

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra technologie staveb**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Polutanty ve vnitřním prostředí budov  
z pohledu provozu staveb**

**Bc. Ondřej Franek**

**2018**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.**

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 21.12.2017

Skrytý podpis

Jméno a příjmení

*Poděkování*

*Za podnětné rady a odborné vedení při tvorbě této závěrečné práce bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Pavlu Svobodovi, CSc.*



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Franeck</u>	Jméno: <u>Ondřej</u>	Osobní číslo: <u>409687</u>
Zadávací katedra: <u>K122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>(N3607) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Polutanty ve vnitřním prostředí budov z pohledu provozu staveb</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Pollutants in the buildings internal area with the focus on building operation</u>	
Pokyny pro vypracování: V práci bude řešeno: 1. běžně se vyskytující polutanty ve vnitřním prostředí budov v rámci běžného provozu a jejich vliv na lidské zdraví; 2. možnosti a způsoby jejich úplné či částečné eliminace; 3. stanovení zásad správného provozu staveb pro trvalé snižování polutantů ve vnitřním prostředí, které mají vliv na zdraví uživatelů budov zdržujících se ve vnitřním prostředí; 4. srovnání efektivity jednotlivých navržených způsobů eliminace polutantů mezi sebou; 5. vzorová modelace jednoho správně a jednoho nesprávně řešeného provozu administrativní budovy z hlediska snahy eliminace polutantů.	
Seznam doporučené literatury: [1] JOKL, M. Teorie vnitřního prostředí budov. Praha: České vysoké učení technické, 1991. [2] JOKL, M. Zdravé obytné a pracovní prostředí. Praha: Akademie věd české republiky, 2002. ISBN 80 200 0928 0 [3] BRUNECKÝ, P. VOC, organické těkavé látky v obytném prostoru, zdravotní aspekty výrobků a vstup ČR do EU. BRUNECKÝ, P. Ekologie v nábytkářských provozech, Eco-Label. 1. vyd. Brno: 2002 [4] DONG Sik Yang, SVOBODA V. Pennisi, KI-CHEOL Son, STANLEY J. Kays, Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency. Hort Science Vol.44/5, 2009.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>4.10.2017</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>2.1.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
<u>Skrytý podpis</u> Podpis vedoucího práce	<u>Skrytý podpis</u> Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
<u>4.10.2017</u> Datum převzetí zadání	<u>Skrytý podpis</u> Podpis studenta(ky)

**Abstrakt:**

V práci jsou řešeny běžně se vyskytující polutanty ve vnitřním prostředí administrativních budov, jejich vliv na lidské zdraví a možnosti jejich částečné či úplné eliminace. Cílem práce bylo srovnání jednotlivých způsobů eliminace polutantů ve vnitřním prostředí, určení zásad správného provozu staveb a vzorová modelace vhodně a nevhodně řešeného vnitřního prostředí. Na základě srovnání jednotlivých způsobů eliminace bylo zjištěno, že ventilace vnitřního prostředí vnějším vzduchem se jeví jako dostatečná, pokud vnější vzduch nevykazuje zvýšené koncentrace polutantů. V případě výrazně znečištěného vnějšího vzduchu je nutné použít i filtraci s aktivním uhlíkem či ekvivalentem v systému vzduchotechniky. Množství eliminovaných polutantů ve vnitřním prostředí budov pomocí rostlin je ve srovnání s ventilací zanedbatelné. Ve srovnání s ventilací ovšem rostliny vykazují vysokou schopnost absorpce oxidu uhličitého z vnitřního ovzduší, umístění rostlin s vhodným metabolickým cyklem do vnitřního prostředí je tedy preferováno.

**Klíčová slova:**

Polutanty, VOC, těkavé organické sloučeniny, eliminace polutantů, zdravotní nezávadnost vnitřního prostředí, metabolické cykly rostlin, C3, C4, CAM, fixace oxidu uhličitého, větrání budov, filtrace vzduchu.

