

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



**VZDUCHOTECHNICKÝ SYSTÉM S BIOFILTREM**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Bc. Tatiana Lapygina**

**A. TEORETICKÁ ČÁST**

**2022**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lapygina	Jméno: Tatiana	Osobní číslo: 503271
Zadávací katedra: katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Inteligentní budovy		
Studijní obor/specializace: Inteligentní budovy		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vzduchotechnický systém s biofiltrem	
Název diplomové práce anglicky: Ventilation system with a biofilter	
Pokyny pro vypracování: Cílem práce je posoudit možnosti využití tzv. biostěny pro filtraci vzduchu v budovách a provázání součinnosti se systémem vzduchotechniky. Zpracujte přehled stávajícího stavu prostřednictvím rešerše aktuálních publikací. Formulujte závěry do poznatků využitelných v technickém řešení vzduchotechnického systému. Navrhněte vzduchotechnický systém s využitím získaných poznatků. Zpracujte koncepci systému a navrhněte klíčové prvky. Zpracujte technickou dokumentaci.	
Seznam doporučené literatury: Cummings, B. E. Effectiveness and Energy Saving Potential of Biofiltration of Indoor Air in U.S. Offices. master degree thesis, Drexel University, 2017. Rodgers, K. L. et. al. Can Plants Save Money: A Look At The Biowall, International High Performance Buildings Conference at Purdue, July 16-19, 2012.	
Jméno vedoucího diplomové práce: Daniel Adamovský	
Datum zadání diplomové práce: 25.2.2022	Termín odevzdání DP v IS KOS: 15.5.2022 <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“.*

25.2.2022	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

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

V Praze dne:

Podpis:

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala panu Ing. Daniel Adamovský, Ph.D. za vedení při vypracování mé diplomové práce. Za jeho trpělivost a čas při konzultacích.

**VZDUCHOTECHNICKÝ SYSTÉM S BIOFILTREM**  
**VENTILATION SYSTEM WITH A BIOFILTER**

## OBSAH

1	ÚVOD .....	8
1.2	Normy a vyhlášky.....	8
1.2.1	Množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště .....	8
1.2.2	Stanovení průtoku vzduchu podle zařizovacích předmětů.....	9
1.2.3	Hygienické limity pro vnitřní prostředí staveb .....	9
2	ROZDĚLENÍ VĚTRÁNÍ.....	10
2.1	Přirozené větrání.....	10
2.2	Nucené větrání.....	11
2.3	Hybridní větrání.....	11
3	NUCENÍ VĚTRÁNÍ .....	11
3.1	Rozdělení systémů dle místního členění .....	11
3.2	Rozdělení systémů dle tlaku vzduchu ve větraném prostoru .....	11
	Nucené podtlakové větrání.....	11
	Nucené přetlakové větrání.....	11
	Nucené rovnotlaké větrání .....	12
3.2.1	Rozdělení systémů rovnotlakového větrání dle řízení průtoku vzduchu .....	12
	CAV systémy .....	12
	VAV systémy .....	12
	DCV systémy .....	12
3.3	Rozdělení systémů dle způsobu distribuce vzduchu .....	13
	Směšování .....	13
	Zaplavování.....	13
	Vytěšňování.....	13
4	BIOSTĚNA .....	14
4.1	Systém biostěny.....	14
4.2	Studie koncentrace CO <sub>2</sub> , koncentrace pevných částic, teploty a relativní vlhkosti ..	15
4.3	Číselné parametry .....	18
5	ZÁVĚR.....	20
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	21

## **ANOTACE**

Diplomová práce řeší projekt větrání kancelářské budovy s použitím biostěny. Práce se skládá ze dvou částí. První část je teoretická – Studie větrání kanceláří a využití biostěny. Studie obsahuje obecný pohled větrání. Druhá část je projektová. Je řešen systém větrání s biostěnou pro konkrétní kancelářské budovu.

### **Klíčová slova:**

větrání, vzduchotechnika, vzduchotechnická jednotka, biostěna

## **ANNOTATION**

The diploma thesis solves the project of ventilation of an office building using a biowall. The diploma consists of two parts. The first part is theoretical - Study of office ventilation and the use of biowalls. The study contains a general view of ventilation. The second part is project. The ventilation system with a biowall for a specific office building.

### **Keywords:**

ventilation, air conditioning, air handling unit, biowall

# 1 ÚVOD

Kvalita vzduchu v budově může mít značný dopad na naše životy, protože lidé tráví přibližně 90 % svého času uvnitř. Americká agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) charakterizuje vnitřní vzduch jako výrazně více znečištěný než venkovní vzduch. Tento stav je způsoben jak velkým množstvím vnitřních zdrojů znečišťujících látek, tak akumulací znečišťujících látek v plášti budovy. [1]

Nejvýznamnějšími látkami znečišťujícími vnitřní ovzduší jsou oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), pevné látky a řada těkavých organických sloučenin (VOC). Zvýšená hladina koncentrace  $\text{CO}_2$  je spojována se „syndromem nemocných budov“. Když koncentrace  $\text{CO}_2$  stoupne z 389 ppm na 1160 ppm, výrazně se zvýší příznaky nemocných budov. Koncentrace  $\text{CO}_2$  má také vliv na produktivitu pracoviště. Výzkum ukazuje, že když se vnitřní koncentrace  $\text{CO}_2$  snížila z 1515 ppm na 735 ppm, zkrátila se doba reakce člověka o 5,4 %. Dlouhodobý vliv vysokým koncentracím pevných látek (vyšších než  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) by mohl vést ke zvýšení kardiovaskulární, respirační nemocnosti. Kromě toho koncentrace těkavých organických látek, jako je formaldehyd a benzen, které se mohou uvolňovat ze stavebních součástí, může se zvýšit na nebezpečnou úroveň pro lidi. [2]

Tři obecné strategie pro zlepšení kvality ovzduší jsou odstranění zdrojů znečišťujících látek, ventilace a použití čističů vzduchu k čištění vzduchu v interiéru. Větrání ze své podstaty spotřebovává energii a stojí peníze, protože venkovní vzduch musí být upravován, aby vnitřní podmínky byly tepelně pohodlné. Vzhledem k tomu, že hnutí zelených budov pokračuje, je stále více požadováno zlepšení kvality vzduchu při současném snížení spotřeby energie. Tato práce zkoumá proveditelnost použití biofiltrace k čištění a odstraňování VOC z vnitřního vzduchu. Biofiltrace označuje jakýkoli biologický proces, který odstraňuje kontaminanty z proudu vzduchu. S použitím biostěny lze vzduch v budově čistit a obnovovat, aniž by bylo nutné nasávat tolik venkovního vzduchu. Biostěna je v podstatě velká vratná komora, přes kterou je vzduch nasáván z prostoru a vracen do vzduchotechnické jednotky. [1] [3]

