressure Difference: Pa

Description:

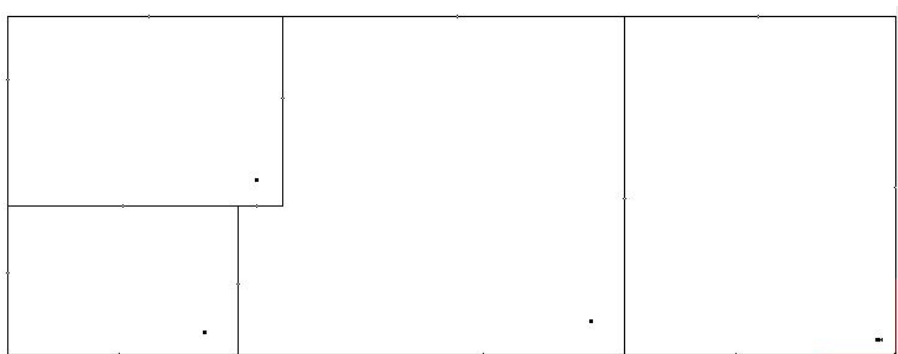
Icon

Small opening Large opening

Obrázek 4.8: Nastavení flow path mezi místnostmi v interiéru



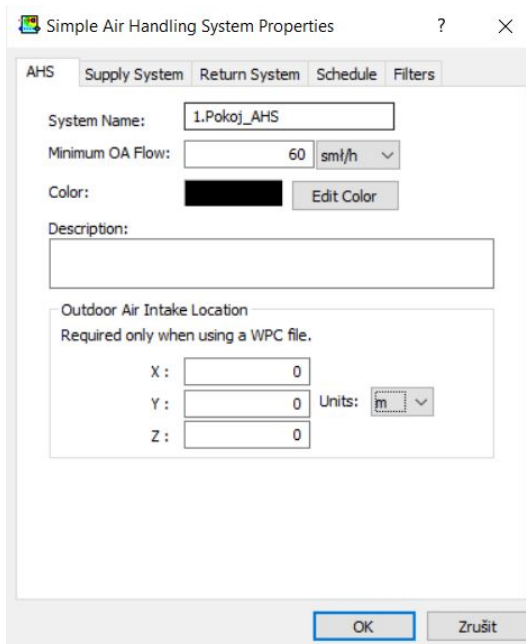
Obrázek 4.9: Nastavení flow path - rozsah konstrukce ($5,59 \text{ m}^2$) a směr proudění (z Ložnice + KK do Předsíně)



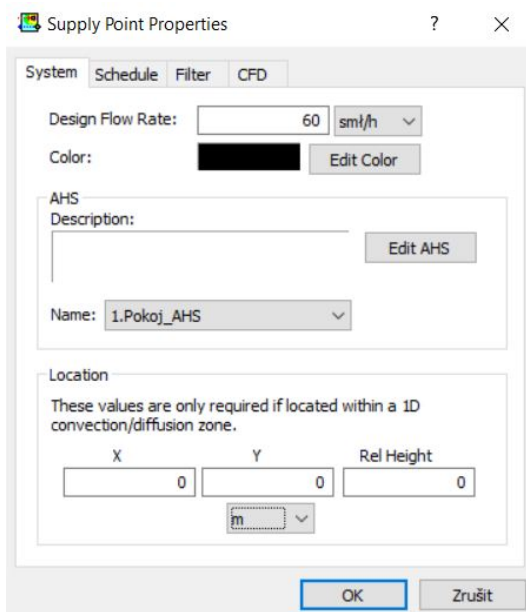
Obrázek 4.10: Model místnosti se zadanými zónami, flow paths a vzduchotechnickou jednotkou

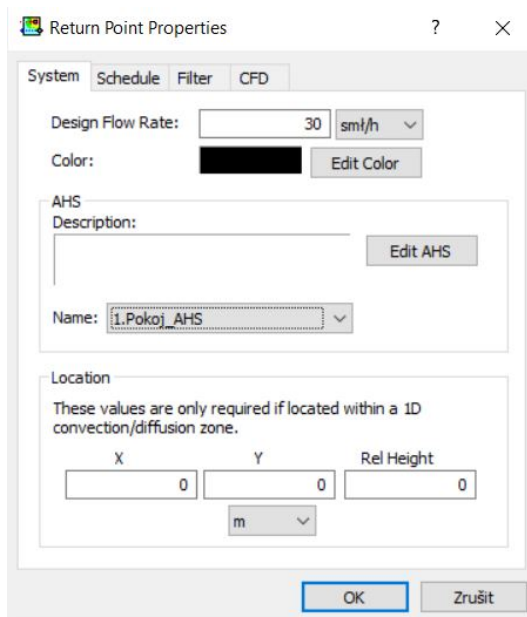
Vytvoření vzduchotechnického systému, přívodních a odvodních prvků

Dalším krokem je vytvoření vzduchotechnického systému pro daný model (Obrázek 4.11), přívodních (Obrázek 4.12) a odvodních (Obrázek 4.13) prvků. Jejich konkrétní umístění v zóně při měření koncentrace CO_2 není rozhodující.



Obrázek 4.11: Určení vzduchotechnického systému pro model jednolůžkového pokoje

Obrázek 4.12: Přívod vzduchu jednolůžkového pokoje do zóny Ložnice + KK 60 m³/h



Obrázek 4.13: Odvod vzduchu jednolůžkového pokoje ze zóny Ložnice + KK $30 \text{ m}^3/\text{h}$

Definice a vložení kontaminantů do místnosti

K modelaci koncentrace škodlivých kontaminantů vzduchu je potřeba nejprve definovat samotný kontaminant. Ten je definován svou molární hmotností, hustotou, měrnou plynovou konstantou, koncentrací ve vnějším prostředí, popřípadě dalšími parametry. (viz Obrázek 4.14)

Species Properties

Name: CO2

Molar Mass: 44 kg/kmol

Diffusion Coefficient: 2e-05 m./s

Specific Heat: 1000 J/(kgK)

Mean Diameter: 0 m

Effective Density: 0 kg/m³

Decay Rate: 0 1/s

UVGI Susceptibility Constant: 0 m²/J

Default Concentration: 400 ppm

Non-trace Contaminant:

Use in Simulation:

Description:

Guideline Value: N/A

Guideline Description: N/A

OK Cancel

Obrázek 4.14: Definice CO_2 jako kontaminantu do modelu

Po zadání všech potřebných parametrů definujících zkoumaný kontaminant, je možné zadat do modelu jeho zdroj s jeho produkcí. (viz Obrázek 4.15) Pokud zdroj mění svou produkci v čase je možné to nasimulovat pomocí jemu přiřazenému časovému plánu. Více o časových plánech v sekci 4.3.2 Časové plány.

Constant Coefficient Model

Name: ObyvatelCO2

Generation Rate: 20 L/h

Removal Rate: 0 kg/s

Species: CO2

Description:

OK Cancel

Obrázek 4.15: Zadání zdroje CO_2 jako kontaminantu do modelu jednolůžkového pokoje s produkcí 20 l/h

Časové plány

Dobu působení kontaminantu (či jeho intenzitu) a provoz (nebo spíše změnu provozu) vzduchotechnického systému umožňují časové plány. Kde určujeme intenzitu působení či výkon systému v daném čase. Příkladem je časový plán vzduchotechnického systému v modelu jednolůžkového pokoje na Obrázku 4.16, kde od 6:00 do 22:00 je nastavený výkon VZT systému na 1 (tedy 100 % výkon) a od 22:00 do 6:00, což je utlumený noční režim, na 0,7 (tedy 70 % výkonu).

Day Schedule

Name: Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0.7
06:00:00	1
22:00:00	0.7
24:00:00	0.7

<< Insert << Delete

OK Cancel

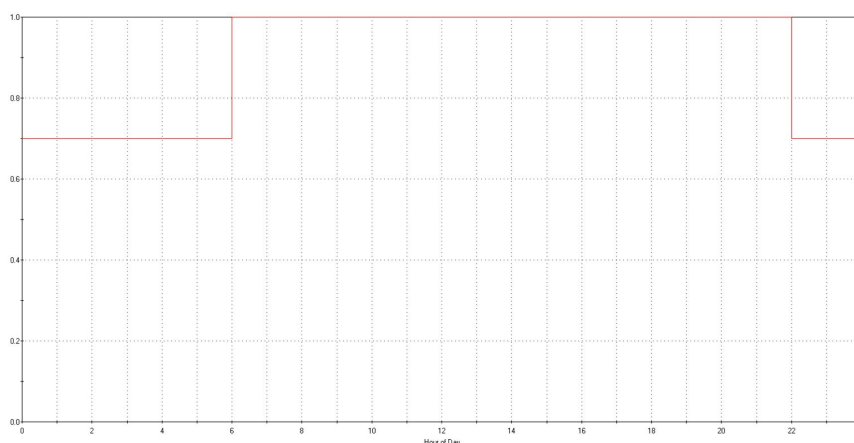
Edit Schedule Value

Time: : :

Value:

Units:

Obrázek 4.16: Časový plán vzduchotechnického systému v jednolůžkovém pokoji



Obrázek 4.17: Časový plán vzduchotechnického systému v jednolůžkovém pokoji znázorněný graficky

4.3.3 Simulace

Pro určení koncentrace škodlivin v čase, lze volit mezi několika možnostmi simulace pro ustálené podmínky, viz následující dle [28].