**Abstract:**

The paper deals with the common types of pollutants in the internal environment of the administrative buildings, their impact on human health and the possibilities of their partial or complete elimination. The aim of this paper was to compare the individual methods of pollutants elimination in the indoor environment, determination of the principles of proper operation of buildings and modeling examples of suitably and inappropriate solution of internal buildings environment. Based on the comparison of various ways of elimination it has been found that ventilation of the internal environment of ambient air appears to be sufficient if the external air does not exhibit elevated concentrations of pollutants. In case of heavily soiled exterior air must be used active carbon filters or an equivalent in the ventilation system. A big amount of eliminated pollutants in the internal buildings environment by using plants in comparison with ventilation are negligible. Compared to the ventilation, plants exhibit the ability to absorb carbon dioxide from the indoor air, the placement of plants with a suitable metabolic cycle into the internal environment is therefore preferred.

**Keywords:**

Pollutants, VOC, volatile organic compounds, pollutants elimination, health harmless of indoor environment, plant metabolic cycles, C3, C4, CAM, carbon dioxide fixation, building ventilation, air filtration.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1. POLUTANTY OBECNĚ.....</b>	<b>10</b>
1.1 VYMEZENÍ POJMU POLUTANTY .....	10
1.2 BĚŽNĚ SLEDOVANÉ POLUTANTY.....	10
<b>2. DŮLEŽITOST ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>12</b>
2.1 ZDRAVOTNÍ POHODA .....	12
2.2 ZDRAVOTNÍ PROBLÉMY Z PŮSOBENÍ POLUTANTŮ .....	13
2.3 SYNDROM NEMOCNÝCH BUDOV.....	15
<b>3. SLEDOVANÉ POLUTANTY.....</b>	<b>16</b>
3.1 ZÁKLADNÍ VÝČET POLUTANTŮ .....	16
3.2 POLUTANTY SE ZDROJEM VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ .....	17
3.2.1 <i>Těžké organické látky (VOC)</i> .....	17
3.2.2 <i>Ozón (O<sub>3</sub>)</i> .....	17
3.2.3 <i>Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)</i> .....	18
<b>4. ZDROJE POLUTANTŮ – VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ .....</b>	<b>19</b>
4.1 ZDROJE V MATERIÁLECH .....	19
4.2 REKONSTRUKCE A ÚPRAVY .....	20
4.3 PRODUKCE BĚŽNÉHO PROVOZU .....	20
<b>5. ZDROJE POLUTANTŮ – VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>26</b>
5.1 OBECNĚ.....	26
<b>6. ELIMINACE POLUTANTŮ VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>28</b>
6.1 PŘÍSTUPY K PROBLEMATICE .....	28
6.2 AKTIVNÍ PŘÍSTUP.....	28
6.3 PASIVNÍ PŘÍSTUP.....	30
6.3.1 <i>Výměna vzduchu</i> .....	30
6.3.2 <i>Filtrace vzduchu</i> .....	31
6.3.3 <i>Eliminace pomocí rostlin</i> .....	32
6.3.4 <i>Ionizace vzduchu</i> .....	33
6.3.5 <i>Další způsoby</i> .....	33

