

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**NÁVRH VĚTRÁNÍ A ORGANICKÉ TĚKAVÉ LÁTKY**  
**V PROSTŘEDÍ BUDOV**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vypracovala:

Michaela Školová

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

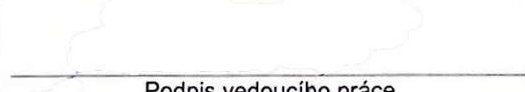
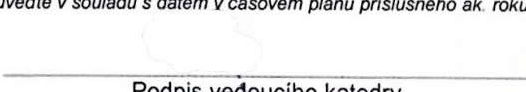
2023/2024

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE



Příjmení: Školová	Jméno: Michaela	Osobní číslo: 484443
Zadávající katedra: technických zařízení budov		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor/specializace: Budovy a prostředí		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh větrání a organické těkavé látky v prostředí budov</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Design of ventilation and organic compounds in building's environment</u>	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte projekt vzduchotechnického systému v administrativní budově. Navrhněte koncepci systému, vypočítejte průtoky vzduchu, navrhněte součásti systému, potrubí a vzduchotechnickou jednotku. Nakreslete půdorysy a vybrané řezy, zpracujte technickou zprávu. V rozšiřující části zpracujte rešerši popisující uvolňování organických těkavých látek z materiálů vyskytujících se ve vnitřním prostředí budov. Experimentálně prověřte emise VOC z povrchových úprav dřeva a posuďte jejich vliv na větrání. Seznam doporučené literatury: Wi, Seunghwan. Evaluation and analysis of volatile organic compounds and formaldehyde emission of building products in accordance with legal standards: A statistical experimental study. Journal of Hazardous Materials. [Online] 5. 6 2020. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122381 H. N. Knudsen, O. Valbjørn, P. A. Nielsen. Determination of Exposure-Response Relationships for Emissions from Building Products. Indoor Air. [Online] 22. 4 2004. doi:10.1111/j.1600-0668.1998.00007.x. ČSN EN ISO 16000-9 - Vnitřní ovzduší - Část 9: Stanovení emisí těkavých organických látek ze stavebních materiálů a nábytku - Metoda zkušební komory. 2007	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>26.9.2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2024</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 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)
--	---



**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma „**Návrh větrání a organické těkavé látky v prostředí budov**“ vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne: .....

.....

Michaela Školová



**Poděkování:**

Tímto bych ráda poděkovala panu Ing. Danielovi Adamovskému, Ph.D. za ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi poskytl při vedení mé diplomové práce.

**Anotace**

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku výskytu těkavých organických látek v prostředí budov a návrhem větrání. Práce je rozdělena na rešerši, experiment a projekt.

Rešerše se věnuje těkavým organickým látkám. Je zde popsáno, co to VOC látky jsou, jaké je jejich dělení a co znamená pojem TVOC. Dále se rešerše zabývá kvalitou vnitřního prostředí, kterou těkavé organické látky ovlivňují, metodám jejího měření a syndromu nezdravých budov, ke kterému VOC látky přispívají. Na závěr je v rešerši popsáno, jak je emisivita VOC látek řešena v české legislativě a způsoby, jakými organické těkavé látky v interiéru mohou zanikat.

Experiment se zabývá emisivitou těkavých organických látek z přípravků používajících se na dřevo. Ve zkušební komoře byla provedena série měření emisivity TVOC látek z osmi vzorků dřevěných hranolů natřených různými přípravky, konkrétně tenkovrstvými a silnovrstvými lazurami, lepidly a napouštědly. Měření probíhalo po dobu tří dnů a u vzorků s nenulovými hodnotami emisivity na konci měření byla stanovena produkce TVOC jedním  $\text{cm}^2$ . Naměřené emisivity dále byly porovnány s legislativními požadavky.

Ve třetí části je vypracována projektová dokumentace větrání administrativní budovy. Projekt je dokumentován výkresovou dokumentací, technickou zprávou a přílohou s výpočty a technickými listy. Ve výpočtové části je proveden výpočet množství větracího vzduchu pro jednotlivé místnosti. Na jeho základě byl dále proveden návrh distribučních elementů, dimenzí větracího potrubí, jeho regulace, návrh tlumičů hluku a vzduchotechnických jednotek.

**Klíčová slova**

VOC, těkavé organické látky, TVOC, kvalita vnitřního prostředí, syndrom nezdravých budov, emisivita, dřevěný materiál, lazury, napouštědla, lepidla, větrání

**Anotation**

The focus of the thesis is the occurrence of volatile organic compounds in the environment of buildings and the ventilation design. The thesis is divided into research, experiment, and project.

The research paper deals with volatile organic compounds. It describes what VOCs are, how they are classified, and what the term TVOC means. It also looks at the quality of the indoor environment affected by VOCs, methods of measurement, and the sick building syndrome to which VOCs contribute. Finally, the research describes how the emissivity of VOCs is dealt with in Czech legislation and how VOCs can disappear indoors.

The experiment deals with the emissivity of VOCs from products used on wood. A series of measurements of the emissivity of TVOCs from eight samples of wooden prisms painted with different products, namely thin-coat and thick-coat varnishes, adhesives, and impregnants, were carried out in the test chamber. The measurements were performed over a period of three days. At the end of the measurements, the TVOC production per cm<sup>2</sup> was determined for the samples with non-zero emissivity values. The measured emissivities were further compared with the legislative requirements.

In the third part, the project documentation for the ventilation of the administrative building is designed. The project is documented with drawings, a technical report, and an annex with calculations and technical sheets. In the calculation part, the amount of ventilation air for individual rooms is calculated. On its basis, the design of distribution elements, the dimensions of ventilation ducts and their regulation, and the design of silencers and air handling units were also created.

**Keywords**

VOC, volatile organic compounds, quality of the indoor environment, sick building syndrome, emissivity, wooden material, varnishes, impregnants, adhesives, ventilation



## **Obsah diplomové práce**

- REŠERŠE
- EXPERIMENT
- PROJEKT
- PŘÍLOHA – VÝPOČTOVÁ ČÁST, VÝKAZ MATERIÁLU, TECHNICKÉ LISTY

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**REŠERŠE, EXPERIMENT**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vypracovala:

Michaela Školová

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2023/2024





## Obsah

1	Úvod .....	2
2	Rešerše .....	2
2.1	Co jsou to VOC.....	2
2.1.1	Dělení VOC.....	3
2.1.2	TVOC.....	3
2.2	Kvalita vzduchu.....	4
2.2.1	Sledování kvality vzduchu pomocí čidel CO <sub>2</sub> .....	4
2.2.2	Sledování kvality vzduchu pomocí čidel VOC .....	5
2.3	Syndrom nezdravých budov .....	6
2.3.1	Látky způsobující Syndrom nezdravých budov.....	7
2.4	VOC a česká legislativa .....	8
2.5	Zánik VOC v interiéru.....	9
3	Experiment .....	10
3.1	Metodologie experimentu .....	10
3.1.1	Měřené a hodnocené veličiny .....	10
3.1.2	Doba měření .....	10
3.1.3	Použité přístroje a vybavení .....	10
3.1.4	Popis měřícího zařízení.....	11
3.1.5	Zkoumané vzorky.....	11
3.1.6	Popis experimentálního měření .....	13
3.2	Výsledky.....	13
3.2.1	Vyhodnocení naměřených emisí .....	13
3.3	Porovnání s legislativními požadavky .....	19
3.4	Zhodnocení experimentu .....	20
4	Závěr .....	21
5	Seznamy.....	22
5.1	Literatura a použité zdroje .....	22
5.2	Seznam obrázků .....	23
5.3	Seznam tabulek .....	23



# 1 Úvod

Dle průzkumů trávíme až 90 % svého života uvnitř budov. Kvalita vnitřního prostředí by tedy měla být důležitým kritériem při návrhu objektů a jejich provozu.

Mezi hlavní faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí řadíme teplotu, vlhkost, osvětlení nebo akustiku. Tyto faktory jsou snadno měřitelné a vnímatelné člověkem. V interiérech se ale vyskytují i těkavé organické látky, které tak snadno měřitelné nejsou. Některé tyto látky osoby vnímají jako nežádoucí zápach, některých si člověk ani nevšimne, pouze ovlivní jeho zdraví.

Při výrobě stavebních materiálů, ale i při výrobě vybavení do místností se je často používáno mnoho chemických látek, které následně mohou emitovat do interiérů. Tyto látky mají krátkodobé i dlouhodobé negativní účinky na lidské zdraví, zhoršují tak kvalitu vnitřního prostředí a mohou způsobovat takzvaný Syndrom nezdravých budov.

Sledování koncentrace VOC v interiéru je proto důležitou součástí při sledování kvality vnitřního prostředí. Jednotliví výrobci různých přípravků obsahující těkavé organické látky, jako jsou například barvy, lazury, napouštědla, atd, v technických listech uvádí maximální množství uvolňujících se TVOC, ale skutečné koncentrace nejsou měřeny.

Z těchto důvodů jsem se rozhodla udělat experiment, ve kterém změřím emisivitu TVOC z přípravků na dřevo, konkrétně z lazur tenkovrstvých i silnovrstvých, lepidel a napouštědel. Zjistím, jak se emisivita mění v závislosti na čase, a zda množství emisí vyhoví legislativním podmínkám.