- steady: simuluje ustálený stav, nebo proměnlivé podmínky
- transient: simuluje určitý zvolený časový úsek a může tak zjistit průběh hodnot škodlivin
- cyclic: opakuje 24 hodinový cyklus, dokud není ve všech zónách dosaženo rovnovážného stavu

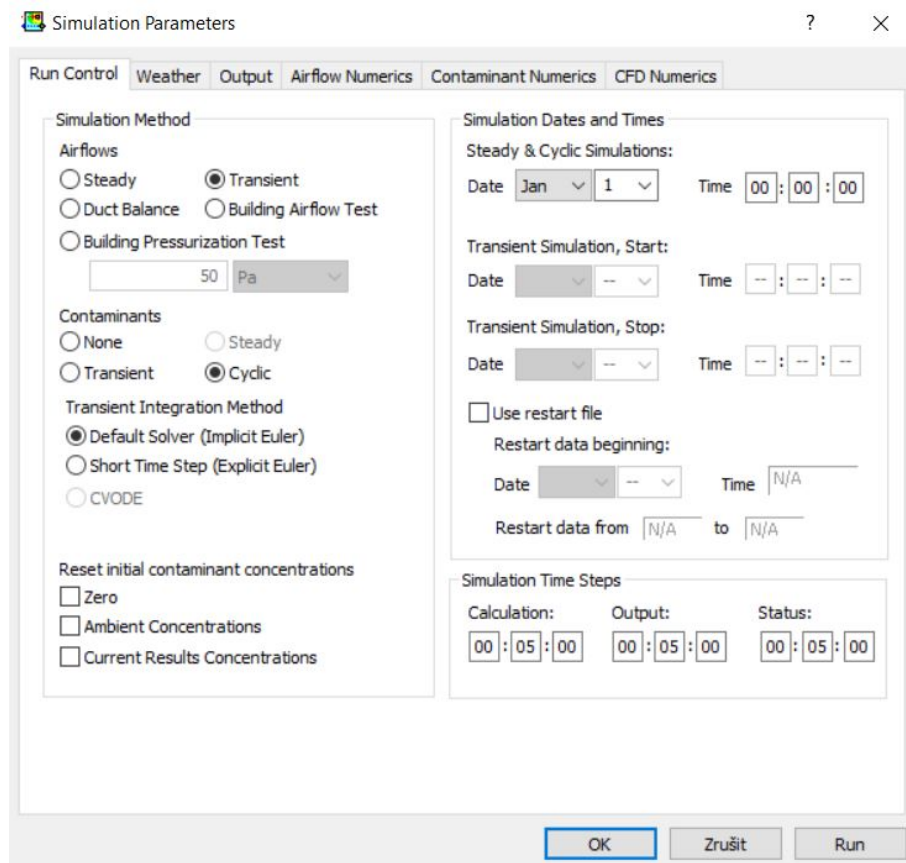
Program umožňuje kombinace simulací pro proudění vzduchu a kontaminant viz Tabulka 4.4:

Možné kombinace simulací

Proudění vzduchu	Kontaminant
Steady	Steady
Steady	Transient
Steady	Cyclic
Transient	Cyclic

Tabulka 4.4: Možnosti kombinací simulací pro proudění vzduchu a kontaminant [28]

Pro simulaci koncentrace CO_2 jsem zvolila poslední zmíněnou kombinaci simulací, tedy pro proudění vzduchu transient, protože, jak již bylo uvedeno, simuluje určitý zvolený časový úsek a je tak vhodný pro zkoumání průběhu hodnot kontaminantů ve vzduchu. A pro škodlivinu (CO_2) cyclic, který opakuje 24 hodinový cyklus s časovými kroky simulace každou půl hodinu (viz Obrázek 4.18). Pokud by se neopakoval 24 hodinový cyklus při simulaci, výsledek by ukazoval na začátku měření nekontaminovaný vzduch škodlivinou, tedy jakoby před začátkem simulace žádný zdroj škodliviny v místnosti nebyl, což pro skutečné podmínky žití v místnosti není reálné.



Obrázek 4.18: Nastavení simulace

4.3.4 Vstupy

Jednolůžkový pokoj

Jednolůžkový pokoj, určený pro jednu osobu, má pouze jednu obytnou místnost a to ložnici s kuchyňským koutem. V této místnosti je produkce CO_2 nastavena na 13,6 l/h (odpovídající člověku v klidu) přes noc (tedy v čase od 22:00 do 6:00) a 20 l/h (odpovídající člověku při lehké činnosti) přes den. Objem přiváděného vzduchu do jednolůžkového pokoje je $60 \text{ m}^3/\text{h}$ a odvádí se stejné množství, polovina z hlavní místnosti a polovina z koupelny. V noci klesá objem přiváděného i odváděného vzduchu na $42 \text{ m}^3/\text{h}$. Shrnutí vstupních hodnot viz Tabulka 4.5

	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00
Produkce CO₂ [l/h]	20	13,6
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	60	42

Tabulka 4.5: Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne v jednolůžkovém pokoji

Dvoulůžkový pokoj

Dvoulůžkový pokoj, určený pro dvě osoby, se sestává z dvou obytných místností, ložnice a obývacího pokoje s kuchyňským koutem. V ložnici je produkce CO_2 nastavena na hodnotu 13,6 l/h na osobu (odpovídající člověku v klidu) a v obývacím pokoji na 20 l/h na osobu (odpovídající člověku při lehké činnosti). Doba pobytu v ložnici byla nastavena od 22:00 do 6:00. Objem přiváděného vzduchu do ložnice a do obývacího pokoje je přes den stejný a to $80 \text{ m}^3/\text{h}$ a odvádí se stejné množství, $80 \text{ m}^3/\text{h}$ z obývacího pokoje a $80 \text{ m}^3/\text{h}$ z koupelny. V noci klesá objem přiváděného i odváděného vzduchu na $112 \text{ m}^3/\text{h}$, kdy ale za pomoci klapky je do ložnice přiváděno $72 \text{ m}^3/\text{h}$ a do obývacího pokoje $40 \text{ m}^3/\text{h}$. V první simulaci se předpokládá s pobytem obou osob v obývacím pokoji přes den, ve druhé simulaci se pouze jedna osoba přesouvá do obývacího pokoje na celý den a ve třetí simulaci zůstávají obě osoby v ložnici. Shrnutí časových plánů a množství produkce kontaminantu nebo přiváděného vzduchu jsou vidět v Tabulkách: pro Variantu 1 - Tabulka 4.6, Variantu 2 - Tabulka 4.7 a pro Variantu 3 - Tabulka 4.8.

Druh místnosti	Obývací pokoj + KK		Ložnice	
	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00
Produkce CO₂ [l/h]	40	0	0	27,2
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	80	40	80	72

Tabulka 4.6: Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO_2 v průběhu jednoho celého dne v dvoulůžkovém pokoji - **Varianta 1**

Druh místnosti	Obývací pokoj + KK		Ložnice	
	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00
Čas				
Produkce CO ₂ [l/h]	20	0	13,6	27,2
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	80	40	80	72

Tabulka 4.7: Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO₂ v průběhu jednoho celého dne v ve dvoulůžkovém pokoji - **Varianta 2**

Druh místnosti	Obývací pokoj + KK		Ložnice	
	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00	DEN 6:00 - 22:00	NOC 22:00 - 6:00
Čas				
Produkce CO ₂ [l/h]	0	0	27,2	27,2
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	80	40	80	72

Tabulka 4.8: Vstupní hodnoty do simulace koncentrace CO₂ v průběhu jednoho celého dne ve dvoulůžkovém pokoji - **Varianta 3**