<b>7. SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ ELIMINACE POLUTANTŮ.....</b>	<b>34</b>
7.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY .....	34
7.2 ELIMINACE POMOCÍ VÝMĚNY VZDUCHU .....	38
7.3 ELIMINACE POMOCÍ FILTRACE VZDUCHU .....	41
7.4 ELIMINACE POMOCÍ ROSTLIN .....	46
7.5 SROVNÁNÍ EFEKTIVITY JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ.....	51
7.6 VÝSLEDNÁ REKAPITULACE .....	59
<b>8. STANOVENÍ ZÁSAD SPRÁVNÉHO PROVOZU STAVEB .....</b>	<b>61</b>
8.1 ZÁSADY NA ZÁKLADĚ SROVNÁNÍ ZPŮSOBŮ ELIMINACE POLUTANTŮ .....	61
8.1.1 <i>Politika eliminace polutantů ve vnitřním prostředí budov</i> .....	61
8.2 TRVALÉ SNIŽOVÁNÍ VÝSKYTU POLUTANTŮ – DALŠÍ POLITIKY .....	62
8.2.1 <i>Politika trvale udržitelného zásobování</i> .....	63
8.2.2 <i>Politika řízení potenciálních zdrojů polutantů</i> .....	64
8.2.3 <i>Politika podávání stížností</i> .....	64
8.2.4 <i>Politika rekonstrukcí a oprav</i> .....	65
8.2.5 <i>Politika inovací</i> .....	65
8.2.6 <i>Omezení užívání nebezpečných látek</i> .....	66
<b>9. VZOROVÉ MODELACE VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>67</b>
9.1 VZOROVÝ PROSTOR .....	67
9.2 KONCEPT VHODNĚ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	67
9.2 KONCEPT NEVHODNĚ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ .....	69
<b>10. DALŠÍ MOŽNOSTI VÝZKUMU .....</b>	<b>71</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>77</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>79</b>
<b>SEZNAM SCHÉMAT .....</b>	<b>80</b>



## ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou polutantů ve vnitřním prostředí budov. Má za úkol určit běžně se vyskytující polutanty, stanovit jejich vliv na lidské zdraví a pojednává o způsobech jejich eliminace. Práce dále srovnává efektivitu jednotlivých způsobů eliminace, na základě kterých se pokusí stanovit základní zásady správného provozu staveb.

Řešená problematika nabývá významu v posledních letech, kdy je u mnoha novostaveb ustupováno od systému přirozeného větrání a hodnoty vyměněného vzduchu jsou závislé především na nastavení systému vzduchotechniky dle normových požadavků. Zatímco u starších budov bylo přirozené větrání běžné a v případě potřeby výměny vzduchu nebyl problém otevřít okno, v současné době celkově vyvětrat vnitřní prostor už nemusí být tak snadné. V případě nesprávného návrhu či nesprávného zregulování systému vzduchotechniky vzniká riziko, že se ve vnitřním prostředí začnou polutanty postupně kumulovat.

Tyto znečišťující látky je nutné řešit z důvodu jejich potenciálního negativního vlivu na lidské zdraví. Mnoho lidí tráví většinu svého času v budovách, ať už doma nebo v práci, a proto je důležité, aby zdravotní nezávadnost vnitřního prostředí staveb byla sledována. Obecně lze zdravotní nezávadnost vnitřního prostředí ovlivnit vícero aspekty, výskyt polutantů je jeden z nich.

Je známo, že polutanty z vnitřního prostředí je možné redukovat větráním, filtrací s aktivním uhlíkem a částečně rostlinami. Účinnost jednotlivých způsobů bude vzájemně porovnána a vyhodnocena.

# 1. Polutanty obecně

## 1.1 Vymezení pojmu polutanty

Pojem polutanty vychází z anglického výrazu *pollutants*, který v přímém překladu znamená znečišťující látky. Výraz polutant není v dnešní době ve střední Evropě ještě příliš užívaný a často nebývá správně pochopen význam tohoto slova. Proto je nutné tento pojem přesně vymežit definicí – za polutant je považována plynná, tekutá či pevná látka, která má v určitých koncentracích a délce působení škodlivý vliv na živé organizmy. [1]

Obecně lze polutanty dělit na primární a sekundární. Pojmem primární polutanty se rozumí látky, které jsou do atmosféry vypouštěny přímo různými zdroji, zatímco sekundární polutanty jsou látky, které se v atmosféře vytváří sekundárně reakcí polutantů primárních. Z hlediska chemikálií lze polutanty dále dělit na organické a anorganické.