Dále zpracuji projektovou dokumentaci vytápění, kterou podložím výkresy, výpočty a technickou zprávou.

## 2 Rešerše

### 2.1 Co jsou to VOC

VOC (volatile organic compounds) neboli těkavé organické látky jsou organické sloučeniny. Za normálních (pokojových) teplot se vyskytují v prostředí v plynném stavu. Dle odhadů je takových látek okolo deseti tisíc. Do vzduchu se těkavé organické látky dostávají přeměnou svého skupenství z pevného na plynné, tedy sublimací.

Výskyt těkavých organických látek v budovách je nežádoucí. Na člověka působí negativním způsobem, zejména pravidelná expozice, nebo vysoká koncentrace. Vnímány jsou jako oděry. Způsobují únavu, bolesti hlavy, špatný spánek, ztrátu koncentrace, dráždí sliznice tedy vyvolávají slzy nebo rýmu, mohou poškodit dýchací nebo nervový systém člověka a snižují efektivitu práce. Hlavními zdroji těkavých organických látek v interiéru jsou stavební materiály a nábytek. [1][2]



### 2.1.1 Dělení VOC

Dělení podle WHO:

- VVOC - Velmi těkavé organické látky. Tyto látky mají bod varu od 0 °C do 50 až 100 °C. Do této skupiny se řadí propan, butan, nebo metylchlorid.
- VOC – Těkavé organické látky s bodem varu od 50 – 100 °C až po 240 – 260 °C. Je to například formaldehyd, aceton, ethanol, hexanal nebo 2-propanol.
- SCOV – Polo těkavé organické látky. Tyto látky jako například pesticidy, změkčovadla nebo zpomalovače hoření mají bod varu je od 240 – 260 °C až po 380 – 400 °C. [3]

Dělení dle místa vzniku:

- bio-odpadní látky, které vznikají při metabolické činnosti živých organismů (dech, pot, ...), při vaření, pečení apod.
- výpary ze stavebních materiálů, nábytku, koberců, čisticích prostředků nebo kosmetických přípravků, barev atd.
- exteriér [1]

Dělení dle skupenství:

- mokré materiály
- suché materiály

Mezi mokré materiály řadíme tmely, barvy nebo lepidla. Hlavními odoranty v mokrých materiálech jsou alkoholy a estery. Suché těkavé látky představují v budovách například koberce a nábytek. U koberců jsou hlavními odoranty terpeny, u dřevotřískových desek hexanal a pentanal.

Na základě testu Mann–Whitney U testu [4], který zkoumal koncentraci VOC u různých materiálů vyšlo, že je podstatný rozdíl mezi emisemi TVOC ze suchých a mokrých materiálů. Větší emise byly zjištěny u materiálů suchých. Dále bylo zjištěno, že u suchých materiálů jsou hlavními zdroji emisí ketony a u mnohých látek aldehydy. Test se zaměřuje na koncentraci VOC v závislosti na vnímání zápachu. Výsledky naznačují, že zápach nemusí být vždy vnímán. Hlavní odoranty se tedy mohou lišit od hlavních VOC. Z testu také vyplývá, že hlavní pachovou aktivní VOC většiny stavebních materiálů je hexanal. [4]

### 2.1.2 TVOC

Měření jednotlivých VOC je velmi obtížné. I špičkové laboratorní senzory mají často problém naměřit přesné hodnoty, hodnoty mohou být zkreslené kvůli tzv. křížové referenci. Tento jev znamená, že měření jedné látky VOC je narušeno jinou aktuálně neměřenou látkou. Například měření formaldehydu je zkreslováno výskytem benzenu a naopak. Jednotlivé organické látky mají také často velmi podobné chemické složení, jsou tedy těžko rozlišitelné. Měření VOC probíhá specializovanou firmou a je velmi nákladné. Aby bylo možné dostupnější měřit koncentrace těkavých organických látek používá se právě TVOC.

Označení TVOC tzv. Total Volatile Organic Compounds představuje souhrn celkové koncentrace organických těkavých látek vyskytujících se ve sledovaném prostředí. Měření TVOC je výrazně levnější a z pohledu konstrukce čidla jednodušší. Čidla měří přímo celkové těkavé organické látky, a nedochází tak k tzv. křížové referenci.

Problémem při měření TVOC je, co výsledná naměřená hodnota přesně znamená. Existuje hned několik popisů, co TVOC znamená. Dle normy ISO 16000-29 je TVOC směsí plynů 40 jednotlivých sloučenin



VOC. Jedná se o směs plynů používanou k simulaci typického vnitřního vzduchu. Někteří výrobci si definovali svůj „typický mix IAQ“ složený z 22 látek VOC. Mezi další mezinárodní standardy patří americký standard EPA (Environmental Protection Agency), nebo německý standard UBA (Umweltbundesamt).

TVOC lze stanovit hned v několika jednotkách. V ppm (počet částic na jeden milion), ppb (počet částic na miliardu,  $\text{mg}/\text{m}^3$  nebo  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). V přepočtu mezi těmito hodnotami nastává problém. Přepočet z  $\text{mg}/\text{m}^3$  na ppm je závislý na molární hmotnosti a jednotlivé VOC mají molární hmotnosti velmi odlišné například Formaldehyd = 30,03 g/mol, Aceton = 58,00 g/mol, Benzen = 78,12 g/mol, Toluén = 92,15 g/mol, Tetrachlorethylen = 169,87 g/mol atd. Přepočet je tedy závislý na tom, jaké VOC se při měření TVOC měří.

Senzory TVOC od jednotlivých výrobců se mohou v měření lišit, v závislosti na způsobu detekce VOC, případně rozdílné směsi VOC, ke které se senzor kalibrován. Složitější je pak i stanovení kvality vzduchu a bezpečných, respektive nebezpečných limitů. [5][6]

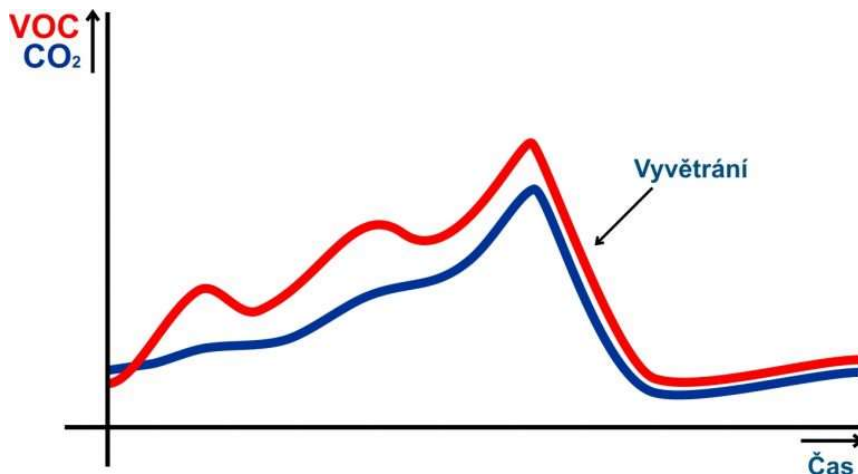
## 2.2 Kvalita vzduchu

V současné době, kdy lidé tráví většinu času uvnitř budov se kvalita vzduchu stala významným tématem. Ukazatel kvality vzduchu IAQ tzv. Indoor Air Quality stanovuje množství znečišťujících látek v ovzduší, které mohou způsobit diskomfort člověka a nepříznivé dopady na lidské zdraví a také subjektivní vnímání každého člověka. Kvalitu vzduchu ovlivňují mikrobi, různé alergeny, oděry, aerosoly, chemické znečištění jako jsou těžké látky, radon nebo  $\text{CO}_2$ , nebo ionizační záření. Stanovování kvality vzduchu lze sledováním koncentrací těchto látek. Nejčastěji se měří koncentrace oxidu uhličitého, lze ale sledovat koncentraci například VOC. [6]

### 2.2.1 Sledování kvality vzduchu pomocí čidel $\text{CO}_2$

Nejčastěji sledovanou hodnotou kvality vzduchu je koncentrace  $\text{CO}_2$ . Hlavním důvodem je propojení koncentrace  $\text{CO}_2$  s přítomností člověka v místnosti. Člověk  $\text{CO}_2$  produkuje při vydechování. S rostoucím počtem osob v místnosti tedy roste i koncentrace  $\text{CO}_2$  a zároveň v prostředí, kde je vysoká koncentrace  $\text{CO}_2$  lze očekávat i zvýšené množství jiných škodlivin. Oxid uhličitý je tudíž dobrým zástupcem i ostatních škodlivin.