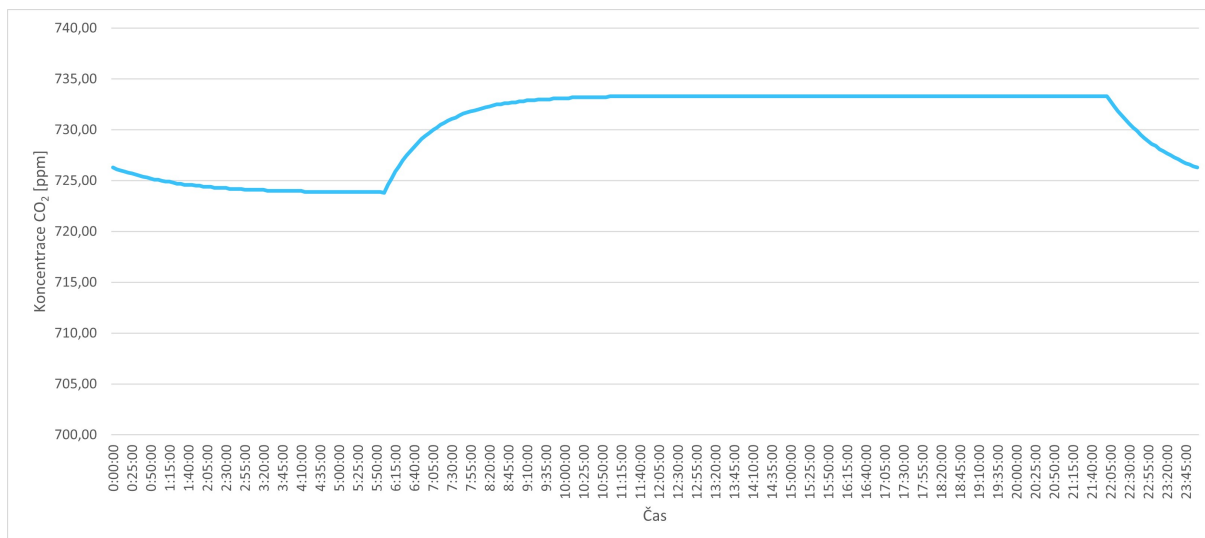
Společenská místnost

Produkce CO₂ je nastavena na 20 l/h (odpovídající lehké činnosti člověka) a to na plnou obsazenost místnosti, tedy 30 osob. Tato produkce je nastavena podle výše uvedeného harmonogramu v Tabulce 4.3. Hodinu před příchodem obyvatel pečovatelského domu se počítá s přípravou místnosti personálem a také s tím, že po skončení programu ve společenské místnosti někteří její obyvatelé v ní ještě hodinu zůstanou.

4.3.5 Výstupy a jejich zhodnocení

Jednolůžkový pokoj

Výsledky ukazují (viz Obrázek 4.19), že v nočním režimu koncentrace CO₂ nepřesahuje limitní hodnotu 780 ppm, která je stanovena pro ložnice, a v denním režimu také nepřesahuje limitní hodnotu 950 ppm, která je určena obytným místnostem. Hlavní místnost jednolůžkového pokoje spadá do I. kategorie kvality vnitřního prostředí, podle větrání.

Obrázek 4.19: Koncentrace CO_2 ve jednolůžkovém pokoji

Dvoulůžkový pokoj

Koncentrace CO_2 je v obývacím pokoji od limitní hranice 950 ppm velice vzdálena ve všech třech variantách. V ložnici je koncentrace CO_2 ve všech třech případech v noci těsně pod limitní hranicí koncentrace CO_2 780 ppm. Ovšem přes den zvýšením přívodu vzduchu při denním režimu koncentrace CO_2 klesá, i když se rozhodnou obě osoby trávit den v ložnici (Varianta 3 - viz Obrázek 4.22). Snížení koncentrace CO_2 je v tomto případě pozorovatelné i v obývacím pokoji, přestože se v něm žádné osoby nenachází. To je způsobeno umístěním odvodného prvku právě v obývacím pokoji a koupelně, které odvádějí znehodnocený vzduch z ložnice přes větrací mřížky ve dveřích. Pokles koncentrace je znatelnější, protože na rozdíl od ložnice, kde množství přiváděného vzduchu stoupne jen o 10%, v obývacím pokoji stoupne množství přiváděného vzduchu o 50% (a množství odváděného vzduchu celkově o 30%).

Odchodem jedné osoby začátkem denního režimu (Varianta 2 viz Obrázek 4.21), klesne koncentrace CO_2 o zhruba 23%, zatím co v obývacím pokoji koncentrace CO_2 stoupne o zhruba 16%. Tento rozdíl je způsobený změnou produkce CO_2 z nočních 13.6 l/h na denních 20 l/h, změnou množství přiváděného vzduchu a také objemem místnosti ve které se zdroj škodlivin nachází.

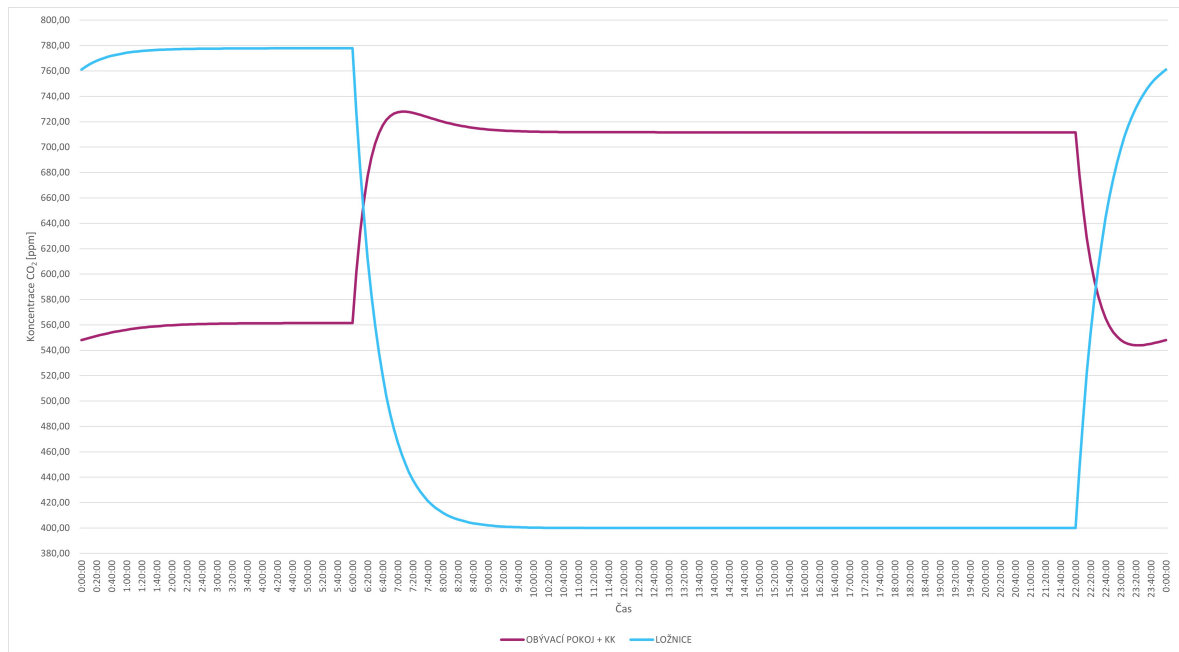
V první variantě (viz Obrázek 4.20) po odchodu obou osob do obývacího pokoje, klesne koncentrace CO_2 na defaultní hodnotu (tedy hodnotu shodnou s venkovním vzduchem) koncentrace CO_2 (400 ppm).

V první i druhé variantě při přesunech do obývacího pokoje dojde na začátku pobytu k malému extrému než se koncentrace ustálí. Tento extrém může být způsobený náhlou

produkcí CO_2 v místnosti a velkou změnou množství přívodního vzduchu (navýšení o 50%) ve stejnou chvíli, proto chvíli trvá než se koncentrace ustálí.

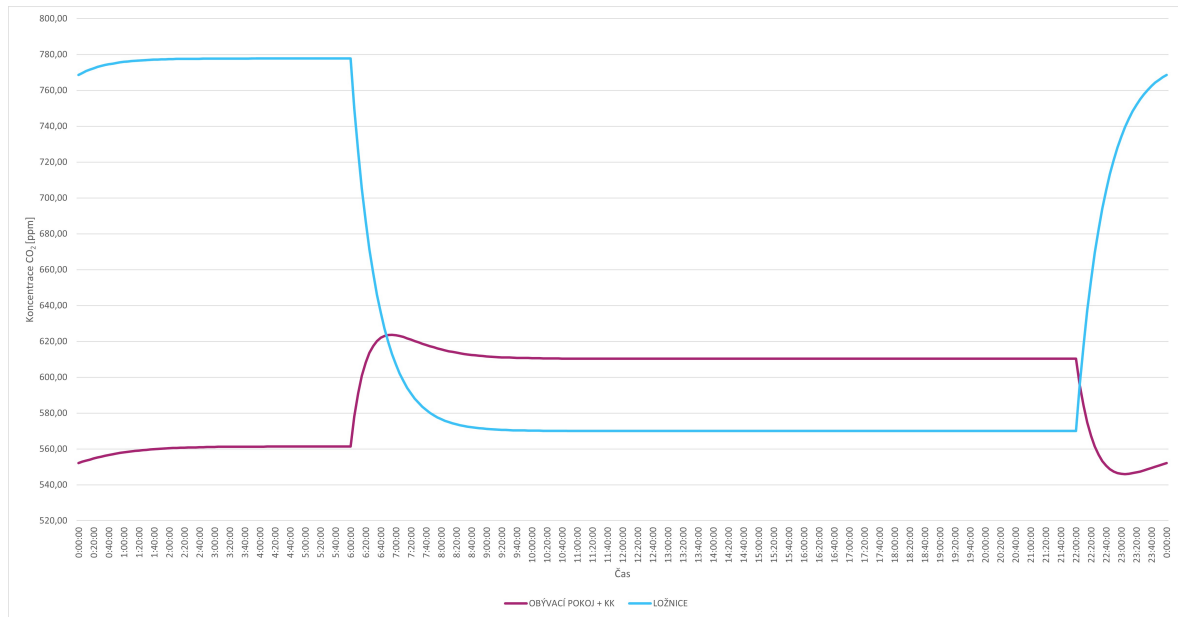
Ve všech variantách spadají ložnice a obývací pokoj do I. kategorie kvality vnitřního prostředí, podle větrání.