## 1.2 Běžně sledované polutanty

Vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá především běžně se vyskytujícími polutanty ve vnitřním prostředí administrativních budov, případně budov určených k ubytovací funkci, bude nutné řešit především polutanty obsažené v ovzduší vnitřního prostředí. Za běžného provozu budovy je uvažováno, že se v ovzduší vnitřního prostředí mohou nacházet především znečišťující látky plynného charakteru, chemikálie, a dále pevné částice obsažené v plynech.

Mezi sledované látky plynného charakteru se řadí především oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, uhlovodíky a ozon. Tuhými emisemi je rozuměn především prach a popílek. Tyto zmíněné látky plynného charakteru a tuhé emise mají původ povětšinou ve vnějším prostředí a v běžném vnitřním prostředí budov není mnoho zdrojů, které by je produkovalo, s výjimkou prachu, který se vyskytuje z důvodu běžné lidské činnosti téměř všude, a oxidu uhličitého, který je produkován dýcháním osob vyskytujících se ve vnitřním prostředí. Z toho důvodu musí být z hlediska vnitřního prostředí sledován především jejich výskyt, nikoliv však vznik.

Majoritně řešené látky ve vnitřním prostředí by měly být chemikálie, mezi které se pro sledování vnitřního prostředí řadí především těžké organické sloučeniny

(volatile organic compounds – VOC). Tyto látky mají původ často uvnitř řešených budov. Mezi další skupinu chemikálií patří polycyklické aromatické uhlovodíky (polyaromatic hydrocarbon – PAU/PAH), dioxiny, polychlorované bifenyly (PCB), ty však vznikají převážně ve vnějším prostředí nekvalitním spalováním organických látek.

Tato práce sleduje především polutanty vznikající ve vnitřním prostředí budov, polutanty z vnějšího prostředí jsou řešeny pouze z hlediska možnosti jejich nasání do vnitřního prostředí systémem vzduchotechniky případně přirozeným větráním.

## 2. Důležitost řešené problematiky

### 2.1 Zdravotní pohoda

Předpokladem každé budovy určené pro užívání osob by mělo být zdravotně nezávadné vnitřní prostředí. Důvod je jednoduchý – většina lidí tráví většinu svého času právě uvnitř budovy, ať už z důvodu práce či odpočinku. Z tohoto důvodu je důležité řešit zdravotní pohodu daného prostoru. Je logické, že pokud bude osoba v interiéru dlouhodobě vystavována negativním vlivům, jako jsou například toxické látky či nepříjemné pachy obsažené ve vzduchu, bude sledovaná osoba v lepším případě pouze znepokojena, v horším případě dojde k negativnímu projevení působení těchto vlivů na lidské zdraví.

Pro správné nastavení vnitřního prostředí se rozlišují především následující aspekty mikroklimatu: tepelně-vlhkostní, oděrové, toxické, aerosolové, mikrobiální, ionizační, elektrostatické, elektromagnetické, elektroiontové, akustické a psychické. [2] Každý z těchto aspektů má vliv na lidské zdraví. Zatímco některé aspekty je možné krátkodobě osobou překonat bez újmy na zdraví (například netoxický zápach nejasného původu), jiné aspekty mohou mít vliv na lidské zdraví i po krátkodobé expozici (například akutní otrava toxickou látkou obsaženou ve vzduchu).

Vliv jednotlivých aspektů z krátkodobého hlediska je však poměrně nahodilý a nelze jej tak efektivně potlačit. Nicméně v současné době je mnoho budov, které vnitřní prostředí příliš neřeší, či jej dokonce neřeší vůbec, a právě zde je zvýšené riziko, že zde mohou působit na lidské zdraví toxické látky, a i když jsou v nízké koncentraci, z dlouhodobého hlediska působení mohou mít na lidské zdraví negativní dopady. To se může po určitém čase projevit častější ztrátou koncentrace sledované osoby, zvýšenou nemocností, a v případech dlouhodobého působení karcinogenních látek může vést k nádorovým onemocněním.