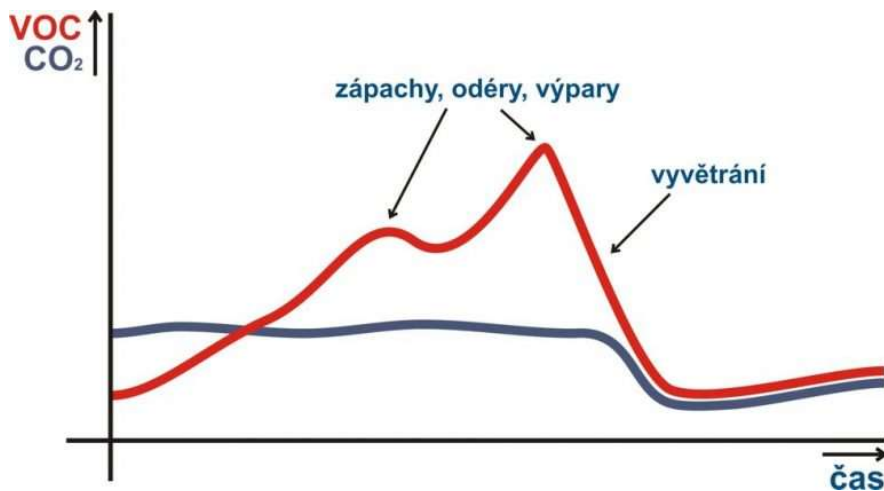
Dalším z důvodů používání čidel  $\text{CO}_2$  je jednoduchost měřičů, cenová dostupnost měřičů koncentrace  $\text{CO}_2$  a. Tyto měřiče totiž sledují koncentraci pouze jedné látky, koncentraci oxidu uhličitého, pro kterou jsou přesně definované limitní koncentrace. Na rozdíl od  $\text{CO}_2$  těžkých organických látek je velké množství druhů, při rostoucí přesnosti měřidel roste ale i cena čidel. V případech, kdy je v místnosti měřena pouze koncentrace  $\text{CO}_2$  se počítá s faktem, že pokud stoupá koncentrace  $\text{CO}_2$ , stoupá i koncentrace VOC. Pokud je se tedy začne větrat klesá koncentrace  $\text{CO}_2$  i VOC. Koncentrace  $\text{CO}_2$  má velkou vypovídací schopnost o vydýchaném vzduchu. Jasně říká, že pokud je koncentrace  $\text{CO}_2$  vysoká, vzduchu je vydýchaný a je nutné místnost vyvětrat. Viz obrázek č. 1 –  $\text{CO}_2$  jako indikátor kvality vzduchu. [5]



Obrázek 1 - CO<sub>2</sub> jako indikátor kvality vzduchu [5]

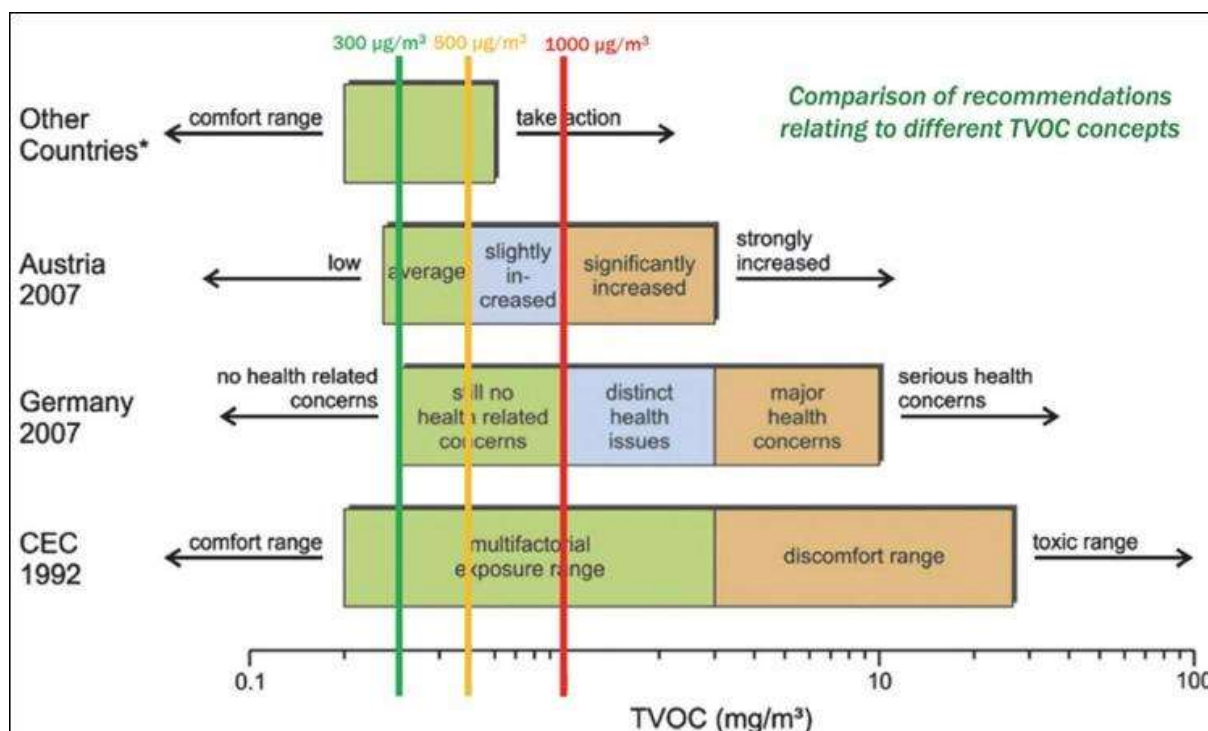
## 2.2.2 Sledování kvality vzduchu pomocí čidel VOC

Existují prostory, kde se i přes vyšší pořizovací cenu čidel VOC vyplatí tyto měřiče pořídit a umístit. Jsou to místnosti, kde jsou velké zdroje pachů, odérů nebo výparů, které zhoršují kvalitu vzduchu. Jejich produkce převyšuje produkci CO<sub>2</sub>, proto je nedostatečné v těchto prostorech sledovat pouze koncentraci CO<sub>2</sub> a podle ní se řídit. Jsou to místnosti jako šatny, toalety, kuchyně, tělocvičny a fit centra nebo různé výroby a laboratoře. V takovýchto prostorách může být koncentrace VOC a CO<sub>2</sub> rozdílná viz obrázek č. 2 – VOC jako indikátor kvality vzduchu. [5]



Obrázek 2 - VOC jako indikátor kvality vzduchu [5]

Na rozdíl od CO<sub>2</sub>, kdy jsou přesně definované limitní koncentrace se mohou naměřené hodnoty měřičů TVOC různých výrobců výrazně lišit. Děje se tak z důvodů odlišných směsných plynů jednotlivých senzorů tzv IAQ mixů, nebo odlišným přepočtem mezi jednotkami mg/m<sup>3</sup> a ppb. Dalším důvodem rozdílných výsledků je také rozdílná legislativa jednotlivých zemí, viz obrázek č. 3 – Různé definice vlivu TVOC.



Obrázek 3 - Různé definice vlivu TVOC [6]

Senzory TVOC mohou současně reagovat na velký počet VOC, ale dle nastavení od výrobce je výstup z přístroje kalibrován na definovanou směs plynů. Naměřená hodnota se pak snadno porovná s typickým IAQ Mixem a je snadné definovat bezpečné úrovně pro různé koncentrace TVOC.

U těkavých organických látek je důležitým faktorem i čas. Největší dopady na zdraví má dlouhodobá vysoká koncentrace trvajících v řádech měsíců. Obecně platí, že pokud koncentrace TVOC se blíží k 1000 ppb, měla by se zvětšit výměna vzduchu v místnosti, jeli koncentrace nad 1000 ppb, měl by se najít a eliminovat zdroj VOC. [6]

## 2.3 Syndrom nezdravých budov

Špatná kvalita vzduchu spolu s dalšími faktory může způsobit syndrom nezdravých budov. Syndrom nebo také SBS (Sick Building Syndrome) je definován jako soubor nespecifických obtíží nebo onemocnění, které postihují osoby vyskytující se v budově. Obtíže souvisí s časem stráveným v budově, nebo třeba jen v některé z místností a po opuštění budovy obvykle odezní. Indikátory SBS můžeme rozdělit do 4 skupin:

- Kožní problémy jako jsou vyrážka, svědění nebo červené fleky na kůži.
- Podráždění očí a horních cest dýchacích kam patří slzení a pálení očí, nosu a nosohltanu a rýma.
- Postižení dolních cest dýchacích, které se projevuje tlakem na prsou, dušností. U lidí trpících astmatem vede k častějším astmatickým záchvatům.
- Narušení nervového systému, které způsobuje bolesti hlavy, únavu, nesoustředěnost, vznětlivost či poruchy spánku. [7]



### 2.3.1 Látky způsobující Syndrom nezdravých budov

Látky, které jsou primárně odpovědné za vznik syndromu nezdravých budov jsou můžeme rozdělit do několika skupin.

#### 1. Chemické kontaminanty

Chemické látky, které narušují kvalitu vnitřního prostředí mohou být z vnitřních i venkovních zdrojů. Mezi vnitřní zdroje se řadí tabákový kouř, vedlejší produkty ze spalování z kamen a krbů a těkavé organické látky, emitované z lepidel, koberců, dřeva nebo čistících prostředků.

Nejčastěji znečišťující látky vnitřního vzduchu z exteriéru jsou látky z výfuků motorových vozidel, nebo výfuky ze špatně umístěných větracích otvorů. Z výfuků se do interiéru může dostávat radon, formaldehyd, azbest nebo prach.

#### 2. Biologické kontaminanty

Biologickými kontaminanty jsou bakterie, vity, pyl, houby, plísně atd. Do interiéru se mohou dostávat například ze stojaté vody, která může vznikat ve zvlhčovacích, nebo například z kondenzátu ve vzduchotechnickém potrubí.

Zdrojem biologické kontaminace může být hmyz nebo ptačí trus.