Varianta 1: Obě osoby se po probuzení přesouvají do obývacího pokoje



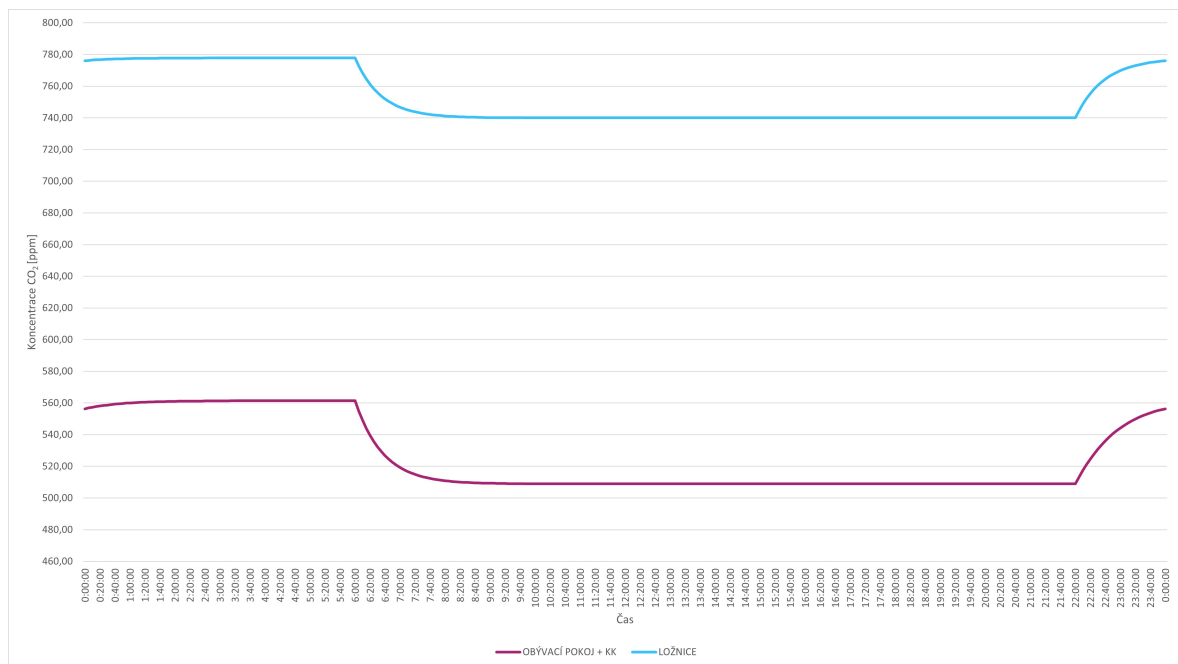
Obrázek 4.20: Koncentrace CO_2 ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem obou osob v obývacím pokoji přes den (Varianta 1)

Varianta 2: Jedna osoba se po probuzení přesouvá do obývacího pokoje a druhá zůstává v ložnici



Obrázek 4.21: Koncentrace CO_2 ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem jedné osoby v obývacím pokoji přes den a jedné osoby v ložnici (Varianta 2)

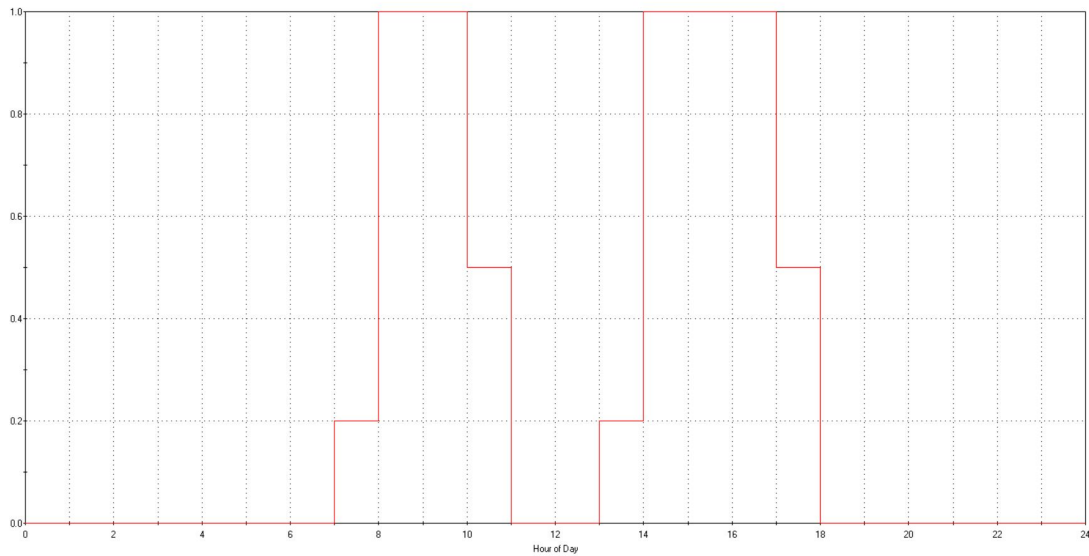
Varianta 3: Obě osoby po probuzení zůstávají v ložnici po celý den



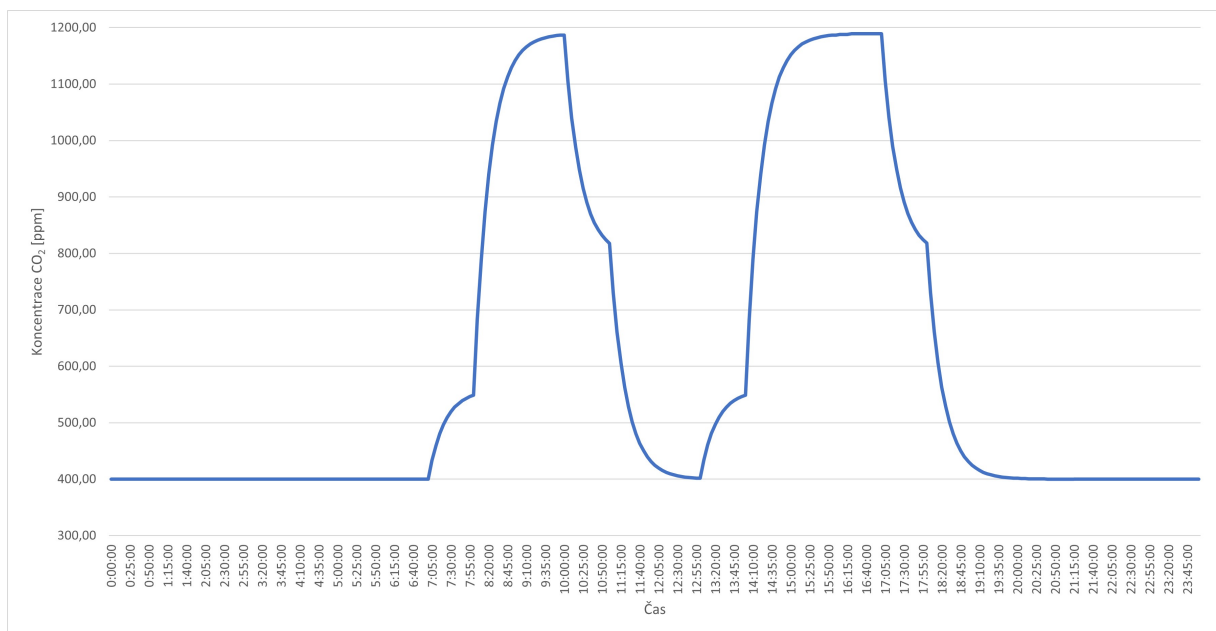
Obrázek 4.22: Koncentrace CO_2 ve dvoulůžkovém pokoji s pobytem obou osob v ložnici po celý den (Varianta 3)

Společenská místnost

Změny koncentrací CO_2 jsou hlavně způsobeny příchody a odchody obyvatel do a z místnosti. Časový plán společenské místnosti je k porovnání ke koncentraci CO_2 v grafické podobě na Obrázku 4.23. Vzduch ve společenské místnosti i s plnou účastí všech obyvatel i zaměstnanců pečovatelského domu, s přívodem $25 \text{ m}^3/h$ čerstvého vzduchu na osobu, nepřekročí koncentraci CO_2 hraničních 1500 ppm (viz Obrázek 4.24).