Důležité také je, jak se osoba v daném prostředí cítí. To může být značně subjektivní, ale je pravděpodobné, že v místě bez pachů, bez silných zdrojů hluku a se značně eliminovaným množstvím toxinů se bude konečný uživatel cítit o poznání lépe než v prostředí s inverzní situací. Úroveň výskytu polutantů ve vnitřním prostředí staveb sleduje de facto úroveň výskytu toxických – škodlivých látek.

Mezi hlavními, ne-li nejdůležitějšími, prioritami každé zdravé a zdravě uvažující osoby by mělo být udržování svého zdraví ve výborné, bezproblémové kondici. Dle světové zdravotnické organizace je zdraví stav duševní, fyzické a sociální pohody. [2] Pokud tedy budou polutanty, které mají přímý vliv na lidské zdraví, ve vnitřním prostředí budov ignorovány, bude to mít za následek negativní ovlivnění jedné z hlavních lidských priorit.

## **2.2 Zdravotní problémy z působení polutantů**

Polutanty je důležité sledovat především z hlediska zdravotní nezávadnosti vnitřního prostředí pro konečného uživatele budovy. Výskyt osoby v prostředí obsahující škodlivé látky může mít na osobu pobývající v daném prostředí různé zdravotní dopady. Dopady na lidské zdraví z důvodu výskytu v polutanty zamořeném prostředí jsou rozdílné v závislosti na době pobytu ve škodlivém prostředí, na koncentraci škodlivin a také na schopnosti přirozené obranyschopnosti (imunity) dané osoby. Obecně lze říci, že vůči škodlivinám jsou náchylnější osoby s oslabenou nebo ještě plně nevyvinutou imunitou – tedy osoby staršího věku, osoby dlouhodobě či krátkodobě nemocné, osoby se zvýšenou reakcí na škodliviny (astmatici, alergici), a děti.

Vliv jednotlivých polutantů na lidské zdraví se liší v závislosti na konkrétní látce. Potenciální zdravotní komplikace se zdravím u výše zmíněných polutantů plynného charakteru jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. 1 – Obecný výběr polutantů a jejich vliv na lidské zdraví

Látka	Značka	Potenciální zdravotní komplikace
Oxid siřičitý	SO <sub>2</sub>	Dráždí sliznice dýchacích cest, může vést k zánětům dýchacích cest a astmatu.
Oxidy dusíku	NO <sub>x</sub>	Dráždí sliznice dýchacích cest.
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	Nebyl prokázán vliv na lidské zdraví, může mít vliv na jiné organizmy.
Oxid uhelnatý	CO	Brání správnému přenosu kyslíku krví.
Uhlovodíky	HC	Některé skupiny mohou dráždit sliznice, některé skupiny mohou být karcinogenní.
Ozon	O <sub>3</sub>	Může nastat celková nevolnost, pálení očí, nosu, krku, snížení plicních funkcí.
Freon	-	Mohou dráždit sliznice, může být ovlivněna centrální nervová soustava.
Prach	-	Mohou vést k chorobám dýchacích cest, kardiovaskulárním onemocněním.
Polychlorované bifenyly	PCB	Negativně ovlivňují mozek, oči, srdce, imunitní systém, játra, ledviny, reprodukční systém a štítnou žlázu.
Těkavé organické sloučeniny	VOC	Některé látky mohou mít karcinogenní vlastnosti, negativní vliv na nervový systém, dýchací cesty, játra a celkovou imunitu.
Polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	Mutagenní a karcinogenní vlastnosti.
Dioxiny	-	Karcinogenní vlastnosti.
Pozn. 1		V případě vzájemného působení látek, mohou být dopady na lidské zdraví stupňovány.

Zdroj: Vlastní souhrn dle informací Státního zdravotního ústavu

V tabulce 1 jsou uvedeny typicky řešené polutanty dnešní doby v životním prostředí. Je nutné zmínit, že v případě výskytu některých z výše uvedených látek v extrémním množství může nastat i smrt osoby – takový případ ovšem v běžném pracovním prostředí administrativní budovy není pravděpodobný a pokud by už nastal, byl by pravděpodobně zcela nahodilý.