#### 3. Nedostatečné větrání

Nedostatečné větrání přispívá k hromadění biologických i chemických kontaminantů v interiéru. Vždy je tedy nutné dodržet normové předpisy pro minimální množství čerstvého vzduchu v interiéru.

#### 4. Elektromagnetické záření

Zdroji záření jsou například mikrovlnné trouby, televizory a počítače. Tyto přístroje vyzařují elektromagnetické záření a ionizují vzduch.

#### 5. Psychologické faktory

I faktory ovlivňující lidskou psychiku jsou důležité a neměly by se opomíjet. Řadí mezi ně pracovní stres, špatné mezilidské vztahy, nebo špatná komunikace.

#### 6. Ostatní

Mezi ostatní důležité a faktory ovlivňující syndrom nezdravých budov patří špatná akustika, nedostatečné denní i umělé osvětlení, tepelná pohoda nebo vlhkost.

Dle článku v Indian Journal od Occupational and Environmental Medicine se s SBS se nejčastěji setkáváme v administrativních budovách, častěji v klimatizovaných budovách, než v budovách přirozeně větraných a také více ve veřejném sektoru než v sektoru soukromém. Nejčastěji u lidí s úřednickým zaměstnáním, oproti osobám s manažerským zaměstnáním. Je tomu tak z důvodů, že manažeři a odborníci mívají často lepší pracovní podmínky například v podobě samostatné kanceláře. Symptomy se častěji objevují u žen než u mužů, pravděpodobně proto, že více žen má nižší pracovní pozice, více si uvědomují své zdraví a pro projevení účinků je zapotřebí menší množství znečišťujících látek vnitřního prostředí. [7]



## 2.4 VOC a česká legislativa

V České republice existuje vyhláška č. 6/2003 Sb., která stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů ve vnitřním prostředí obytných místností a některých staveb. Jedná se o stavby určené pro výchovu a vzdělávání, vysoké školy, stavby pro zotavovací akce a školy v přírodě, zdravotnická zařízení, ústavy sociální péče, ubytovací stavby a stavby pro obchod a pro shromažďování většího počtu osob. V této vyhlášce jsou stanoveny limitní hodinové koncentrace chemických faktorů ve vnitřním prostředí staveb. Viz obrázek č. 4 – Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů. [8]

Ukazatelé	jednotka	limit <sup>4)</sup>
oxid dusičitý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
frakce prachu PM <sub>10</sub> <sup>1)</sup>	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150
frakce prachu PM <sub>2,5</sub> <sup>2)</sup>	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	80
oxid uhelnatý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	5000
ozón	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
azbestová a minerální vlákna <sup>3)</sup>	počet vláken·m <sup>-3</sup>	1000
amoniak	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
benzen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	7
toluen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	300
suma xylenu	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
styren	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	40
etylbenzen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
formaldehyd	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	60
trichloretylen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150
tetrachloretylen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150

Obrázek 4 - Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů [8]

Dále je v platnosti nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky pro ochranu zdraví při práci. Nařízení, konkrétně příloha č. 2, stanovuje přípustné expoziční limity (PEL) některých chemických látek a jejich nejvyšší přípustné koncentrace. PEL představuje průměrnou koncentraci látky za osmihodinovou pracovní směnu. [9]

Legislativa ale zatím nestanovuje žádný jednotný certifikační systém na hodnocení emisí VOC ze stavebních materiálů.





## 2.5 Zánik VOC v interiéru

Rychlost uvolňování VOC v interiéru závisí na teplotě a vlhkosti v místnosti, kdy zvýšená teplota nebo vlhkost zvyšují rychlost emise. Při monitorování VOC v budově je nutné dbát nejen na průtok větracího vzduchu, ale i na teploty a vlhkost. [10]

VOC látky se v místnosti absorbují do povrchu jiných materiálů anebo se rozkládají reakcí s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Absorpce probíhá do porézních materiálů. Sorpce VOC v porézních materiálech může tlumit kolísání koncentrace a snižovat maximální koncentraci organických těkavých látek v místnosti.

Rozklad VOC látek v reakci s kyslíkem ve vzduchu může probíhat různými způsoby, v závislosti na konkrétních chemických vlastnostech daného VOC. Chemické reakce, které mohou probíhat jsou například:

**Oxidace:** Mnoho VOC látek může reagovat pomocí oxidace, což je chemická reakce s kyslíkem. Během oxidace dochází k přeměně organických sloučenin na oxidované produkty. To může zahrnovat reakce, jako je přidání kyslíku do molekul VOC, čímž vznikají oxidované sloučeniny, které mohou být méně těkavé a méně škodlivé pro životní prostředí a zdraví.

**Fotokatalýza:** Některé VOC látky mohou podstoupit fotokatalytické reakce, kdy jsou aktivovány slunečním zářením nebo jiným zdrojem světla a kyslíkem. Tyto reakce mohou vést k rozkladu VOC na jednodušší sloučeniny.

**Polymerace:** Některé VOC látky, jako jsou některé organické sloučeniny obsahující dvojnou vazbu, mohou podstoupit polymeraci, což znamená, že se spojují do větších molekul nebo polymerů.

**Reakce s radikály:** Kyslík ve vzduchu může být zdrojem reaktivních kyslíkových radikálů, které mohou reagovat s VOC látkami a způsobit jejich rozklad.

Rychlost a povaha rozkladu VOC látek v reakci s kyslíkem závisí na konkrétním druhu VOC. Některé VOC se mohou rychle rozkládat, zatímco jiné mohou být odolné vůči oxidaci a mohou zůstat v prostředí budovy po delší dobu.[10]



## 3 Experiment

### 3.1 Metodologie experimentu

Měření probíhalo v laboratoři v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradu. Místnost experimentu je bez oken, tudíž exteriérové podmínky nemají na experiment žádný vliv.

#### 3.1.1 Měřené a hodnocené veličiny

- Těkavé organické látky [ppb]
- Rychlost proudění vzduchu [m/s]
- Teplota [°C]
- Relativní vlhkost [%]
- Atmosférický tlak vzduchu [mbar]

#### 3.1.2 Doba měření

Každý ze vzorků byl měřen po dobu 3 dnů.

#### 3.1.3 Použité přístroje a vybavení

- Detektor těkavých organických látek Honeywell ppBRAE 3000 +
- Všesměrová anemometrická sonda
- Snímač relativní vlhkosti, teploty a atmosférického tlaku Ahlborn ALMEMO FHAD46C2
- Datalogger ALMEMO 2590
- Skleněný box 60 x 30 x 35 cm, tloušťka skla 5 mm
- Skleněné víko s otvory pro techniku
- Kovový ventilátor 230 V
- Tlaková láhev syntetického vzduchu bez uhlovodíků 10 l
- Kovový stojánek pro vzorek a anemometr
- Destilovaná voda
- Svorky



### 3.1.4 Popis měřicího zařízení

Experiment probíhal ve zkušební komoře. Jedná se o skleněný box s víkem, ve které je ventilátor pro zajištění stálého proudění vzduchu, termoanemometr a teplotní a vlhkostní čidlo viz obrázek č. 5 – Zkušební komora.



Obrázek 5 - Zkušební komora

### 3.1.5 Zkoumané vzorky

V rámci experimentu byly měřeny emise těkavých organických látek ze různých přípravků určených na dřevo. Stavební nehoblovaný hranol ze smrkového dřeva byl rozříznut na 8 stejných kusů, na které bylo natřeno 8 různých přípravků. Každý z hranolů byl o rozměrech 80 x 80 x 300 mm. U vzorku č.1 a 2, kdy je zkoumána emise z lepidel, byl hranol přeříznut ve 2 bodech, hrana řezu natřena lepidlem a hranol znovu slepen. U ostatních vzorků byly natřeny 3 stěny hranolu viz obrázek č. 6 – Měřené vzorky. Po natření (10.7.2023) byly hranoly nechány 16 dnů zasychat a následně byly vzorky zabaleny do alobalu (26.7.2023), aby nedocházelo k emisím látek. Z alobalu byly jednotlivé vzorky vyjmuty až těsně před měřením.