## 1.2 Normy a vyhlášky

### 1.2.1 Množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště

a) 25  $\text{m}^3/\text{h}$  na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění



b) 50 m<sup>3</sup>/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění

c) 70 m<sup>3</sup>/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IIb, IIIa nebo IIIb podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1

d) 90 m<sup>3</sup>/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IVa, IVb nebo V podle přílohy č. 1, části A, tabulky č. 1. [4]

Minimální množství venkovního vzduchu podle odstavce musí být zvýšeno při další zátěži větraného prostoru pracoviště například teplem nebo pachy. V takovém případě se zvyšuje množství přiváděného venkovního vzduchu o 10 m<sup>3</sup>/h podle počtu přítomných zaměstnanců. Proudění vzduchu musí zabezpečovat dobré provětrávání pracoviště a nesmí přispívat k šíření škodlivin na jiné pracoviště. [4]

### 1.2.2 Stanovení průtoku vzduchu podle zařizovacích předmětů

Tabulka 1. [5]

Zařizovací předmět	Průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /h]
záchodová mísa	50 m <sup>3</sup> /h
pisoiár	30 m <sup>3</sup> /h
umyvadlo	25 m <sup>3</sup> /h
vana, sprcha	150 m <sup>3</sup> /h

### 1.2.3 Hygienické limity pro vnitřní prostředí staveb

Tabulka 2 - Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů ve vnitřním prostředí staveb. [6]

Ukazatelé	Jednotka	Limit <sup>4)</sup>
oxid dusičitý	μg/m <sup>3</sup>	100
frakce prachu PM10 <sup>1)</sup>	μg/m <sup>3</sup>	150
frakce prachu PM2,5 <sup>2)</sup>	μg/m <sup>3</sup>	80
oxid uhelnatý	μg/m <sup>3</sup>	5000
ozón	μg/m <sup>3</sup>	100
azbestová a minerální vlákna <sup>3)</sup>	počet vláken. m <sup>3</sup>	1000
amoniak	μg/m <sup>3</sup>	200
benzen	μg/m <sup>3</sup>	7
toluen	μg/m <sup>3</sup>	300
suma xylenů	μg/m <sup>3</sup>	200
styren	μg/m <sup>3</sup>	40

etylbenzen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200
formaldehyd	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	60
trichloretylen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150
tetrachloretylen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150

- 1) frakce prachu PM10 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 10  $\mu\text{m}$ , které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností
- 2) frakce prachu PM2,5 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 2,5  $\mu\text{m}$ , které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností
- 3) Průměr vlákna <3  $\mu\text{m}$ , délka vlákna  $\geq 5 \mu\text{m}$ , poměr délky a průměru vlákna je  $> 3:1$
- 4) Limity jsou stanoveny pro koncentrace látek vztažené na standartní podmínky. [6]

## 2 ROZDĚLENÍ VĚTRÁNÍ

### 2.1 Přirozené větrání

Principem přirozeného větrání je účinek vztlakového proudění mezi interiérem a exteriérem o různé teplotě vzduchu a působením větru. [7]

- Infiltrace – pronikání vzduchu netěsnostmi v oknech, dveřích a stavebních konstrukcích přivádí k větrání a výměně vzduchu. Při bezvětrí je infiltrace iniciována pouze teplotním rozdílem vnitřního a vnějšího prostředí. Při krátkodobým otevření okna je možné zvětšit intenzitu větrání.
- Aerace - k větrání a výměně vzduchu dochází podobně jako k infiltraci, s tím rozdílem, že jsou vytvořeny speciální otvory pro přívod a odvod vzduchu v různých výškách v místnosti. Při bezvětrí je větrání iniciováno pouze rozdílem teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím, při vyrovnání teplot je větrání neúčinné.
- Šachtové větrání - k větrání dochází vlivem rozdílu teplot uvnitř a vně budovy. Při takovém způsobu větrání jsou větrací mřížky z větraných místností vedeny do sběrné větrací šachty. Šachty mohou být jako komíny, světlíky, zděné nebo potrubní. Šachty mohou být jak pro odvod, tak pro přívod vzduchu.
- Větrání okny – výměna vzduchu je odvozena pouze pro účinek teploty a vychází z řešení problematiky aerace s tím, že okno slouží pro přívod a odvod vzduchu, proto navrhuje nucené větrání. [7]

## **2.2 Nucené větrání**

U nuceného větrání se výměna vzduchu provádí výhradně změnou tlaku pomocí ventilátoru. Výhodou takového větrání oproti přirozenému je, že kromě výměny vzduch může také zajistit vytápění, chlazení nebo regulaci vlhkosti. Kromě toho je možné parametry regulovat dle aktuální potřeby budovy. [8]

## **2.3 Hybridní větrání**

Hybridní větrání je kombinace obou výše popsaných principů, aby byla zajištěna požadovaná cíl větrání při nejnižší spotřebě energie. Přirozené větrání je obvykle nedostatečné, proto se doplňuje o větrání nucené. [8]

# **3 NUCENÍ VĚTRÁNÍ**

Nucené větrání lze dělit dle několika kategorií:

## **3.1 Rozdělení systémů dle místního členění**

- Centrální systém – systém, který obsluhuje celou budovu nebo její část c – technická místnost, střešní vzduchotechnické jednotky atd. Může zajistit větrání i klimatizace budovy. [8] [15]
- Lokální systém – systém, který obsluhuje jen jednu místnost nebo její část. Jedná se většinou o jednoduché zařízení s malým počtem funkcí. Zajišťuje řešení místního problému. [8] [15]

## **3.2 Rozdělení systémů dle tlaku vzduchu ve větraném prostoru**

### **Nucené podtlakové větrání**

Takový systém často se používá pro větrání v znečištěných prostorech, kde je zvýšená koncentrace škodlivin ve vzduchu. Vzduch do místností je nasáván přes otvory v obálce místností, které jsou větrány přirozené nebo neceně. Odpadní vzduch je odtahován ventilátorem, který působí podtlak. Cílem je zabránit šíření znehodnoceného vzduchu dále do okolních prostor. Například takové řešení se používá pro WC nebo koupelny. [9] [15]