Polutanty typické pro vnitřní prostředí budov (pokud jsou vynechány prostředí těžkých provozů, hutnictví, a podobně) jsou především těkavé organické látky (VOC), oxid

uhličitý a případně prach. Všechny další látky mohou být přítomny ve vnitřním prostředí především z důvodu větrání, přičemž vzduch přicházející do budovy tyto látky obsahuje, případně z důvodu prováděné rekonstrukce v daném prostředí a užívání materiálů a zařízení, které tyto látky produkují.

### **2.3 Syndrom nemocných budov**

Syndrom nemocných budov či syndrom nezdravých budov je jev, kdy si jednotlivé osoby mohou z důvodu nevhodného pobytového či pracovního prostředí v budově přivodit jedno či více zdravotních onemocnění. To může být zapříčiněno například nevhodným větráním, neznalostí či nemožností regulovat intenzitu vytápění či chlazení, nebo z důvodu špatného nastavení jednotlivých aspektů uvedených výše v kapitole 2.1. Riziko přivodění zdravotních komplikací z nevhodného prostředí narůstá se zvyšujícím se množstvím nevyhovujících kritérií.

Pokud je vnitřní prostředí hygienicky nevyhovující mohou uživatelé tohoto prostředí na sobě již po krátké době pozorovat příznaky podobné s příznaky nachlazení či bolesti hlavy. Je zajímavé, že syndrom nemocných budov se objevuje převážně u moderních budov, méně často u budov starších. [2]

Snahou eliminovat alespoň část polutantů ve vnitřním prostředí budov se snižuje i riziko, že si jednotliví uživatelé přivodí z důvodu dlouhodobého užívání vnitřních prostor zdravotní komplikace. Proto je důležité, aby jednotliví provozovatelé staveb či vnitřních prostor, zaváděli potřebná opatření vedoucí k částečné či úplné eliminaci polutantů a dbali na dodržování těchto opatření.

Cílem je vytvořit zdravotně nezávadné, ideálně zdravotně prospěšné, prostředí pro konečného uživatele budovy a eliminovat tak zdravotní rizika spjatá se syndromem nemocných budov.

### 3. Sledované polutanty

#### 3.1 Základní výčet polutantů

Pro různá prostředí bývá typický výskyt či vznik různých polutantů. Poblíž frekventovaných silnic a v blízkosti průmyslových oblastí bude typický výskyt polutantů vznikajících spalovacím procesem. Naopak vznik takovýchto polutantů ve vnitřním prostředí – např. v administrativní budově nebo v bytě bude poměrně vzácný – za předpokladu, že v tomto prostoru trvale či pravidelně neprobíhají spalovací procesy bez vyústění spalin mimo vnitřní prostředí. Vznik jednotlivých polutantů není ovšem vyloučen v žádném prostředí – ani ve vnitřním ani ve vnějším, respektive různé polutanty mohou vznikat v různých prostředích za předpokladu příhodných podmínek. Vznik závisí na zdrojích škodlivin a dalších okolnostech jako je teplota prostředí, vlhkost, či intenzita slunečního záření.

Protože mnoho budov se nachází v městských a znečištěných lokalitách, které bývají dlouhodobě zamořeny polutanty, je pravděpodobné, že se z vnějšího prostředí zamořené lokality dostanou vybrané polutanty i do prostředí vnitřního, a to díky ventilaci objektu. Bude se tedy jednat pravděpodobně především o oxid siřičitý, oxidy dusíku, různé uhlovodíky, prachové částice a polychrolované bifenyly. Z důvodu předpokladu, že dioxiny se do organismu člověka dostanou z 95 % - 99 % v potravinách, do kterých se dioxiny dostávají především z půdy, vody, či vzduchu, nebude kontaminace dioxidy ze vzduchu v této práci dále řešena. [3] Protože se tato práce zabývá polutanty ve vnitřním prostředí budov, budou polutanty typické ve vnějším prostředí řešeny pouze okrajově, protože jejich vznik ve vnitřním prostředí je za běžného provozu je poměrně vzácný.