**Vzorek č. 1 - Lepidlo Pettex wood - palma FA, standart**

- dle návodu od výrobce aplikace lepidla na jeden z povrchů v jedné vrstvě

**Vzorek č. 2 - Lepidlo PU Max, Bison**

- dle návodu od výrobce aplikace lepidla na jeden z povrchů v jedné vrstvě

**Vzorek č. 3 - Napouštědlo Soudal, Biosan forte**

- dle návodu od výrobce aplikace 2 vrstev napouštědlo naředěné v poměru 1:3 s vodou

**Vzorek č. 4 – Napouštědlo Balakryl**

- dle návodu od výrobce aplikace 2 vrstev

**Vzorek č. 5 – Tenkovrstvá lazura Luxol, Palisandr**

- dle návodu od výrobce aplikace 2 vrstev

**Vzorek č. 6 – Tenkovrstvá lazura Swingcolor, Palisander**

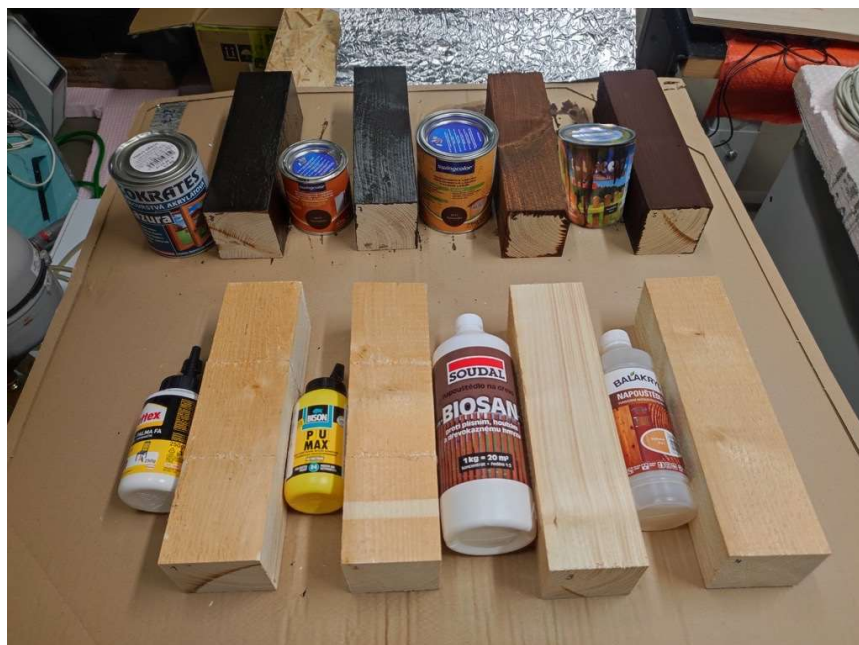
- dle návodu od výrobce aplikace 2 vrstev

**Vzorek č. 7 – Silnovrstvá lazura Swingcolor, Nussbaum**

- dle návodu od výrobce aplikace 2 vrstev

**Vzorek č. 8 – Silnovrstvá lazura Sokrates**

- dle návodu od výrobce aplikace 3 vrstev



Obrázek 6 – Měřené vzorky



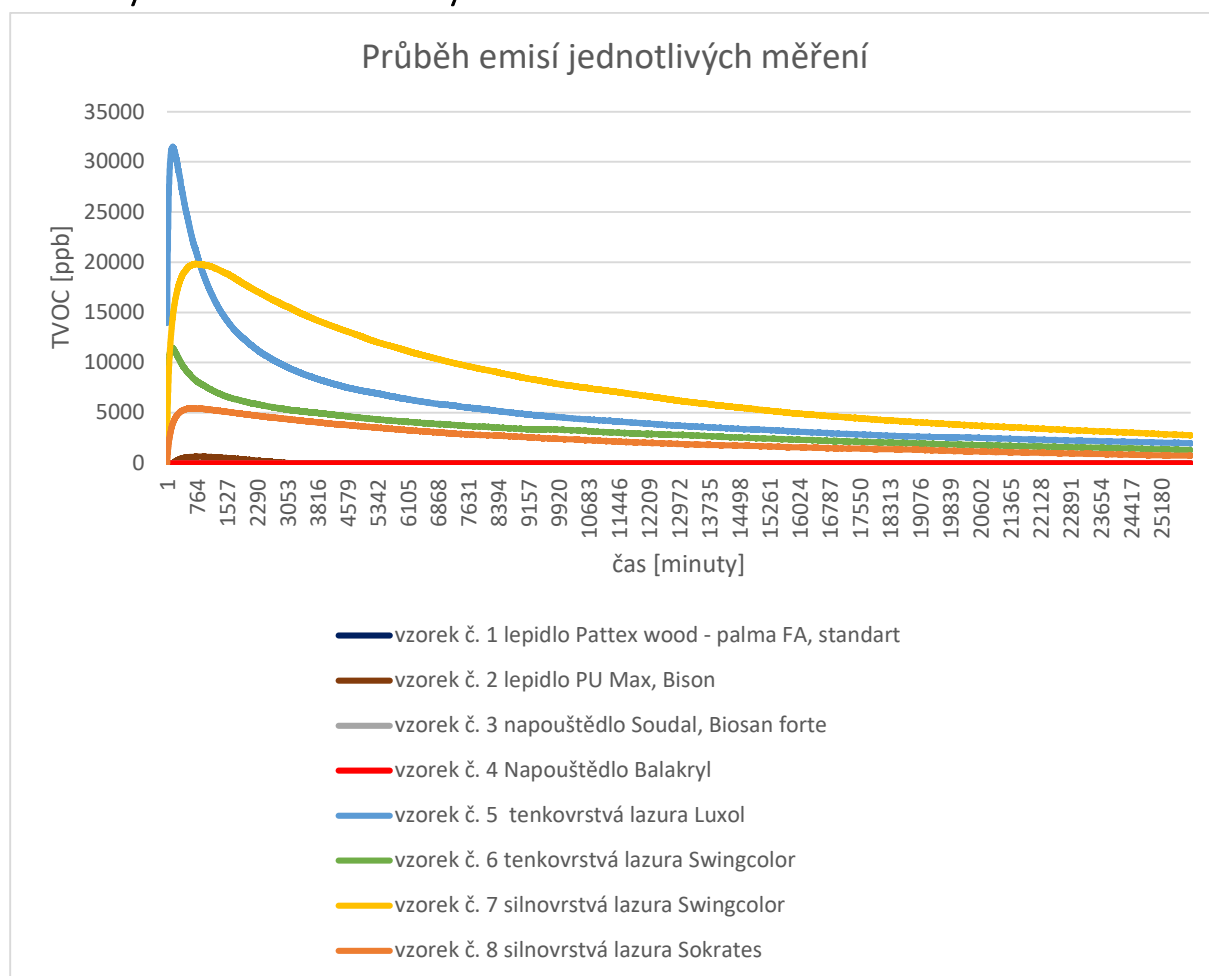
### 3.1.6 Popis experimentálního měření

Na začátku experimentu byla komora vyčištěna destilovanou vodou a propláchnuta čistým vzduchem a následně byl do komory vložen vzorek.

Vzorky byly umísťovány na kovový stojánek, aby bylo zajištěno proudění vzduchu kolem všech stran vzorku. Následně byla komora uzavřena a sepnuta svorkami. Do komory byl po dobu 30 s vpouštěn syntetický vzduch bez uhlovodíků, poté byl zapnut ventilátor a spuštěny měřicí přístroje. Jednotlivé vzorky byly měřeny po dobu 3 dnů.

## 3.2 Výsledky

### 3.2.1 Vyhodnocení naměřených emisí



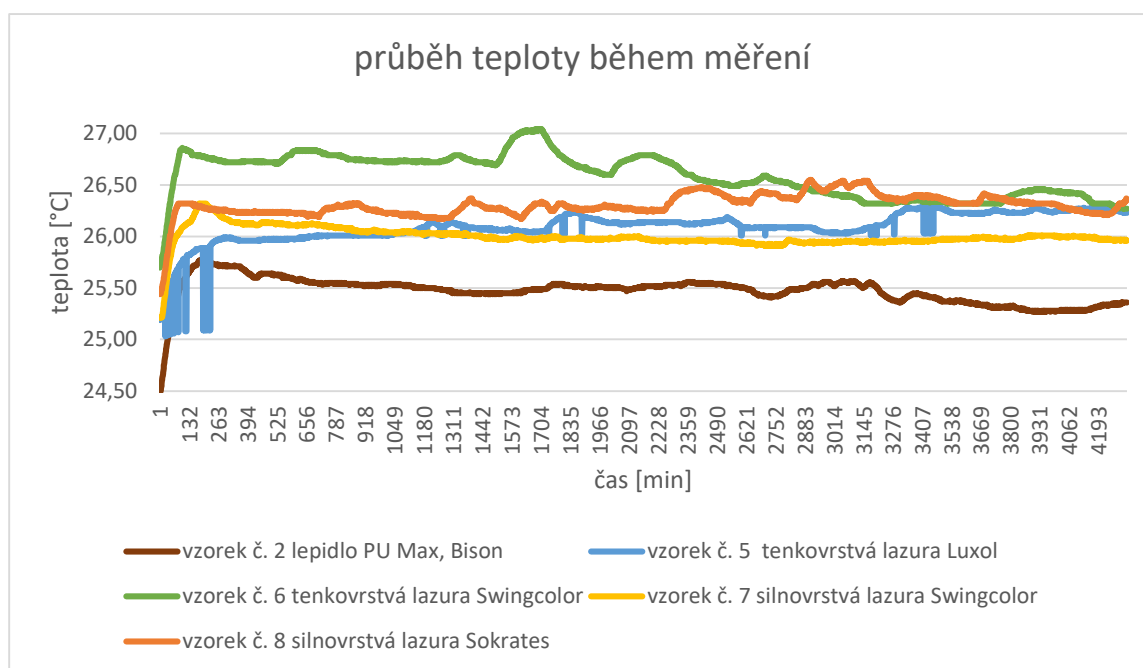
Obrázek 7 - Průběh emisí jednotlivých měření