Obrázek 4.23: Časový plán obsazenosti společenské místnosti



Obrázek 4.24: Koncentrace CO_2 ve společenské místnosti

4.4 Simulace koncentrace vodní páry v programu CON-TAM

4.4.1 Cíle a předpoklady simulace

Cílem je zjistit, jestli návrh, který splňuje kvalitu vnitřního vzduchu I. kategorie, což bylo cílem nejen předchozích simulací, ale i celého návrhu, splňuje i požadavky na relativní vlhkost vzduchu. Tedy nepřesahuje v obytné místnosti hodnotu 65 % stanovenou Vyhláškou 6/2003 Sb. stanovující hygienické limity vnitřního prostředí [7]. A v koupelně pokud možno nepřesahuje hranici 90 % nebo 100 % a pokud ano, tak pouze na velice krátký čas. Jako zdroje vodní páry jsem pro simulaci zvolila samotné obyvatele místnosti, vaření a sprchování. Harmonogramy činností a nárazového větrání, stejně jako množství produkce vodní páry a odváděného vzduchu jsou uvedeny v sekci 4.4.2 Nastavení modelu pro simulaci.

4.4.2 Nastavení modelu pro simulaci

Model místnosti je již hotový z předchozích simulací, stejně jako vzduchotechnický systém a nastavení přírodních a odvodních prvků.

Definice a vložení kontaminantu vodní páry

Nyní je nutné do modelu vložit a definovat nový kontaminant jímž je vodní pára. Kontaminant je definován svou molární hmotností, tedy 18,01 kg/kmol, a defaultní koncentrací/nastavením ve vnějším prostředí. Tu jsem zvolila jako měrnou vlhkost 6 g/kg (viz Obrázek 4.25), která odpovídá tzv. přechodnému období, jež je nejkritičtější z hlediska vlhkosti. Protože i přesto, že je v letním období měrná vlhkost ve vnějším prostředí vyšší (i po ochlazení vzduchotechnickou jednotkou - nemluvě o relativní vlhkosti, která ochlazením stoupne), je tento vzduch přiváděn (nebo alespoň to je předpokladem) do prostředí s vyšší teplotou. Dojde tak ke snížení relativní vlhkosti i měrné vlhkosti, oproti přiváděnému vzduchu. A v zimním období má vnější vzduch velmi nízkou měrnou vlhkost a relativní vlhkost (přesto, že je vysoká) ohřátím klesne.

Časové plány

Časové plány byly nastaveny jak jednotlivým kontaminantům, tak prvkům odvádějící vzduch v jednolůžkovém pokoji, kde je nárazové odvádění vzduchu navrženo. Ve dvoulůžkovém pokoji jsou již časové plány na 100 % výkon a utlumený noční režim nastaveny z předchozích simulací. Konkrétní návrh časových plánů je zaznamenán v sekci 4.4.3 Vstupy.

The screenshot shows a dialog box titled 'Species Properties' with a close button (X) and a help button (?). The 'Name' field contains 'Vodní pára'. Below are several input fields with units and dropdown menus: 'Molar Mass' (18.01 kg/kmol), 'Diffusion Coefficient' (2e-05 m./s), 'Specific Heat' (0 J/(kgK)), 'Mean Diameter' (0 m), 'Effective Density' (0 kg/mt), 'Decay Rate' (0 1/s), 'UVGI Susceptibility Constant' (0 m²/J), and 'Default Concentration' (6 g/kg). There are also checkboxes for 'Non-trace Contaminant' (unchecked) and 'Use in Simulation' (checked). A 'Description' text area is empty. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Obrázek 4.25: Definice vodní páry jako kontaminantu do modelu

4.4.3 Vstupy

Jako zdroj vodní páry jsem zvolila samotné osoby obývající pokoj s produkcí vodní páry 30 g/h, odpovídající člověku v klidu. Dalším zdrojem v kuchyňském koutě je vaření, které může produkovat 600 - 1500 g/h vodní páry. Já jsem zvolila 800 g/h vzhledem k velikosti a vybavenosti (sporák o dvou plotýnkách) kuchyňského koutu, počtu obyvatel místnosti a jejich charakteru. V koupelně ve sprchovém koutě je zdroj vodní páry při sprchování nastaven na 2600 g/h viz Obrázek 4.26.

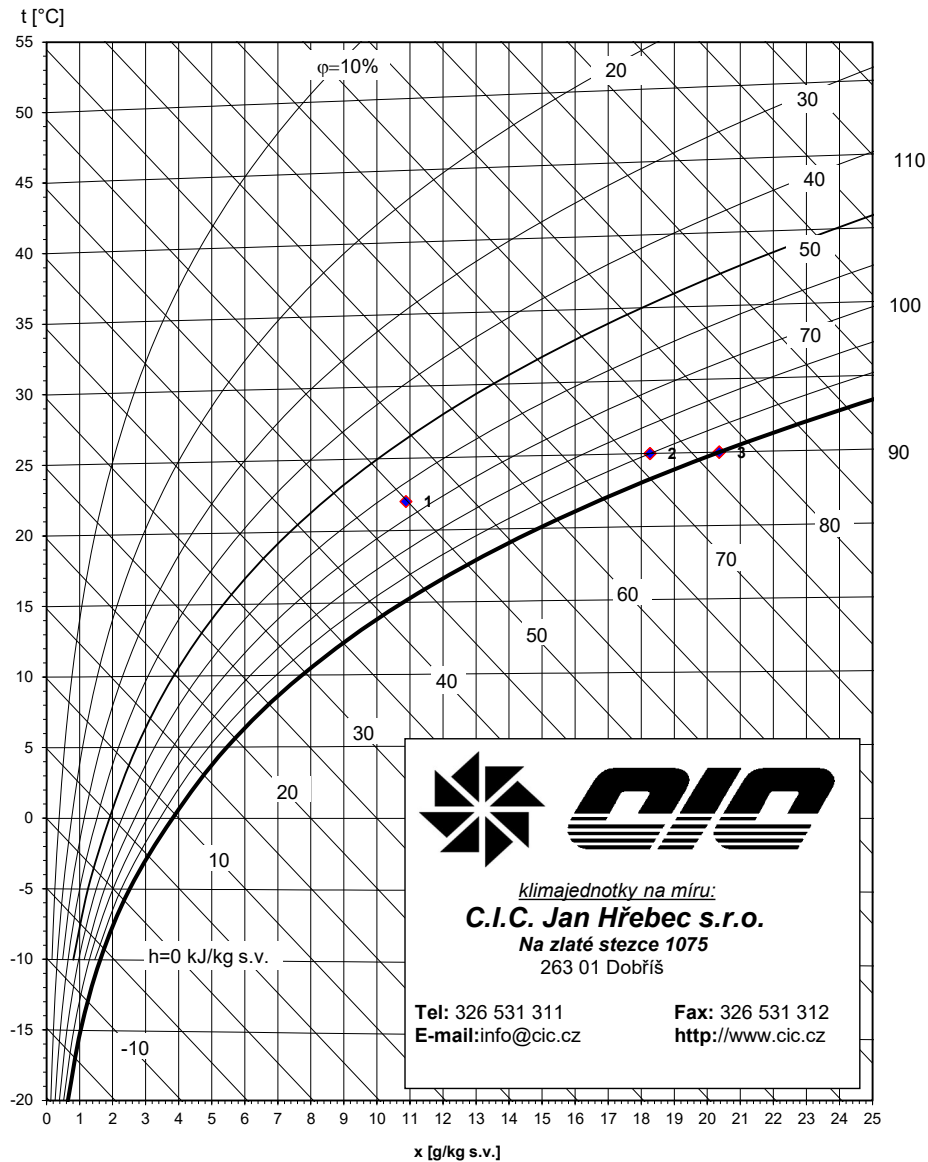
The screenshot shows a dialog box titled 'Constant Coefficient Model' with a close button (X) and a help button (?). The 'Name' field contains 'Sprchování'. Below are input fields with units and dropdown menus: 'Generation Rate' (2600 g/h), 'Removal Rate' (0 kg/s), and 'Species' (Vodní pára). A 'Description' text area is empty. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Obrázek 4.26: Zadání zdroje vodní páry jako kontaminantu do modelu, s produkcí 2600 g/h, odpovídající sprchování

Stanovení limitních hodnot bylo provedeno za pomoci Hx diagramu viz Obrázek 4.27.