Typické polutanty jejichž zdroj se nachází ve vnitřním prostředí jsou některé látky ze skupiny těkavých organických látek – VOC, oxid uhličitý, občas je možné se setkat i s ozónem, který se ve vnitřním prostředí může vyskytnout například z důvodu používání kopírovacích strojů a laserových tiskáren, nebo z důvodu fotochemické reakce oxidů dusíku s VOC (v interiéru vzácně). [4] V případě, že se v prostředí kouří nebo používají vonné tyčinky či svíčky, mohou se objevit i polycyklické aromatické uhlovodíky – PAU.



## **3.2 Polutanty se zdrojem ve vnitřním prostředí**

### **3.2.1 Těkavé organické látky (VOC)**

Jedná se o sloučeniny schopné tvořit fotochemické oxidanty reakcí s oxidy dusíku, za přítomnosti slunečního záření. Jak je uvedeno v tabulce 1, některé látky z této skupiny mohou mít na lidský organizmus karcinogenní účinky.

Ve vnitřním prostředí může být detekováno i přes 300 různých látek ze skupiny VOC a zatímco některé mohou být při vyšších koncentracích detekovány lidským čichem, jiné bez příslušné detekční techniky nemusí osoba rozeznat. [5]

Dle světové zdravotnické organizace je za těkavou organickou látku jakákoliv sloučenina s bodem varu od 50-100 °C do 240-260 °C, to odpovídá tlaku saturačních par 100 kPa při 25 °C. [6] Z této specifikace vyplývá, že se jedná o široce zastoupenou skupinu jednotlivými látkami. Do skupiny VOC je možné zařadit některé alkany, alkeny, alkoholy (a jejich kombinace), karbonolové sloučeniny, organické kyseliny a estery. Dále lze ještě látky dělit na VVOC – velmi těkavé organické látky s bodem varu od teploty 0 °C (a nižší) v rozmezí do 50-100 °C, a SVOC – semi těkavé organické látky s bodem varu od 240-260 °C do 380-400 °C. Mezi VVOC lze zařadit například propan a butan, do skupiny SVOC například některé pesticidy. [29]

### **3.2.2 Ozón (O<sub>3</sub>)**

Ozón vzniká buď fotolýzou, kdy sluneční záření (UV) podněcuje reakci oxidu dusičitého s kyslíkem nebo v případě vysokonapěťového elektrického výboje. V případě 1 – tedy vznik ozónu za pomoci UV záření, za předpokladu, že nejsou do procesu vzniku ozónu zahrnuty další látky, probíhá povětšinou tzv. rovnovážný stav, kdy je rychlost vzniku ozónu obdobná jako rychlost zániku, jedná se o běžný přírodní jev. Pokud je ovšem u vzniku ozónu i přítomnost VOC, nastává stav, kdy se objevuje ozón ve zvýšeném množství (nastává jeho kumulace) a zároveň je podněcován vznik nebezpečných radikálů jako produktů reakcí s látkami ze skupiny VOC. [4]

### **3.2.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)**

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou další skupina polutantů, nicméně patří mezi méně běžné polutanty vyskytující se ve vnitřním prostředí. Tyto polutanty vznikají především spalováním většiny látek. Hlavním problémem této skupiny je, že se řadí mezi persistentní organické polutanty – tedy mají velkou schopnost setrvat v daném prostředí beze změny, jsou odolné vůči chemickému, fotochemickému, termickému i biochemickému rozkladu, z toho důvodu se mohou tyto látky dlouhodobě usazovat v živých organismech a trvale škodit. [7]

## **4. Zdroje polutantů – vnitřní prostředí**

### **4.1 Zdroje v materiálech**

Výskyt VOC ve vnitřním prostředí je často způsoben nevhodně zvolenými použitými materiály v budově. Potenciálním zdrojem může být každý užitý předmět či část interiéru, v závislosti na použitém materiálu ve výrobním procesu daného předmětu. Musí být sledovány materiály pro výrobu podlahové krytiny, podhledů, příček a stěn, a vnitřního vybavení – nábytek a zařizovací předměty. Především záleží na zvoleném materiálu použitém k výrobě daného předmětu a na době, která uplynula od výroby. Pověšinou platí, že čím déle je předmět větrán, tím méně škodlivin se z něj vypařuje (zdroj škodlivin je omezen).