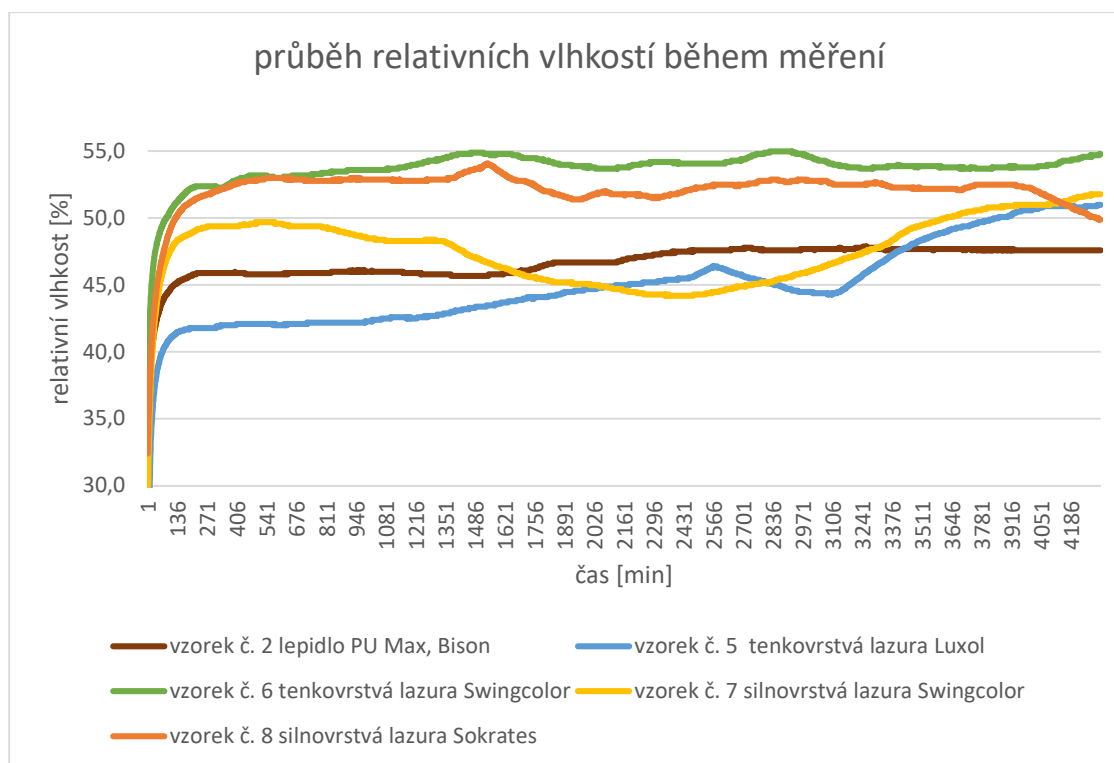
V experimentu nebyl vzduch ze zkušební komory odváděn. Případný únik vzduchu ze zkušební kabiny je zanedbán. Pro interpretaci výsledků předpokládáme tedy, že je kabina vzduchotěsná. Pokud nejsou VOC látky v interiéru nijak odváděny například přirozeným, nebo nuceným větráním jsou buďto absorbovány do jiných pórovitých materiálů v místnosti, anebo reagují s kyslíkem viz kapitola 2.5. – Zánik VOC v interiéru. Ve zkušební komoře se nenachází žádný pórovitý materiál, který by mohl absorbovat emitované VOC látky z měřeného vzorku. Sorpce je do jiných materiálů je tedy v experimentu zanedbatelná. Většina VOC látek ze vzorků se rozložila pomocí chemických reakcí se vzduchem. Důsledkem reakce VOC látek s kyslíkem je, že naměřené křivky emisí nemají rostoucí průběh, ale postupem času klesají.

### 3.2.1.1 Ovlivnění teplotou a relativní vlhkostí

Rychlost emise ze vzorku je závislá na teplotě a vlhkosti. Při měření byly tyto hodnoty sledovány viz obrázku č. 8 – Průběh teploty během měření a obrázku č. 9 – Průběh relativních vlhkosti během měření. Rozdíl teplot se pohybuje v rozmezí cca 2 °C, rozdíl relativních vlhkostí je mezi jednotlivými vzorky cca 15 %. Rozdíl teplot a vlhkostí mezi jednotlivými vzorky není tak rozdílný, aby výrazně ovlivnil jejich křivku průběhu emisí TVOC. Je pravděpodobné, že pokud by teplota nebo relativní rychlost byla větší, emise by byla rychlejší, celkové množství emitovaných VOC vy ale tyto parametry neovlivnily.



Obrázek 8 - Průběh teploty během měření



Obrázek 9 - Průběh relativních vlhkostí během měření

### 3.2.1.2 Průběh emisí jednotlivých měření

Měření bylo prováděno po dobu 3 dnů. Křivky naměřených hodnot mají v prvních hodinách měření prudký stoupající průběh. Po dosažení maxima klesají nejprve strmě. Ke konci se klesání čím dál více ustaluje, viz obrázek č. 7 – Průběh emisí jednotlivých měření.

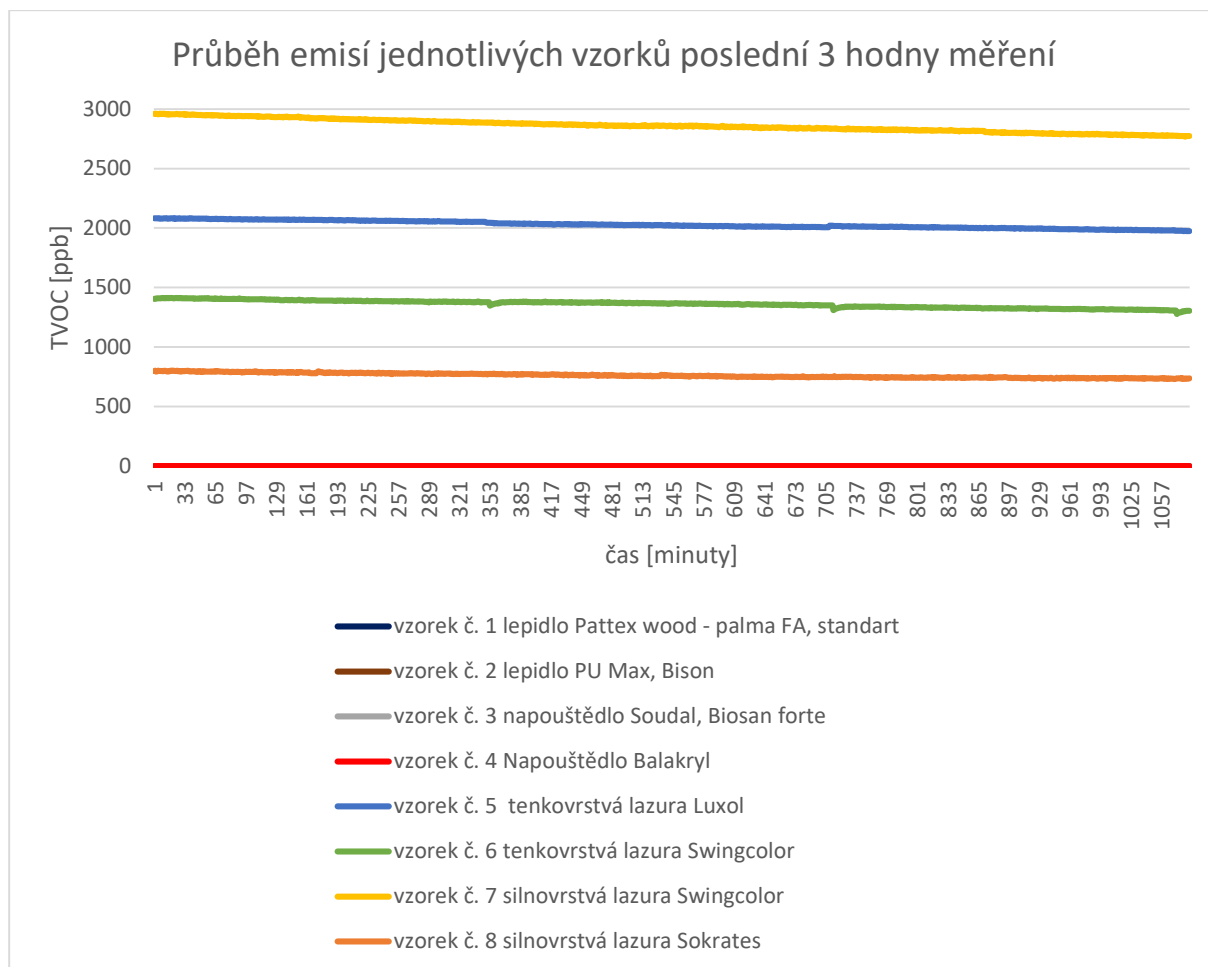
V měřicí kabině se vyskytují VOC látky, které se emitovaly ze vzorku, ale ještě nestihly zreagovat s kyslíkem a rozložit se. Z obrázku č. 7 – Průběh emisí jednotlivých měření je zřejmé, že na začátku měření ze vzorků emituje velké množství VOC, postupem času se emise zmenšují. Maxima nastávají u všech vzorků téměř na začátku měření. Nejpozději nastalo maximum u vzorku č. 7 v 216. minutě, tedy za necelé čtyři hodiny od začátku měření. Rozdílné maxima křivek jednotlivých vzorků jsou dána jiným chemickým složením přípravků. Celkové množství emitovaných VOC ze vzorků je dáno VOC látkami obsaženými ve v přípravcích.