Psychrometrický diagram dle Molliera

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teplota	t	°C	22,0	25,0	25,0							
rel. vlhkost	φ	%	65%	90%	100%							
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	10,9	18,3	20,4							
entalpie	h	kJ/kg s.v.	49,9	71,8	77,1							
hustota	ρ	kg/m ³	1,17	1,16	1,15							
t. vlhkého tepl.	tv	°C	22,8	20,6	18,3							
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	0	0	0							
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	0	0	0							
Předaný výkon	P	kW										
Odpařené vody	qw	kg/h										

Obrázek 4.27: Stanovení limitních hodnot v Hx diagramu

Jednolůžkový pokoj

V jednolůžkovém pokoji je nutno nastavit časový plán nejen ke kontaminantům a definovat tak čas jejich produkce, ale i k prvkům odvádějících vzduch z místnosti, jelikož zde bylo navrženo krom trvalého odvádění vzduchu i nárazové odvádění vzduchu. Tento časový plán je vidět v Tabulkách 4.9 a 4.10 a jednotlivá nastavení v programu na Obrázcích 4.28, 4.29, 4.30 a 4.31. Stoprocentní výkon představuje v modelu výkon nárazového větrání, tedy v časovém plánu odvodního prvku 1 (100 %) znamená $50 \text{ m}^3/\text{h}$, 0,6 (60 %) je $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (stálý odtah ve dne), 0,42 (42 %) je $21 \text{ m}^3/\text{h}$ (stálý odtah v noci) a 0,2 (20 %) je $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (snížený odtahový výkon při nárazovém větrání v druhé místnosti). Čas nárazového větrání se sestává z doby provozu, buďto cirkulační digestoře nebo světla v koupelně, plus doby doběhu 20 minut.

VAŘENÍ	Doba trvání	Čas v časovém plánu	Množství odváděného vzduchu/ Produkce vodní páry	Výkon uvedený v časovém plánu
Vodní pára v kuchyni	30 min.	11:00 - 11:30	800 g/h	1
Odtah vzduchu v kuchyňském koutě	50 min.	11:00 - 11:50	50 m ³ /h	1
Odtah vzduchu v koupelně	50 min.	11:00 - 11:50	10 m ³ /h	0,2

Tabulka 4.9: Časový plán vaření v jednolůžkovém pokoji

SPRCHOVÁNÍ	Doba trvání	Čas v časovém plánu	Množství odváděného vzduchu/ Produkce vodní páry	Výkon uvedený v časovém plánu
Vodní pára v koupelně	10 min.	20:00 - 20:10	2600 g/h	1
Odtah vzduchu v kuchyňském koutě	30 min.	20:00 - 20:30	10 m ³ /h	0,2
Odtah vzduchu v koupelně	30 min.	20:00 - 20:30	50 m ³ /h	1

Tabulka 4.10: Časový plán sprchování v jednolůžkovém pokoji

Obrázek 4.28: Časový plán kontaminantu představující vaření

Day Schedule

Name: Sprchování Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0
20:00:00	1
20:10:00	0
24:00:00	0

<< Insert <<
Delete

Edit Schedule Value
 Time: 24:00:00
 Value: 0
 Units:

OK Cancel

Obrázek 4.29: Časový plán kontaminantu představující sprchování v jednolůžkovém pokoji

Day Schedule

Name: Odtah_vaření Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0.42
06:00:00	0.6
11:00:00	1
11:50:00	0.6
20:00:00	0.2
20:30:00	0.6
22:00:00	0.42
24:00:00	0.42

<< Insert <<
Delete

Edit Schedule Value
 Time: 00:00:00
 Value: 0.42
 Units:

OK Cancel

Obrázek 4.30: Časový plán kontaminantu odvodního prvku v kuchyňském koutě jednolůžkového pokoje

Day Schedule

Name: Odtah_koupelna Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0.42
06:00:00	0.6
11:00:00	0.2
11:50:00	0.6
20:00:00	1
20:30:00	0.6
22:00:00	0.42
24:00:00	0.42

<< Insert <<
Delete

Edit Schedule Value
 Time: 00:00:00
 Value: 0.42
 Units:

OK Cancel

Obrázek 4.31: Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje

Dvoulůžkový pokoj

Ve dvoulůžkovém pokoji jsou již časové plány na 100 % výkon a utlumený noční režim nastaveny z předchozích simulací. Časové plány kontaminantů jsou shodné s jednolůžkovým pokojem až na sprchování, kde se počítá se sprchováním dvou osob. A to v prvním případě s půlhodinovým rozestupem (tedy 30 min. po zahájení prvního sprchování viz Obrázek 4.32) a ve druhém případě s hodinovým rozestupem (tedy hodinu od zahájení prvního sprchování viz Obrázek 4.33). Konkrétněji viz Tabulka 4.11

SPRCHOVÁNÍ	Doba trvání	Čas prvního sprchování v časovém plánu	Čas druhého sprchování v časovém plánu
1. Varianta	10 min.	20:00 - 20:10	20:30 - 20:40
2. Varianta	10 min.	20:00 - 20:10	21:00 - 21:10

Tabulka 4.11: Časový plán sprchování ve dvoulůžkovém pokoji - dvě varianty

Day Schedule

Name: Sprchovani Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0
20:00:00	1
20:10:00	0
20:30:00	1
20:40:00	0
24:00:00	0

<< Insert << Delete

Edit Schedule Value

Time: 24:00:00

Value: 0

Units: ▼

OK Cancel

Obrázek 4.32: Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje

Day Schedule

Name: Sprchovani Display Graphically

Description:

Shape: Rectangular Trapezoidal

Time	Value
00:00:00	0
20:00:00	1
20:10:00	0
21:10:00	1
21:10:00	0
24:00:00	0

<< Insert << Delete

Edit Schedule Value

Time: 24:00:00

Value: 0

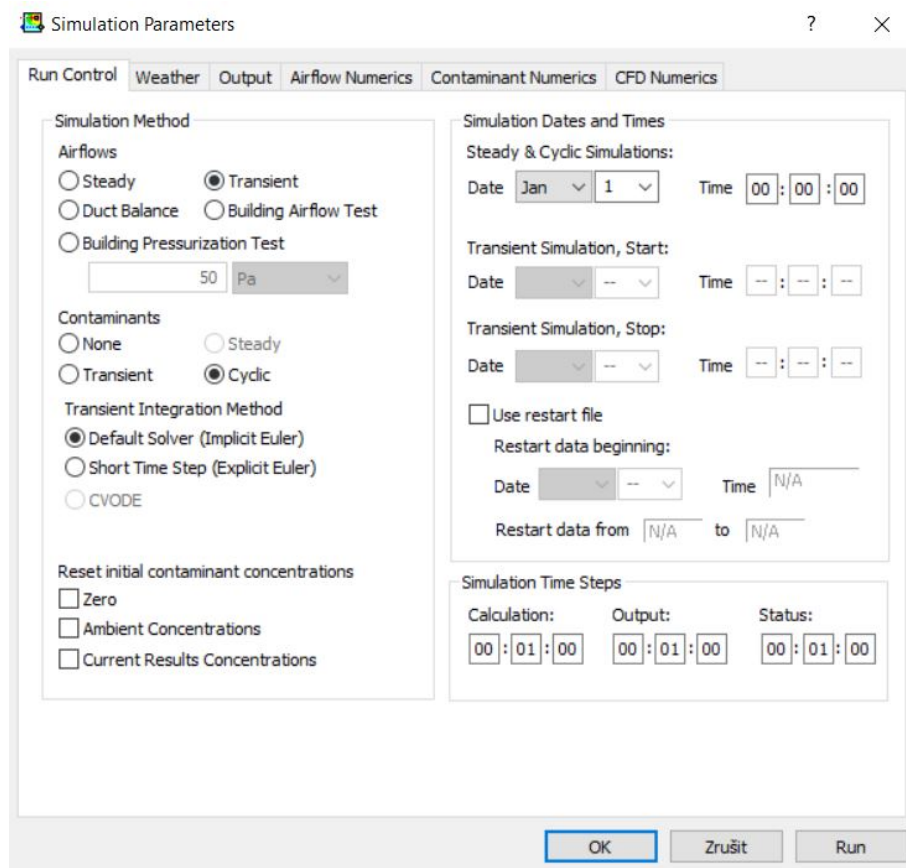
Units: ▼

OK Cancel

Obrázek 4.33: Časový plán kontaminantu odvodního prvku v koupelně jednolůžkového pokoje

4.4.4 Simulace

Simulace byla provedena stejným způsobem jako u předchozích modelů, až na zvolený krok simulace (Simulation Time Steps), ten byl přenastaven z 5 minut na 1 minutu viz Obrázek 4.34.