### **Nucené přetlakové větrání**

Takovým systémem přivádíme více vzduchu, než odvádíme. V prostoru vzniká přetlak, ale rozdíl je kompenzován únikem přes otvory v obálce prostoru. Díky tomu bráníme vniknutí škodlivých látek z okolních prostor. Využití takového řešení můžeme najít například při

požárním větrání únikových cest, kdy přetlak zabraňuje rychlému šíření kouře. Nebo využívá v prostorech, kde jsou zvýšené nároky na čistotu prostor (operační sály). [9]

### **Nucené rovnotlaké větrání**

Do prostoru přivádíme stejné množství vzduchu jako odvádíme, v prostoru nevzniká žádný tlakový rozdíl. Často se využívá v případě větrání administrativních budov. Je možnost zpětného využití tepla z odvodněného vzduchu, případně můžeme vzduch směšovat. [9] [15]

#### **3.2.1 Rozdělení systémů rovnotlakového větrání dle řízení průtoku vzduchu**

- Konstantní průtok vzduchu – CAV systémy
- Proměnný průtok vzduchu – VAV, DCV systémy

##### **CAV systémy**

Systémy CAV zajišťují konstantní proudění vzduchu do určitého prostoru a nabízejí ventilaci a regulaci teploty. Ventilátor a kompresor pracují na plný výkon, dokud teplota neklesne na nastavenou hodnotu, poté se kompresor vypne. Cyklování zapnutí/vypnutí není účinné při udržování konstantní teploty v prostoru. [10] [19]

CAV může být nejlepší volbou, když je potřeba konstantního větrání budovy po dlouhou dobu. To znamená, že CAV funguje nejlépe, když musí být budova vytápěna/chlazená na určitou teplotu s malou variabilitou například sklad. [10]

##### **VAV systémy**

Systémy VAV udržují konstantní teplotu vzduchu a místo toho upravují proudění vzduchu v závislosti na zatížení. Systémy VAV mohou mít jednozónovou, vícezónovou nebo dvoukanálovou konfiguraci. [20]

VAV je nejlepší pro situace, kdy ventilace funguje za podmínek částečného zatížení. Obecně je VAV ideální pro velké komerční prostory, kde se požadavky na ventilaci neustále mění například velké maloobchodní podniky, nemocnice, letiště. [10] [20]

##### **DCV systémy**

Demand Controlled Ventilation (DCV) je proces určený k úpravě/přeprogramování nastavení větrání v rámci budovy na základě kolísajícího obsazení. Systémy DCV dokážou automaticky snížit intenzitu ventilace v době mimo špičku, čímž ušetří spoustu energie v procesu. Dokážou také zjistit, zda se kvalita vnitřního vzduchu neznečišťuje, a napravit to rychlejším čerpáním čerstvého vzduchu do budovy. [11]

### **3.3 Rozdělení systémů dle způsobu distribuce vzduchu**

#### **Směšování**

Směšovací způsob větrání je založen na míšení vnitřního vzduchu se přiváděným vzduchem. Znečištěný vzduch v pracovním prostoru je ředěn buď přímým prouděním přiváděného vzduchu nebo zpětným prouděním.

Takový systém je nejčastější způsob distribuce vzduchu. Mezi hlavní typy distribučních elementů patří obdélníkové vyústky, anemostaty, vířivé anemostaty atp. [8] [12]

#### **Zaplavování**

Při distribuci vzduchu zaplavováním se přivádí vzduch malou rychlostí (do 0,5 m/s) do pracovního prostředí velkoplošnou výustí umístěnou u podlahy. Díky vlivu tepelné konvekce vznikající kolem osob, elektronické vybavení, technologie, vzduch se pohybuje v prostoru. Vzduch se ohřeje a stoupá směrem ke stropu, kde se odsává. Takový způsob se používá zpravidla pro chlazení místností, protože přiváděný vzduch je o 1 až 3 K chladnější než vzduch nad pracovní zónou. [8] [12]

#### **Vytěšňování**

Při vytěšňování znečištěný vzduch je vytlačován ven z místnosti přiváděným vzduchem pístovým způsobem. Například se používá pro vytvoření laminárního proudění v čistých prostorách, kde je přívod vzduchu nainstalován na celou plochu stropu, nebo celou plochu stěny. Vzduch pak může být odváděn podlahou nebo protilehlou stěnou. [8] [12]

Pro kancelářské a administrativní budovy se nejčastěji navrhuje systém nuceného větrání. To je dáno tím, že architekti navrhují více prosklených budov, kde celoprosklené obálky budov nemají jediné otevíravé okno. Často tyto průhledné obálky budov nedisponují markýzami, vnitřními nebo venkovními žaluziemi ani žádnou zábranou před tepelnými zisky od slunce, proto vzniká potřeba po kvalitním návrhu a instalaci funkčního nuceného větrání.

Kromě návrhu kvalitního systému větrání pro zlepšení kvality vzduchu můžeme používat rostliny. V roce 1989 NASA a USA provedly společnou studii a dospěly k závěru, že některé rostliny mají tendenci zlepšovat kvalitu vnitřního ovzduší. Toho lze dosáhnout odstraněním těkavých organických látek (VOC) a oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) za současného uvolňování kyslíku. Kombinace různých rostlin, které dokážou čistit vzduch, představuje biostěnu. Účelem biostěny je čistit vzduch v budově, ale zároveň se snižovat potřebu

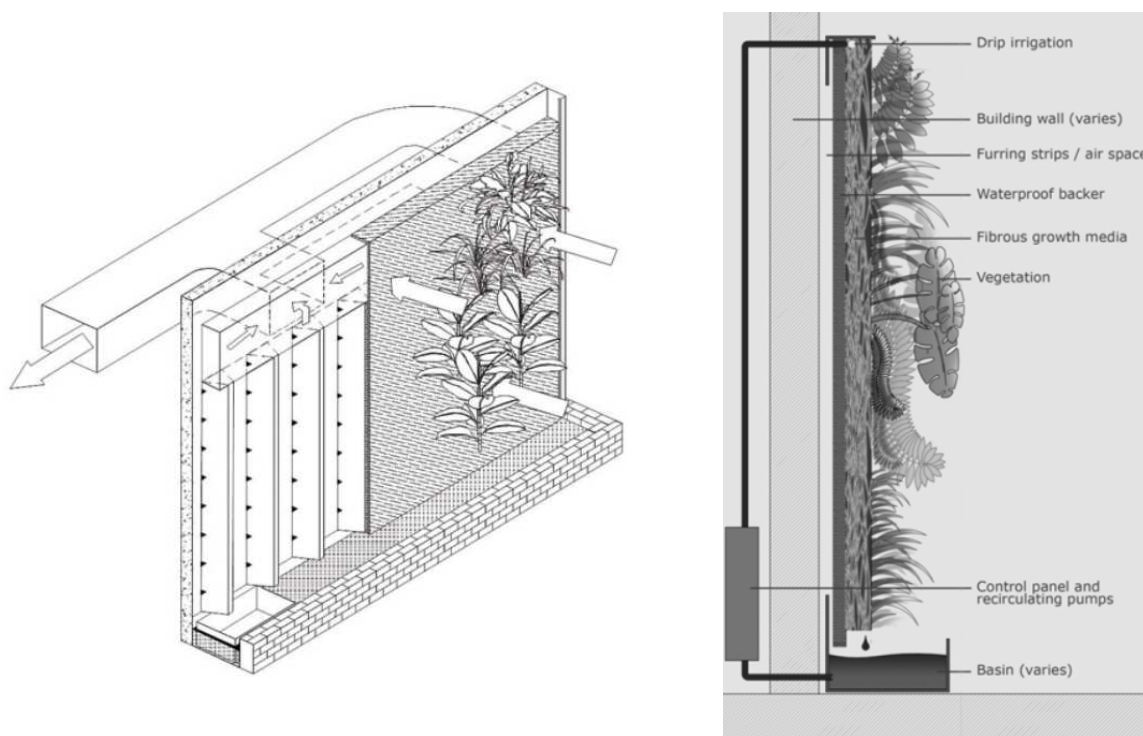
mechanického přivádění čerstvého vzduchu, který je nutné vytápět a chladit, a to potřebuje vysoké náklady. [16] [17]