Z obrázku č. 7 je také patrné, že u tenkovrstvých lazur (vzorky č. 5 a č. 6) krátce dosažení maxima křivky prudce klesly. U silnovrstvých lazur (vzorky č. 7 a č. 8) mají křivky pomaleji klesající průběh. U tenkovrstvých lazur dochází k velkému uvolňování VOC látek hned na začátku aplikace na dřevo, oproti tomu u silnovrstvých lazur je emise VOC látek časově delší.

Rychlost klesání křivek je dána nejen množstvím emitovaných látek, ale také rychlostí reakce jednotlivých VOC látek s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Možné reakce s kyslíkem viz 2.5 - Zánik VOC v interiéru. Jednotlivé vzorky obsahují odlišné organické těkavé látky, které jinak reagují se vzduchem a jinak rychle se rozkládají.



Ke konci měření se křivky ustaují, viz obrázek č. 10 – Průběh emisí jednotlivých vzorků poslední 3 hodiny měření. Hodnoty TVOC, ke kterým se křivky v podlesních hodinách měření blíží, můžeme vnímat jako hodnoty emisí TVOC, které budou v interiérech při provozu budovy. S těmito daty lze dále procovat například při určování škodlivin v interiérech.



Obrázek 10 - Porovnání VOC – Průběh emisí jednotlivých vzorků poslední 3 hodiny měření

### 3.2.1.3 Přepočet produkce TVOC na 1 cm<sup>2</sup>

Z hodnot emisí lze dopočítat produkci TVOC látek na cm<sup>2</sup> vzorku. Známe-li plochu dřevěného materiálu v místnosti, dokážeme stanovit množství TVOC v interiéru, které se bude emitovat v průběhu používání místnosti. Nepočítáme tedy s dobou aplikace přípravků na dřevěné povrchy a dobou zasychání. Tyto emise TVOC, které zhoršují kvalitu vnitřního prostředí, dále můžeme porovnat s normovými hodnotami. V případě, že by hodnoty byly větší než normové, množství emisí TVOC můžeme zohlednit při návrhu větrání místností.





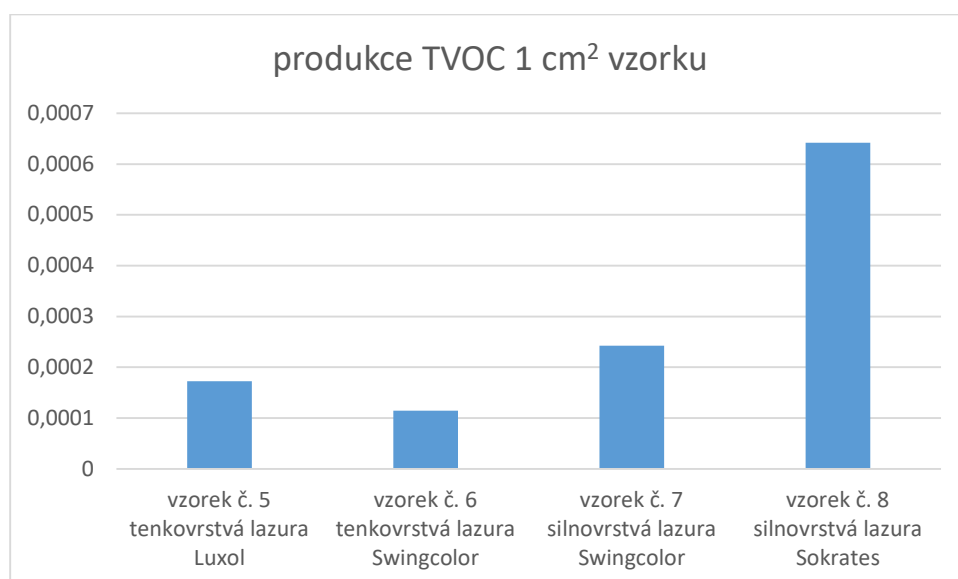
Vstupní hodnoty:

- Naměřené emise TVOC - E [%]  
pro výpočet byly brány poslední hodnoty z měření, tedy hodnoty po na konci třetího dne měření
- Objem zkušební komory - V [cm<sup>3</sup>]  
$$V = 60 * 60 * 30 = 63\,000 \text{ cm}^3$$
- Plocha natřené části vzorku – S [cm<sup>2</sup>]  
natřeny byly vždy 3 strany vzorku o rozměrech 30x8 cm  
$$S = 3 * (8 * 30) = 720 \text{ cm}^2$$

Výstupní hodnota:

- Produkce TVOC 1 cm<sup>2</sup> natřeného vzorku

$$\text{Produkce 1 cm}^2 = \frac{V * E}{S * 100}$$



Obrázek 11 - Porovnání produkce TVOC 1 cm<sup>2</sup> vzorku

Z výsledku vyplývá, že stejný druh nátěru, ale jiný výrobce může emitovat velmi odlišné množství VOC látek. Například silnovrstvá lazura Sokrates emituje 2,6x více TVOC, než silnovrstvá lazura Swingcolor, viz obrázek č.11 – Porovnání produkce TVOC 1 cm<sup>2</sup> vzorku.

#### 3.2.1.4 Vzorky s nulovými emisemi

U některých vzorků nebyly naměřeny žádné emise organických těkavých látek. Konkrétně u vzorků č. 1, 3 a 4. Jedná se o obě napouštědla Soudal Biosan forte a Balakryl a o lepidlo PU Max Bison.

Skutečnost, že VOC látky v přípravcích jsou byla ověřena orientačním měřením přímo ze vzorku nezatvrdlých zdrojů. Každý z přípravků, u kterých nebyla naměřena žádná emise, byl odlit do misky a byla změřena emise VOC látek detektorem těkavých látek Honeywell. Odběrová hadička přístroje byla ve vzdálenosti asi 5 cm od nezastřeleného čerstvého vzorku, aby bylo zabráněno ovlivnění okolním prostředím viz obrázek č. 12 – Měření výskytu VOC látek přímo v přípravcích. U všech tří vzorků byly naměřeny nenulové hodnoty. Tyto naměřené orientační hodnoty se dají považovat jako emise VOC látek ovlivňující pouze osoby pracující v daný čas přímo s přípravky.



Obrázek 12 - Měření výskytu VOC látek přímo v přípravcích

Konstatujeme tedy, že všechny VOC látky obsažené v přípravcích aplikovaných na dřevěné vzorky stihly emitovat v době zasychání, kdy byly natřené vzorky nechány 16 dnů volně v laboratoři, a až poté zabaleny do alobalu, aby se zabránilo emisi před měřením ve zkušební kabině. Z těchto důvodů byla při naměření „0“.

V případě aplikace měřených napouštědel a lepidla na dřevěný materiál v interiérech, VOC látky obsažené v nich neovlivní kvalitu vnitřního prostředí. Působit na člověka mohou emise těchto látek pouze v době zasychání přípravků ne však následně v době používání místnosti.



### 3.3 Porovnání s legislativními požadavky

Vyhláška č. 6/2003 Sb. i nařízení vlády č. 361/2007 Sb. stanovuje hygienické limity pro konkrétní těkavé látky, viz kapitola 2.4. V experimentu byla měřena hodnota TVOC, tedy všechny organické těkavé látky dohromady. Tyto hodnoty mezi sebou nelze porovnávat.

V sousedním Německu jsou v platnosti od vládní organizace German Federal Environmental Agency limity pro TVOC viz obrázek č. 13 – Limity TVOC dle German Federal Environmental Agency. Mžeme porovnat naměřené hodnoty s německými limity.[6]

Level	Hygienic Rating	Recommendation	TVOC [mg/m <sup>3</sup> ]	TVOC [ppb] <sup>8</sup>
5 Unhealthy	Situation not acceptable	Intense ventilation necessary	10-25	2200 - 5500
4 Poor	Major objections	Intensified ventilation/ airing necessary	3-10	660 - 2200
3 Moderate	Some objections	Intensified ventilation recommended	1-3	220 - 660
2 Good	No relevant objections	Ventilation/airing recommended	>0.3-1	65 - 220
1 Excellent	No objections	Target value	<0.3	0 - 65

Obrázek 13 - Limity TVOC dle German Federal Environmental Agency [6]

vzorek		emise TVOC [ppb]		level dle německé agentury	
číslo	přípravek	maximum	na konci měření	maximum	na konci měření
2	lepidlo PU Max, Bison	652	0	4	1
5	tenkovrstvá lazura Luxol	31522	1975	5	4
6	tenkovrstvá lazura Swingcolor	11509	1304	5	4
7	silnovrstvá lazura Swingcolor	19842	2773	5	5
8	silnovrstvá lazura Sokrates	5469	736	5	4

Tabulka 1 - Zatížení emisí TVOC do levelů dle German Federal Environmental Agency

Maximální naměřené hodnoty byly zaznamenány na začátku měření, nejpozději tak bylo u vzorku č.7 za necelé čtyři hodiny od začátku měření. Pracujeme s předpokladem, že měřené přípravky na dřevo budou použity v interiérech během výstavby, nebo rekonstrukce, ne tedy za normálního provozu objektu, kdy je v budově standardní režim a místnosti nejsou obsazeny. Důležité pro provoz budovy jsou až hodnoty na konci měření, kdy se hodnoty emisí TVOC ustalují. U vzorků tenkovrstvých lazur (č. vzorku 5 a 6) a u silnovrstvé lazury Sokrates (vzorek č. 8) byly emise TVOC v rozmezí 660 – 220 ppb, řadí se tedy do levelu 4, kdy je doporučeno zintenzivnit větrání. Vzorek silnovrstvé lazury Swingcolor (vzorek č. 7) dokonce spadá do levelu nejhoršího, levelu č. 5, kdy je zesílit větrání nutné. Viz tabulka č. 1 – Zatížení emisí TVOC do levelů dle German Federal Environmental Agency.