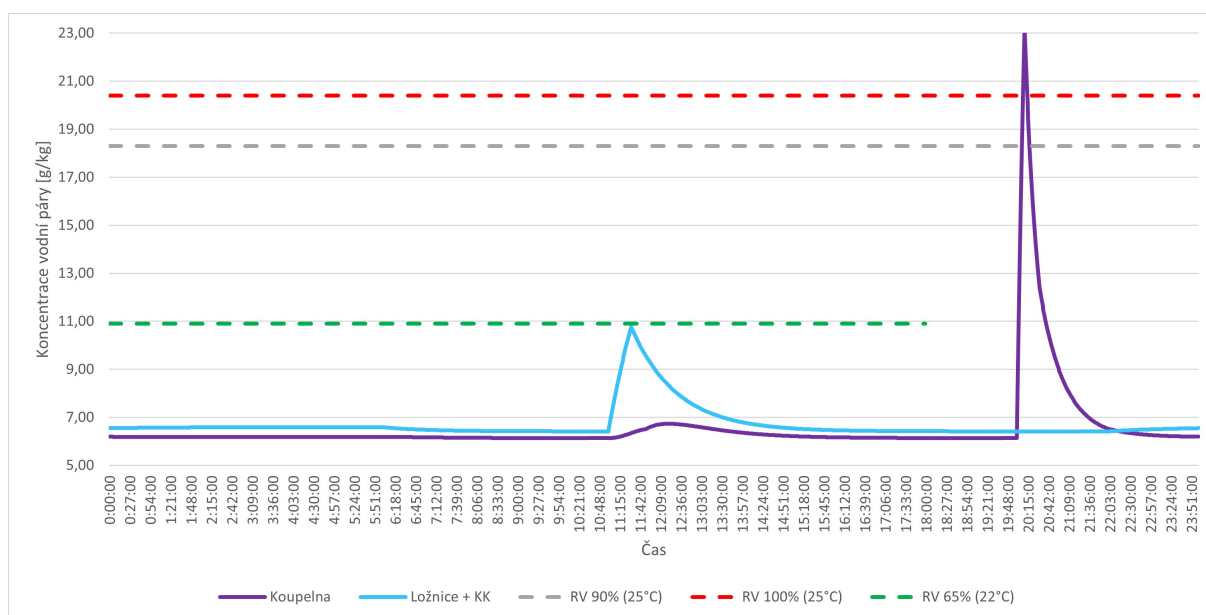
Obrázek 4.34: Nastavení simulace v modelu pro koncentraci vodní páry

4.4.5 Výstupy a jejich zhodnocení

Jednolůžkový pokoj

Limitní hodnota relativní vlhkosti 65 % v obytné místnosti při vaření nebyla překročena, ale velmi se jí přiblížila a to konkrétně v 11:30, kdy je hodnota koncentrace vodní páry na 10,75 g/kg (hraniční hodnota je 10,9 g/kg). Zato hodnota relativní vlhkosti, jak 90 % tak 100 %, v koupelně překročena byla. 100 % relativní vlhkost byla překročena po dobu 6 min. a hodnota 90 % na po dobu 10 min, což není nebezpečně dlouhé překročení. Ve výsledku (viz Obrázek 4.35) je i vidět pokles koncentrace vodní páry při denním režimu vzduchotechnické jednotky, kdy se výměna vzduchu zvedne ze $42 \text{ m}^3/h$ na $60 \text{ m}^3/h$. Dále je také možné vidět zvýšení koncentrace vodní páry v koupelně v době vaření, důsledkem nasávání vzduchu přes větrací mřížky z kuchyňského koutu hlavní místnosti přes předsíň

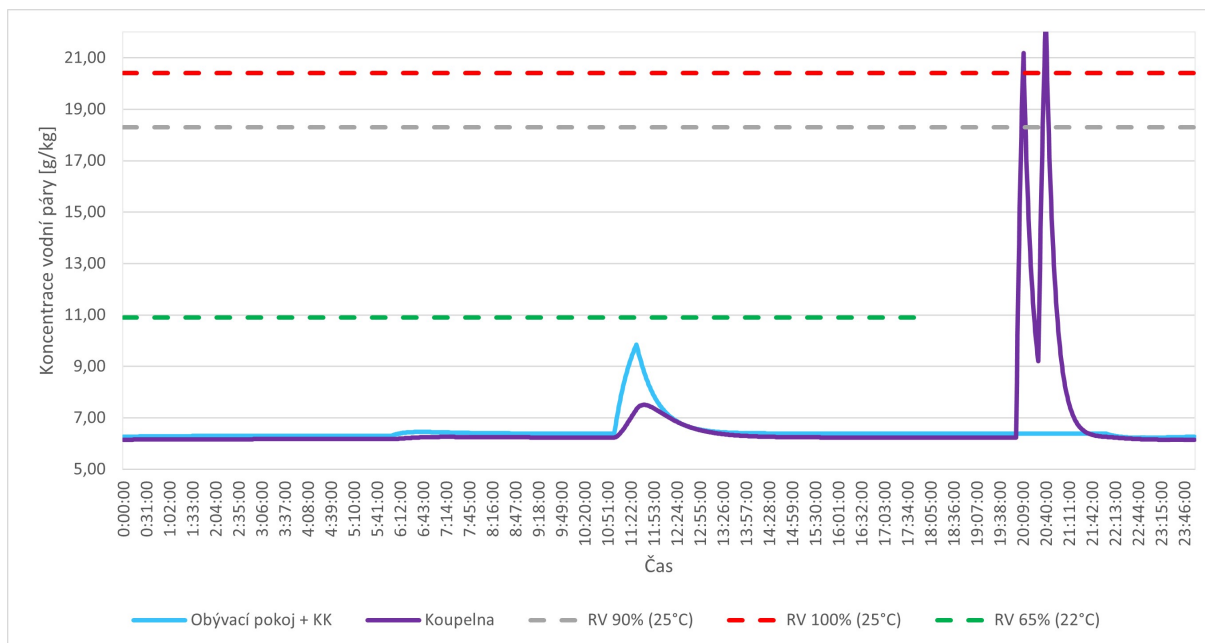
do koupelny, kde je umístěn odtahový prvek, který při spuštění cirkulační digestoře odvádí 10 m^3 vzduchu za hodinu.



Obrázek 4.35: Koncentrace vodní páry v jednolůžkovém pokoji při vaření a sprchování v hlavní místnosti a koupelně

Dvoulůžkový pokoj

Varianta 1: Limitní hodnota relativní vlhkosti 65 % v obytné místnosti při vaření překročena nebyla, maximální dosažená hodnota byla v 11:30 a to 9,85 g/kg (hraniční hodnota je 10,9 g/kg). Zato hodnota relativní vlhkosti, jak 90 % tak 100 %, v koupelně překročena byla. Hranice 90 % byla překročena při prvním sprchování po dobu 5 minut a při druhém dokonce po dobu 8 minut. K úplnému nasycení došlo při prvním sprchování po dobu jedné minuty a při druhém po dobu 4 minut. V obou případech byly hranice překročeny jen na krátký čas neohrožující kvalitu vnitřního prostředí dlouhodobě. Výsledky také ukazují (viz Obrázek 4.36) mírné zvýšení koncentrace vodní páry při přesunu obou obyvatel z ložnice do obývacího pokoje v ranních hodinách (6:00) a následný pokles při jejich odchodu zpět do ložnice ve večerních hodinách (22:00). Dále je také možné vidět, stejně jako u jednolůžkového pokoje, zvýšení koncentrace vodní páry v koupelně v době vaření, důsledkem nasávání vzduchu přes větrací mřížky z kuchyňského koutu obývacího pokoje (potažmo ložnice) přes předsín do koupelny, kde je umístěn odtahový prvek, který odvádí 80 m^3 vzduchu za hodinu. Proto je vidět značný rozdíl mezi koncentracemi vodní páry při vaření v koupelně v jednolůžkovém a dvoulůžkovém pokoji, přestože produkce kontaminantu je stejná - liší množství odváděného vzduchu.



Obrázek 4.36: Koncentrace vodní páry ve dvouložkovém pokoji při vaření a sprchování v obývacím pokoji s kuchyňským koutem a koupelně - **Varianta 1**

Varianta 2: Hodnoty koncentrace vodní páry se v obývacím pokoji neliší. Ovšem s delším časovým rozstupem mezi prvním a druhým sprchováním bylo dosaženo snížení dob překročení stanovených limitních hodnot pro relativní vlhkost v koupelně. Při prvním sprchování zůstává doba překročení stejná jako v první variantě a při druhém sprchování byla doba překročení hranice relativní vlhkosti 90% snížena z 8 minut na 5. A doba překročení úplného nasycení ze 4 minut na 1. Výsledky jsou vidět na Obrázku 4.37.



Obrázek 4.37: Koncentrace vodní páry ve dvoulůžkovém pokoji při vaření a sprchování v obývacím pokoji s kuchyňským koutem a koupelně - **Varianta 2**

4.5 Zjištění a jejich hodnocení

Za pomoci simulací v programu CONTAM bylo zjištěno, že jak jednolůžkové tak dvoulůžkové pokoje splňují požadavky I. kategorie kvality vnitřního prostředí, podle jejich větrání. A společenská místnost splňuje požadavky na nepřekročení hranice koncentrace CO_2 1500 ppm.