## 4 BIOSTĚNA

Biostěna je vzduchový filtr s rostlinami, který se používá ke zlepšení kvality vnitřního vzduchu a potenciálně k úspoře energie ve vysoce účinných obytných budovách ve srovnání s tradičními systémy mechanické ventilace. Hlavní idea je využít pasivní schopnost rostlin odstraňovat škodlivin ze vzduchu, který je recirkulován zpět do centrálního systému vzduchotechniky. [13] [16]

### 4.1 Systém biostěny

Konstrukce biostěny se skládá ze stěny s rostlinami, přes kterou prochází znečištěný vzduch. Rostliny, které může být použité například Croton mamey, Schefflera arboricola, Schefflera zlatý keř capella, druh Petra, Aralia elegantissima, Ficus elastica vínový keř atd. Mikrobi v kořenech rostlin využívají VOC a další kontaminanty jako zdroj potravy. U základu takové stěny se nachází zásobník, ze kterého čerpadlo cirkuluje vodu pro rostliny. Ještě jedním důležitým prvkem pro správné fungování rostlin je světlo, které může být zajištěno přirozeným slunečním světlem nebo instalovaným osvětlením. Mezi stěnou budovy a biostěnou je vzduchový prostor, ve kterém je umístěn ventilátor, pomocí kterému vzduch je nasáván z prostoru. [13] [21]



Obrázek 1 – Konstrukce biostěny [13,21]

## 4.2 Studie koncentrace CO<sub>2</sub>, koncentrace pevných částic, teploty a relativní vlhkosti

V administrativní budově, která se nachází ve městě Nanjing, byly vybrány dva paralelní chodby pro srovnávací analýzu. Na boční stěně západní chodby byla instalována biostěna ploše 10,6 m<sup>2</sup>, zatímco východní chodba byla prázdná. Některé důležité parametry, včetně vnitřní teploty vzduchu, relativní vlhkosti, koncentrací oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a pevných látek (PM) byly získány na základě aktuálního monitorování prostředí. [2]