V případě použití nátěrů na dřevěné prvky v místnostech záleží na ploše natřených částí k objemu interiéru. Je vhodné při návrhu větrání místností brát v úvahu možné množství emisí TVOC.

V experimentu nebylo ve zkušební kabině žádné větrání. Pravděpodobně by ve větraných prostorách TVOC látky byly odvedeny při nuceném větrání. Doporučená intenzita větrání, nebo doporučená dávka čerstvého vzduchu na osobu pracuje s objemy vzduchu, který by měl pohodlně odvést nežádoucí TVOC. Pozornost by ale měla být věnována prostorám, které nemají řízené větrání například sladovací prostory, zda se v nich budou vyskytovat osoby a nemělo by se do nich větrání instalovat. V případě mimořádného používání nevětraných místností, by se nemělo na výskyt VOC látek nezapomenout a před dlouhodobým pobytem osob interiéry řádně vyvětrat.

### 3.4 Zhodnocení experimentu

V rámci experimentu byly měřeny emise organických těkavých látek z přípravků na dřevo. Měření probíhalo ve zkušební komoře. Koncentrace škodlivých látek, které jsou uváděny v legislativě, nelze porovnat s měřenými hodnotami. Je tomu tak, že legislativa uvádí koncentrace pro jednotlivé VOC, ale v experimentu byly měřeny hodnoty TVOC. Dle německé agentury, která stanovuje doporučené koncentrace TVOC v interiérech spadají vzorky, u kterých byly na konci měření naměřeny nějaké hodnoty, do levelu 4, respektive 5. Jedná se o levely, kdy je doporučeno, nebo nutné zintenzivnit větrání.

Hodnoty naměřené na konci experimentu, tedy na konci třetího dne měření, by se daly použít jako TVOC látky snižující kvalitu vzduchu v interiérech. Je tomu tak z důvodu ustalující se tendence křivek emisivity. Tyto hodnoty jsou dále přepočítat na produkci TVOC jedním cm<sup>2</sup> natřeného kusu dřeva. Při návrhu větrání je důležité, brát v úvahu produkci VOC látek.

Nejvyšší produkci TVOC 1 cm<sup>2</sup> má vzorek č. 7 silnovrstvá lazura Swingcolor, dále pak vzorek č. 5 tenkovrstvá lazura Luxol, vzorek č. 6 tenkovrstvá lazura Swingcolor a vzorek č. 8 silnovrstvá lazura Sokrates.

U vzorku č. 2 lepidla PU Max Bison na začátku měření nějaké data emisí byly změřeny, ale v porovnání s lazurami jsou to malé hodnoty a v po 512. minutě měření už byla naměřena jen hodnota 0 ppb. U druhého vzorku lepidla (vzorek č. 1 lepidlo Pattex wood – palma FA standart) a u obou napouštědel (vzorek č. 3 napouštědlo Soudal Biosan forte a č. 4 napouštědlo Balakryl) nebyla naměřena po celou dobu experimentu žádná hodnota emise. Předpokládáme, že veškeré těkavé organické látky z těchto vzorků stihly emitovat už v době aplikace a následného zasychání přípravků.



## 4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo měření emisivity TVOC z přípravků na dřevo a zpracování projektové dokumentace větrání administrativní budovy.

V první části práce, v rešerši, jsem se obecně věnovala těkavými organickými látkami. Je zde popsáno, co VOC látky jsou, do jakých skupin je můžeme dělit. Dále se rešerše věnuje kvalitou vnitřního prostředí z důvodů, že organické těkavé látky kvalitu zhoršují a podle jejich množství se dá kvalita prostředí v místnosti sledovat. VOC látky přispívají ke vzniku Syndromu nezdravých budov, kterému se rešerše také věnuje. Na závěr jsem se věnovala, jak je koncentrace VOC látek ve vnitřním prostředí omezována v české legislativě a jakým způsobem mohou VOC látky v interiérech zanikat.

Při experimentu byly ve zkušební kabině po dobu 3 dnů měřeny emise těkavých organických látek z přípravků používajících se na dřevo. U lazur a jednoho z lepidel nebyly během měření zaznamenány žádné hodnoty. Důvodem naměřené „0“ je předpoklad, že veškeré organické těkavé látky stihly ze vzorků emitovat před měřením, během zasychání. U druhého z lepidel byly na začátku měření některé hodnoty naměřeny, ale za necelých 9 hodin byla až do konce měření stále naměřena nula. Měřené vzorky napouštědel a lepidel, nepřispívají emisemi TVOC ke zhoršení kvality vnitřního prostředí a k možnému vzniku syndromu nezdravých budov. Oproti tomu měřené lazury tenkovrstvé i silnovrstvé měly hodnoty TVOC na konci měření, podle německé agentury, v levelu č. 4 a 5. U levelu č. 4 je doporučené zintenzivnit větrání, u levelu č. 8 je potřeba zvětšit větrání nutná. Hodnoty emisí na konci měření můžeme považovat za hodnoty emisí VOC látek v průběhu užívání stavby. Emisivitu můžeme přepočítat na produkci TVOC jedním cm<sup>2</sup> povrchu vzorku. Tyto hodnoty lze dále použít při vyšetřování kvality vnitřního prostředí v interiérech a lze hodnoty zohlednit při návrhu větrání.

Ve třetí části práce jsem zpracovala projekt větrání administrativní budovy. Na základě množství přiváděného vzduchu do jednotlivých místností jsem navrhla distribuční elementy a vzduchotechnické jednotky. Dále jsem navrhla dimenze jednotlivých úseků, tlumiče hluku, regulační klapky a protipožární klapky. Návrh jsem provedla v programu CADvent a v programu Atrea Duplex. Projekt větrání je dokumentován výpočty, technickou zprávou a výkresovou dokumentací.



## 5 Seznamy

### 5.1 Literatura a použité zdroje

- [1] - Kdy měřit VOC a kdy CO<sub>2</sub>? Jak a čím měřit kvalitu vzduchu v místnosti? In: PROTRONIX S.R.O. TZB-info [online]. 2020 [cit. 2023-10-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/20843-kdy-merit-voc-a-kdy-co2>
- [2] - VOC: Co je VOC? In: Nano4house [online]. [cit. 2023-10-02]. Dostupné z: <https://nano4house.cz/pojem/voc/>
- [3] - UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Technical Overview of Volatile Organic Compounds [online]. 14.5.2023 [cit. 2023-10-25]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>
- [4] - LING, Xu, Hu YIBING a Liang WEIHUI. Composition and correlation of volatile organic compounds and odor emissions from typical indoor building materials based on headspace analysis. Building and Enviroment [online]. 2022, 2022(221) [cit. 2023-12-21]
- [5] - Co je to kvalita vzduchu a jak s tím souvisí pojmy VOC a TVOC [online]. [cit. 2023-10-13]. Dostupné z: <https://www.cidla.cz/co-je-to-kvalita-vzduchu-a-jak-s-tim-souvisi-pojmy-voc-a-tvoc/>
- [6] - VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 10. TVOC. In: Automatizace.hw.cz [online]. [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-10-tvoc.html>
- [7] - SUMEDHA, Joshi M. The sick building syndrome [online]. Aug 2008. Indian J Occup Environ Med., 2008 [cit. 2023-10-25]. Dostupné z: doi:10.4103/0019-5278.43262
- [8] - Vyhláška č. 6/2003 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. In: . 2003, 6/2003 Sb.
- [9] - Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: . 2007, 361/2007 Sb.
- [10] - DOMHAGEN, Fredrik, Sarka LANGER a Angela SASIC KALAGASIDIS. Modelling VOC levels in a new office building using passive sampling, humidity, temperature, and ventilation measurements [online]. In: . [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2023.110337



## 5.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - CO <sub>2</sub> jako indikátor kvality vzduchu [5] .....	5
Obrázek 2 - VOC jako indikátor kvality vzduchu [5] .....	5
Obrázek 3 - Různé definice vlivu TVOC [6] .....	6
Obrázek 4 - Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů [8].....	8
Obrázek 5 - Zkušební komora.....	11
Obrázek 6 – Měřené vzorky.....	12
Obrázek 7 - Průběh emisí jednotlivých měření .....	13
Obrázek 8 - Průběh teploty během měření.....	14
Obrázek 9 - Průběh relativních vlhkostí během měření.....	15
Obrázek 10 - Porovnání VOC – Průběh emisí jednotlivých vzorků poslední 3 hodiny měření.....	16
Obrázek 11 - Porovnání produkce TVOC 1 cm <sup>2</sup> vzorku .....	17
Obrázek 12 - Měření výskytu VOC látek přímo v přípravcích.....	18
Obrázek 13 - Limity TVOC dle German Federal Environmental Agency [6] .....	19

## 5.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Zatřídění emisí TVOC do levelů dle German Federal Environmental Agency .....	19
--	----