Stejně tak byly splněny požadavky na koncentraci vodní páry v obytných místnostech, stanovené Vyhláškou 6/2003 Sb. stanovující hygienické limity vnitřního prostředí [7] v obývacích pokojích dvoulůžkových pokojů a hlavních místnostech jednolůžkových pokojů. V koupelnách byly sice stanovené hranice koncentrace vodní páry překročeny, ale jen na krátké časové úseky, které by neměly mít vliv na celkovou kvalitu vnitřního prostředí. Dále se ve výsledcích projevily důsledky samotného návrhu, jako je proud vzduchu podle umístění přívodních a odvodních prvků, vliv objemu místnosti a objemu přiváděného a odváděného vzduchu z jednotlivých místností a také změny pracovního režimu vzduchotechnické jednotky. Potom také důsledky chování obyvatel místností, jejich přesuny mezi místnostmi, množství škodlivin které produkují a také kdy je produkují. Proto je důležité snažit se všechny tyto aspekty brát v potaz při navrhování vzduchotechnického systému.

Kapitola 5

Závěr

Cílem teoretické části této diplomové práce je rešerše, která má seznámit s faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí a se speciálními požadavky pro návrh budov sociálně zdravotních. Dále má poskytnout informace ke kvalitnímu a efektivnímu návrhu vzduchotechnického systému zajišťující dostatečnou kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí objektu s obyvateli staršího věku.

O vlivech na kvalitu vnitřního prostředí je první část této práce, včetně zmínky o "zdravých budovách". Což jsou budovy při jejich návrhu je kladen důraz na devět "základních kamenů" tzv. "Healthy Buildings" (jmenovitě: osvětlení a viditelnost, hluk, teplotní pohoda, vlhkost, ventilace, kvalita vnitřního vzduchu, kvalita vody, prach a škůdci a bezpečnost), dále je také kladen důraz na komunikaci mezi jednotlivými profesemi, komunikaci s provozovateli a uživateli (nebo inspiraci zkušenostmi uživatelů či jejich požadavky). Takový kvalitní návrh a provedení, správný provoz a jeho pravidelná a systematická údržba jsou jednou z esenciálních podmínek pro zdravý a pohodlný život ve vnitřním prostředí.

Dále se zabývá přímo kvalitou vnitřního prostředí v budovách sociálně zdravotních zařízení. V domech s pečovatelskou službou se zaměřuje na chování a potřeby seniorů vzhledem ke kvalitě vnitřního prostředí. Kvalitu vnitřního vzduchu ovlivňuje nejen způsob větrání, ale také denní režim a chování obyvatel pečovatelského domu. Také chování vzhledem k diskomfortu je jiné než u dospělých jedinců. Třeba při teplotním diskomfortu starší osoby raději volí svlečení či oblečení další vrstvy oděvu nebo otevření okna, na rozdíl od dospělých jedinců, kteří raději zapnou elektrický ventilátor či změň teplotu na termostatu. To je také důležité brát při návrhu v potaz - aby byl systém co nejvíce autonomní a nevyžadoval impuls od starších obyvatel domu. To plynule navazuje na další téma, o kterém tato práce pojednává v rámci možností zlepšení vnitřního prostředí domů pro seniory, a to jsou inteligentní budovy. Zde je cílem vlastně spíše samostatné žití seniorů, za pomoci moderní technologie, která umožňuje rozpoznání aktivity, detekci pádu, monitorování zdraví, predikci nemocí a emoční péči. Méně progresivním zato klasickým a

účinným způsobem, zlepšení kvality vzduchu, potažmo tedy kvality vnitřního prostředí, je implementace zelené infrastruktury do pečovatelských domů. V části zabývající se zdravotnickými zařízeními je pozornost věnována důležitosti filtrů, problémům a údržbě vzduchotechnických systémů.

Je tedy zřejmé nejen z rešerše, ale i z provedených simulací, že kvalita života člověka v interiéru je nejen závislá na návrhu a provedení stavby, ale v mnoha ohledech i na jeho chování. Návrh, když se jedná o takto specifickou skupinu obyvatel, by měl být přizpůsoben jejich potřebám. Na tyto potřeby ovšem není kladen takový důraz v rámci výzkumu a ten tak výrazně zaostává za demografickým vývojem. Výzkumy a experimenty jsou prováděny na mladých a dospělých lidech, zatímco populace velice rychle stárne.

Literatura

- [1] V. Zmrhal, *Větrání rodinných obytných domů*. Grada Publishing, a.s., 2014.
- [2] A. Lajčíková, “Vnitřní prostředí a zdraví”, *Vytápění větrání instalace*, 2012.
- [3] F. Hruška, “Kvalita prostředí v interiérech budov”, *AUTOMA*, 12/2013.
- [4] S. K. R. K. J. Y. N. G. K. G. A. K. M. Minzhou Chen Azin Velashjerdi Farahani, “Thermal comfort chamber study of Nordic elderly people with local cooling devices in warm conditions”, *Building and Environment*, 2023.
- [5] J. D. M. Joseph G. Allen, *Healthy buildings*. Harvard University Press, 2020.
- [6] D. P. K. B. Pavel Weber Hana Meluzínová, “Poruchy termoregulace a jejich význam ve vyšším věku”, *Vnitřní lékařství*, 2018. URL: <https://casopisvnitrnilekarstvi.cz/pdfs/vnl/2018/11/17.pdf>.
- [7] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [8] H.-W. Wu, P. Kumar a S.-J. Cao, “Implementation of green infrastructure for improving the building environment of elderly care centres”, *Journal of Building Engineering*, roč. 54, s. 104682, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104682>.
- [9] Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby.
- [10] S. Capolongo, G. Settimo, M. Gola et al., *Indoor air quality in healthcare facilities*. Springer, 2017.
- [11] M. Almeida-Silva, H. Wolterbeek a S. Almeida, “Elderly exposure to indoor air pollutants”, *Atmospheric Environment*, roč. 85, s. 54–63, 2014, ISSN: 1352-2310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.061>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013009114>.
- [12] K. Srdečný, “Kvalita vzduchu v zařízeních sociálních služeb”, *Tepelná ochrana budov*, 2018.
- [13] N. M. Ravanelli a O. Jay, “Electric fan use in heat waves: turn on or turn off?”, *Temperature*, roč. 3, č. 3, s. 358–360, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1295833>. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/23328940.2017.1295833?needAccess=true>.
- [14] D. Gagnon a C. G. Crandall, “Electric fan use during heat waves: Turn off for the elderly?”, *Temperature*, roč. 4, č. 2, s. 104–106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1295833>. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23328940.2017.1295833?scroll=top&needAccess=true>.

- [15] R.-L. Hwang a C.-P. Chen, “Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments”, *Indoor air*, roč. 20, č. 3, s. 235–245, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00649.x>.
- [16] G. Hoek, B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer a P. A. van den Brandt, “Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study”, *The lancet*, roč. 360, č. 9341, s. 1203–1209, 2002.
- [17] N. Woodward a M. Levine, “Minimizing air pollution exposure: A practical policy to protect vulnerable older adults from death and disability”, *Environmental Science Policy*, roč. 56, s. 49–55, 2016, ISSN: 1462-9011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.018>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115301015>.
- [18] Y. Wang, F. Bakker, R. de Groot a H. Wörtche, “Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review”, *Building and Environment*, roč. 77, s. 88–100, 2014, ISSN: 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.021>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231400081X>.
- [19] M. Viecco, H. Jorquera, A. Sharma, W. Bustamante, H. J. Fernando a S. Vera, “Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter”, *Building and Environment*, roč. 204, s. 108–120, 2021, ISSN: 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108120>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321005217>.
- [20] F. Zhang, A. P. Chan a D. Li, “Developing smart buildings to reduce indoor risks for safety and health of the elderly: A systematic and bibliometric analysis”, *Safety Science*, roč. 168, s. 106–310, 2023, ISSN: 0925-7535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106310>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753523002527>.
- [21] M. G. S. Capolongo G. Settimo, *Indoor Air Quality in Healthcare Facilities*. SpringerBriefs in Public Health, 2017.
- [22] US Environmental Protection Agency; Washington, DC: Should you have the air ducts in your home cleaned?; 1997. No. 402-K-97-002. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-07/documents/airducts.pdf>.
- [23] Norma ČSN EN 15665 Změna Z1, Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.
- [24] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [25] Norma ČSN EN 16798-1, Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky.
- [26] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- [27] Norma ČSN EN ISO 14644-1, Čisté prostory a příslušná řízená prostředí - Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic.

- [28] P. Ing. Hana Doležilková, “Program Contam 2.4”, *tzbinfo*, 2010. URL: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/6423-program-contam-2-4>.