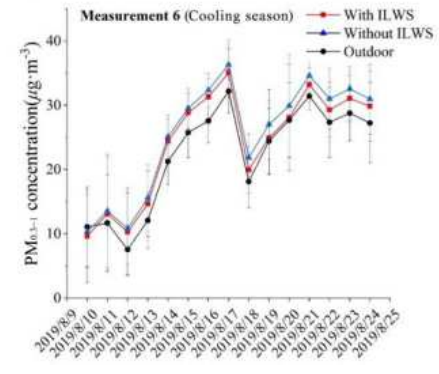
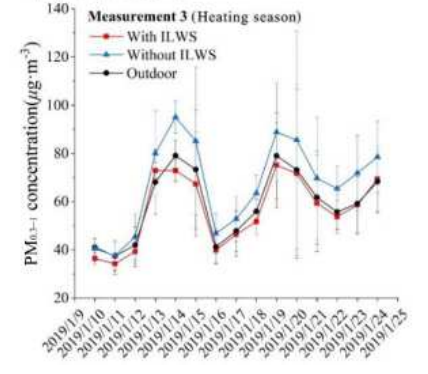
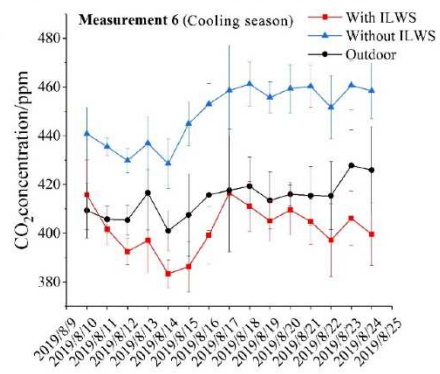
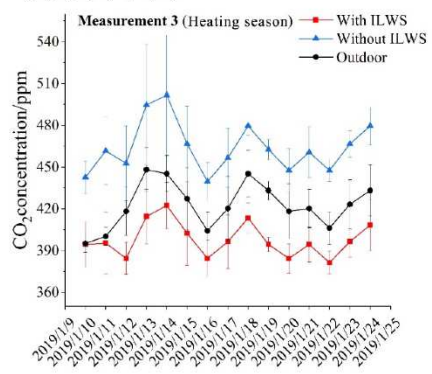
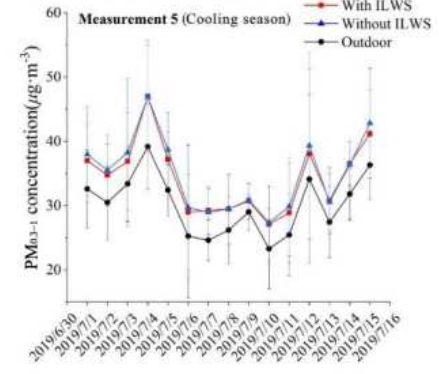
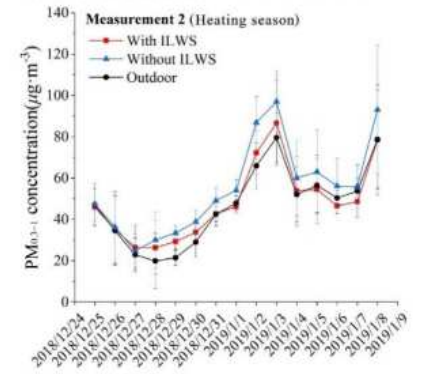
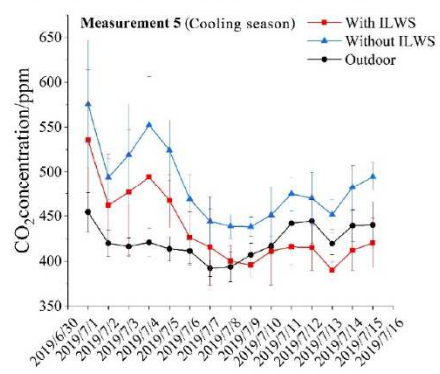
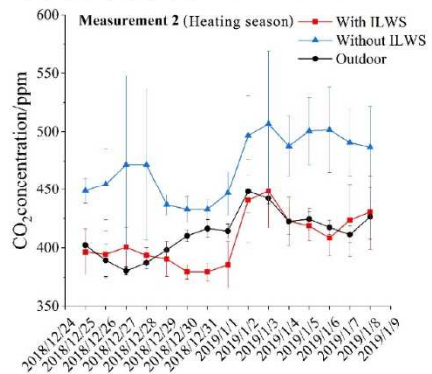
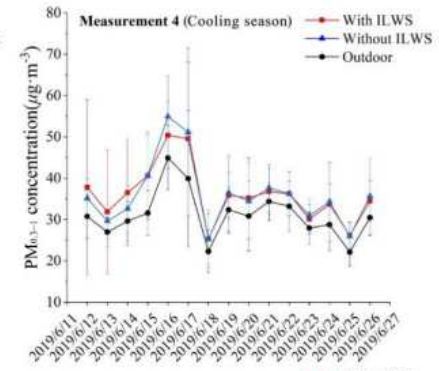
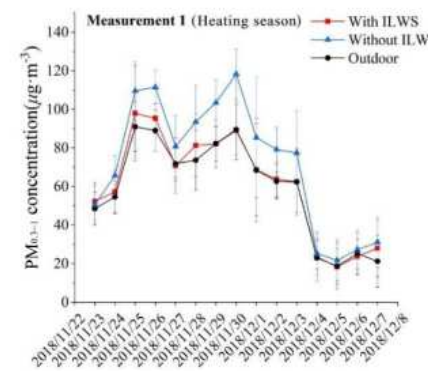
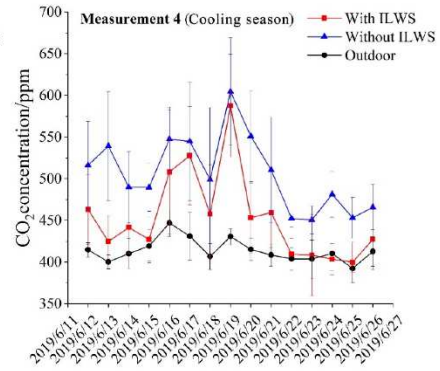
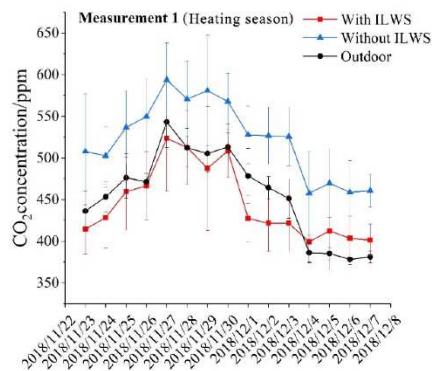
Vzhledem k tomu, že tvary obou chodeb jsou stejné, rychlost výměny vzduchu v chodbách závisí pouze na rychlosti pohybu vzduchu, s ohledem na to, že není použito žádné jiné mechanické větrací zařízení. Anemometry byly umístěny uprostřed každé chodby ve výšce 1,5 m. Statistická data 15 denních záznamů (15 minutový interval), s a bez biostěny, byla porovnána v topných a chladicích sezónách. [2]

Níže jsou uvedeny grafy provedených měření.

Porovnání koncentrace CO<sub>2</sub> je znázorněno na obrázku 2. Je vidět, že koncentrace CO<sub>2</sub> v místě s biostěnou je nižší a někdy hodnoty mohou dosahovat venkovních, které se pohybují od 380 ppm do 450 ppm. Rozdíl koncentrace CO<sub>2</sub> mezi chodbou s biostěnou a bez ní je v rozmezí 50 ppm – 70 ppm, což je významný rozdíl.

Obrázek 3 ukazuje grafy koncentrace pevných částic (PM). Můžeme vidět, že koncentrace během topné sezóny je mnohem vyšší. Hlavní zdroje, které ovlivňují koncentraci pevných částic jsou emise ze zdrojů znečištění a meteorologické podmínky. Topení na uhlí a nedokonalé spalování v motorech vozidel při nízkých teplotách může zvýšit emise v topné sezóně. Méně srážek v topné sezóně se také mohou mít vliv. [18] Na tomto obrázku můžeme vidět, že hodnoty koncentrace PM<sub>0,3-1</sub> venku se pohybují v rozmezí od 20 µg/m<sup>3</sup> do 80 µg/m<sup>3</sup> v topné sezóně a od 5 µg/m<sup>3</sup> do 45 µg/m<sup>3</sup> v mimotopné sezóně. V případě, že není biostěna, jsou hodnoty v průměru vyšší o 10-15% a mohou během topné sezóny dosáhnout hodnot 120 µg/m<sup>3</sup>. V případě přítomnosti biostěny jsou hodnoty přibližně uprostřed mezi hodnotami koncentrace venku a v místnosti bez biostěny.

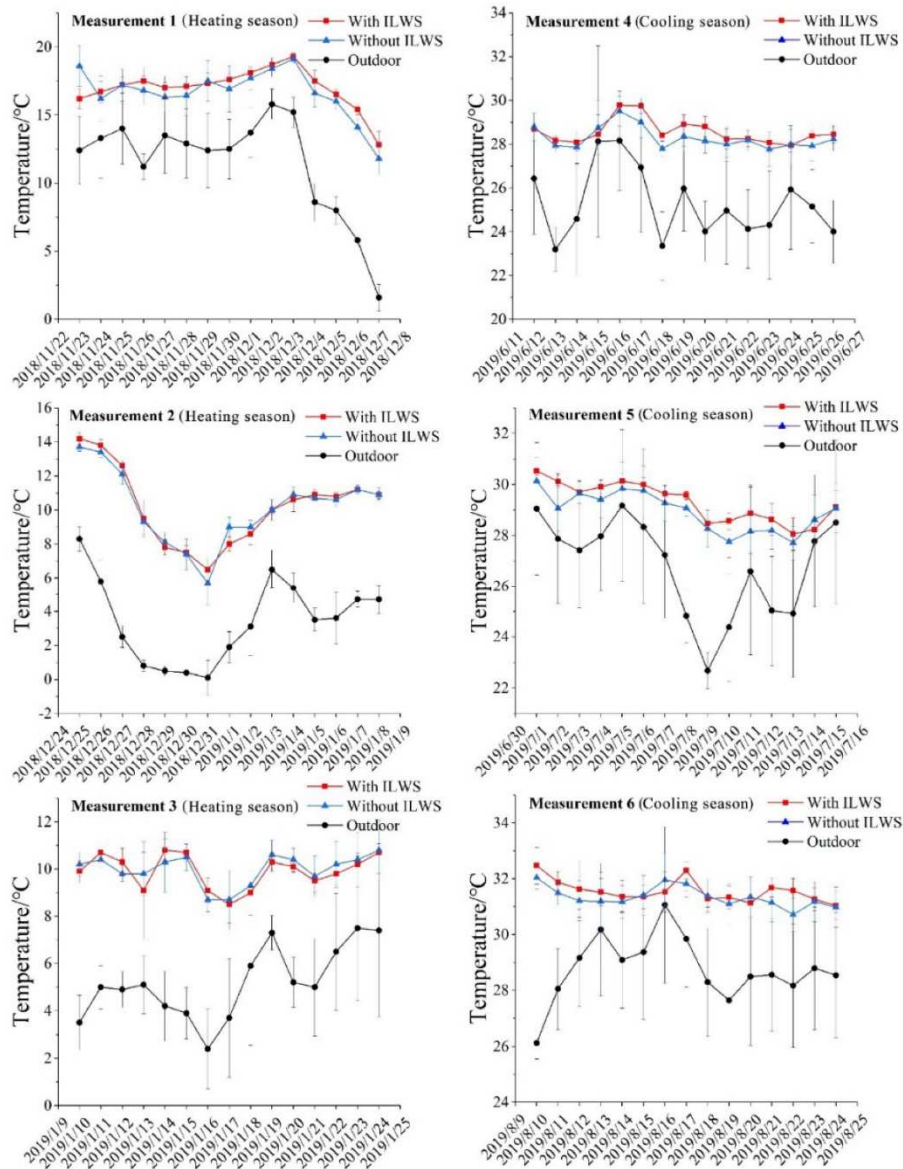
Obrázek 4 ukazuje grafy teplotních kolísání. Venkovní teplota prudce mění, zatímco vnitřní teplota je stabilní. Kromě toho rozdíl teplot v přítomnosti biostěny a bez ní je nevýznamný, maximálně 1-2%.



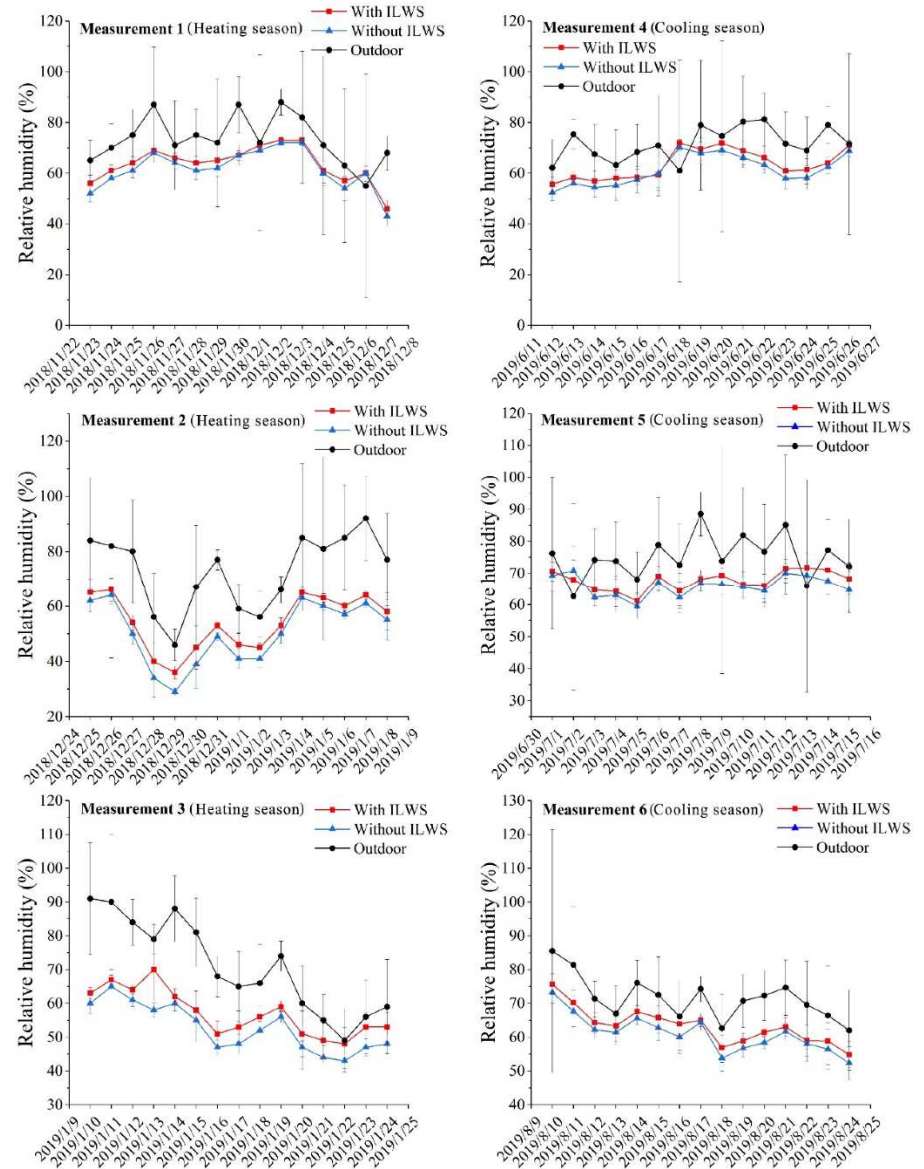
Obrázek 2 - 15denní záznam koncentrací CO<sub>2</sub> [2]

Obrázek 3 - 15denní záznam koncentrací PM<sub>0,3-1</sub> [2]





Obrázek 4 - 15denní záznam teploty vzduchu [2]



Obrázek 5 - 15denní záznam relativní vlhkosti [2]

Obrázek 5 ukazuje grafy hodnot relativní vlhkosti. Je vidět, že relativní vlhkost venku je o 10-30% vyšší než uvnitř. A relativní vlhkost v místnosti s biostěnou je o 5-10% vyšší než bez ní. To může být způsobeno transpirací rostlin, to je znamená proces pohybu vody rostlinou a její odpařování přes vnější orgány rostliny, jako jsou listy, stonky a květy.

Podle analýzy všech dat můžeme vidět, že existují rozdíly v koncentracích CO<sub>2</sub> a PM v koridorech s a bez biostěny. Odstraňování CO<sub>2</sub> a PM se pohybuje od 10 % do 15 % a od 8 % do 14 %, resp. Teplotní rozdíl je poměrně malý, zatímco relativní vlhkost mírně vzrostla o 3 – 6 % s přítomností biostěny. Začlenění biostěny do budovy může zlepšit kvalitu vzduchu a snížit potřebu čerstvého vzduchu. [2]

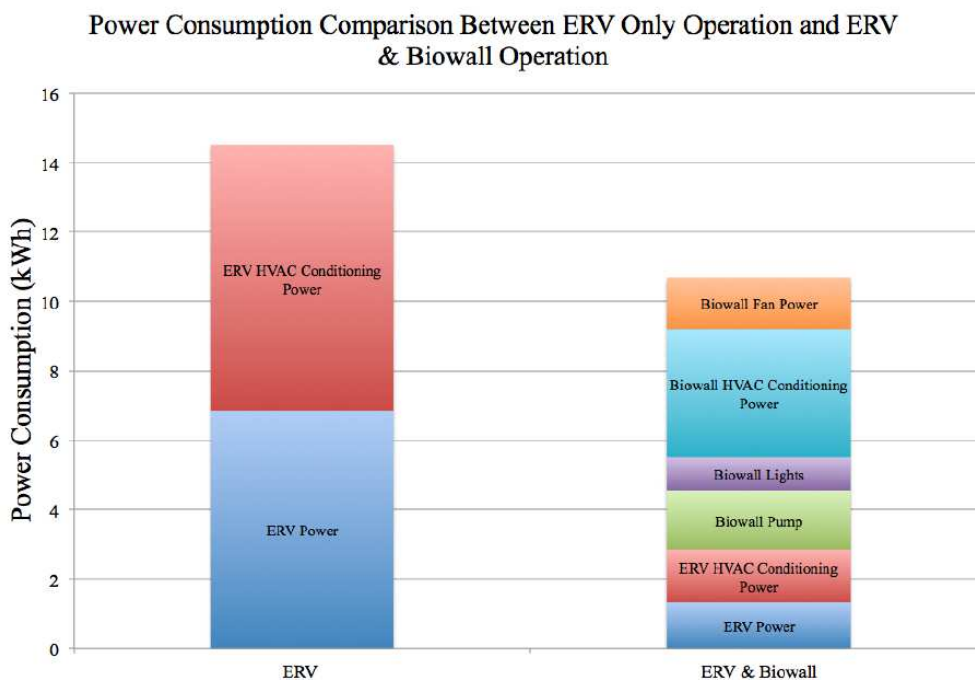
### 4.3 Číselné parametry

Purdue University provedla studii, která porovnávala energetickou spotřebu dvou systémů bez biostěny a v kombinaci s ní v obytném domě celkovou plochou 72 m<sup>2</sup>. Obrázek 6 porovná ventilací systém s rekuperací ERV bez biostěny se systémem ERV s biofiltrem. Celková odhadovaná spotřeba energie systému ERV byla 14,5 kWh, zatímco systém ERV v kombinaci s biostěnou spotřeboval 10,7 kWh. Obrázek 7 porovná systém vzduchotechniky s biostěnou do kterého přímo přiváděn venkovní vzduch se systémem bez biofiltru. Celková spotřeba energie bez přítomnosti biostěny byla 44,9 kWh, zatímco systém s ní spotřeboval 17,3 kWh. [14] [17]

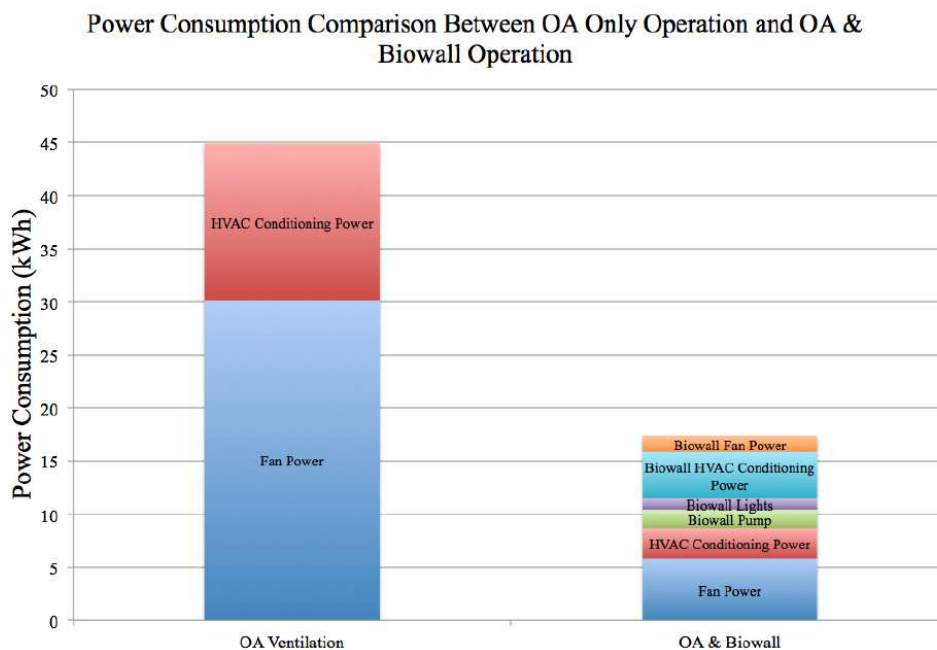
Grafy jsou histogramy, které zobrazují jednotlivé komponenty, které tvoří celkovou spotřebu energie systému. Biowall fan power představuje energii pro posun vzduchu přes systém rostlin. Biowall HVAC conditioning energy je energie potřebná systémem vzduchotechniky ke zvládnutí citlivé a latentní zátěže vnesené do budovy biostěnou. ERV HVAC conditioning energy je energie, kterou systém potřebuje k úpravě vzduchu, který prošel procesem výměny tepla v ERV a poté zaveden do prostoru. ERV power je elektrická energie, kterou zařízení spotřebovává ze svého ventilátoru. HVAC conditioning power je výkon vyžadovaný systémem k úpravě venkovního vzduchu, který je přiváděn do systému vzduchotechniky v budově. Fan power je výkon potřebný pro systém vzduchotechniky k pohybu ventilačního vzduchu přiváděného do budovy. [14]

Bylo zjištěno, že systém větrání venkovního vzduchu v kombinaci s biostěnou ušetří v průměru o 169 USD více ve srovnání se systémem používaným samostatně. Mezitím větrání s rekuperací energie v kombinaci s biostěnou ušetří asi 23 USD pro obytnou domácnost ve srovnání se samotnou ventilací s rekuperací energie. S největší pravděpodobností nebude tento

system dostatečně využíván, pokud nebudou provedeny změny ke zvýšení úspor energie. [14]  
[16]



Obrázek 6 - Porovnání energetické spotřeby pro ERV a pro ERV s biostěnou [14]



Obrázek 7 - Porovnání energetické spotřeby pro OA a pro OA s biostěnou [14]

	Weekly Power Savings	Yearly Power Savings	Yearly Cost Savings
<b>ERV &amp; Biowall</b>	4 kWh	199 kWh	\$23
<b>OA &amp; Biowall</b>	28 kWh	1434 kWh	\$169

Obrázek 8 - Roční energetické a finanční odhady [14]

Podle univerzitního výzkumu Drexel biostěna může generovat 0,28 až 0,57 m<sup>3</sup>/min vzduchu na m<sup>2</sup> biofiltru. V závislosti na provozu biofiltru a probíhajících činnostech v

prostoru, on může generovat dostatek čerstvého vzduchu k pokrytí dvou třetin požadavků na čerstvý vzduch. Množství vzduchu, které lze vyčistit biostěnou, je přímo úměrné čtvercové ploše, kterou biostěna zabírá. [1] [3]

V diplomové práci bylo vytvořeno 2 biostěny o celkové ploše 45,5 m<sup>2</sup>, co může generovat 20 m<sup>3</sup>/min vzduchu.

Můžeme vidět, že kromě nákladové efektivity poskytuje ventilační systém biowall také ekologické výhody.

## **5 ZÁVĚR**

Biostěna by mohla být slibnou možností při navrhování udržitelných budov vzhledem ke své estetické hodnotě a funkci čištění vzduchu v interiéru. Výsledky experimentu ve městě Nanjing ukazují, že biofiltr snižuje jak pevné látky, tak koncentraci CO<sub>2</sub>, přičemž koncentrace CO<sub>2</sub> jsou někdy nižší než koncentrace venku. Studie ale také ukázaly, že vliv biostěny na teplotu vzduchu v místnosti je velmi omezený a je nutný další výzkum. Relativní vlhkost s biostěnou je však o něco vyšší než bez ní.

Existuje však řada nevýhod, jako je spotřeba elektrické energie pro čerpadla, neustálá údržba a péče, krátká životnost rostlin, potřeba správného osvětlení jinak rostliny nebudou v režimu fotosyntézy absorbovat CO<sub>2</sub>, ale naopak produkovat.

Biostěna má nedostatky, ale při správné implementaci ona může zlepšit kvalitu vnitřního vzduchu a může ušetřit energii ve vysoce výkonných budovách ve srovnání s tradičními systémy mechanického větrání. S tím, jak se budovy stále stávají energeticky účinnějšími a stěny se stávají ještě vzduchotěsnějšími, bude ventilace v těchto budovách ještě důležitější. Biostěna bude ekologicky šetrnou, energeticky účinnou alternativou nebo subsystémem, který dokáže tyto prostory odvětrávat.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Cummings, B.E. Effectiveness and Energy Saving Potential of Biofiltration of Indoor Air in U.S. Offices. Master degree thesis, Drexel University, 2017.
- [2] Yiming Shao, Jiaqiang Li , Zhiwei Zhou, Fan Zhang and Yuanlong Cui. The Impact of Indoor Living Wall System on Air Quality: A Comparative Monitoring Test in Building Corridors, 2021.
- [3] Biowall [Online] Dostupné z: <https://hvacsystemsvarietyteam5.wordpress.com/biowall/>
- [4] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- [5] Rubinovi, Olga a Aleš. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka [Online] 22.8.2005 Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/2650-vnitрни-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [6] Vyhláška č.6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [7] Ing. Ivan Cifrinec. Větrání bytových domů - Základy teorie větrání [Online] 26.5.2010 Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>
- [8] Ing. Adamovský, Daniel, Ph.D. Podklady k předmětu Technická zařízení budov 02. ČVUT, Fsv: Katedra technických zařízení budov
- [9] Papež, Karel. Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03622
- [10] CAV vs VAV HVAC Systems [Online] Dostupné z: <https://www.theseverngroup.com/cav-vs-vav-hvac-systems/>
- [11] What is Demand Control Ventilation? [Online] Dostupné z: <https://clevair.io/blog/demand-control-ventilation/>
- [12] Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., Ing. Miloš Lain. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (II) - 1. část. [Online] 23.4.2007 Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/4077-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-ii-1-cast>
- [13] Biowall [Online] Dostupné z: <http://ae390-systemsvariety-group6.weebly.com/biowall.html>
- [14] Rodgers, K.L. et. al. Can Plants Save Money: A Look At The Biowall, International High Performance Buildings Conference at Prudue, Juli 16-19, 2012.

- [15] Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., Ing. Jiří Petlach Systémy větrání obytných budov [Online] 17.10.2011 Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu>
- [16] Junior Cho, Jordan Mansfield, Kyle Krokenberger. Using Plants to Reduce Energy: Evaluation of Energy, Indoor Air Quality, and Biofiltration Performance of a Biowall, 2013
- [17] Brenton Dunham. Effects of Botanical Air Filtration on Energy Efficient Homes. Master degree thesis, Purdue University, 2013
- [18] Yin, X., Sun, Z., Miao, S., Yan, Q., Wang, Z., Shi, G., Li, Z., Xu, W. Analysis of abrupt changes in the PM<sub>2.5</sub> concentration in Beijing during the conversion period from the summer to winter half-year in 2006–2015. Atmos. Environ. 2019, 200, 319–328.
- [19] Constant Air Volume – CAV [Online] Dostupné z: <https://theengineeringmindset.com/constant-air-volume-cav/>
- [20] Variable Air Volume (VAV) Systems Operations and Maintenance [Online] Dostupné z: <https://www.pnnl.gov/>
- [21] Biowall [Online] Dostupné z: <https://sites.google.com/site/ae390project5hvac/bio-wall>