Riziko zvýšeného výskytu polutantů nastává tehdy, pokud je použit k výrobě daného prvku interiéru potenciálně zdravotně závadný materiál. Jedná se například o nábytek, který byl vyroben s užitím lepidla, jež je zdrojem polutantů, při výrobním procesu (např. nábytek z lepeného konstrukčního dřeva, dřevotřískas, OSB), podlahové krytiny z PVC (mohou obsahovat ftaláty, VOC), nekvalitní koberce, plastové prvky obsahující ftaláty, a jiné výše zmíněné škodliviny. Dále bývají VOC často zastoupeny v nátěrových hmotách, ředidlech, čistících prostředcích. Je nutné zmínit, že výrobci jednotlivých materiálů již problematiku polutantů berou na vědomí a přichází s inovativními řešeními, které vedou k výrobě materiálů, které nejsou zdravotně závadné, či je jejich závadnost značně redukována.

S ohledem na míru škodlivosti jednotlivých látek lidskému zdraví a černosti jejich výskytu byly určeny jednotlivé látky, které je nutné primárně sledovat. Důvod výskytu těchto látek ve vnitřním prostředí je používání konstrukčních materiálů jako jsou lepené konstrukční dřevo, překližka, lepidla, laminátová podlaha, barvy a laky. Tyto látky jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 2 – Sledované látky se zdrojem v konstrukčních materiálech

Látka	Vliv na zdraví
Formaldehyd	Může dráždit sliznice, vyvolat alergie, astma. Klasifikován jako karcinogen sk. 1.
Benzen	Může způsobovat leukemii, anémii. Klasifikován jako karcinogen sk. 1.
Toluen	Může dráždit sliznice, navozovat pocitu dezorientace. Mutagenní či karcinogenní účinky nebyly prokázány.
Ethylbenzen	Může dráždit sliznice, ovlivňovat funkce mozku, poškozovat kůži. Klasifikován jako karcinogen sk. 2b.
Xylen	Může dráždit sliznice, má negativní vliv na funkci nervového systému. Klasifikován jako karcinogen sk. 3.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [8] [12]

## 4.2 Rekonstrukce a úpravy

Na zdroje v materiálech přímo navazují zdroje polutantů během rekonstrukcí a případných úprav vnitřních prostor. Zde hrozí zamoření vnitřního prostředí polutanty ze skupin PAU i VOC.

VOC se při rekonstrukcích může do vnitřního prostoru dostat současně s dodávaným materiálem (jak je zmíněno v odstavci 4.1) nebo formou prováděné činnosti – svařování, spalování materiálů, případně kouření. Při takové činnosti mohou současně vznikat látky ze skupiny PAU.

V době rekonstrukcí a stavebních úprav vnitřního prostředí dochází k maximální kumulaci polutantů – vznikají a vnášejí se VOC, prachové částice, může vznikat ozón, dioxiny v případě práce s ropnými deriváty. Ze skupiny PAU mohou být zastoupeny různé látky v závislosti na spalovacím procesu.

## 4.3 Produkce běžného provozu

Mnoho polutantů může vznikat při běžném provozu vnitřního prostředí, bez toho, aniž by byl do budovy vnášen další materiál. Tyto polutanty jsou do vnitřního prostředí zanášeny z důvodu běžné lidské činnosti. Mezi takové činnosti patří především kouření tabákových výrobků, tisk pomocí kopírovacích strojů, nadměrné používání syntetických deodorantů, parfémů a vonných interiérových produktů, používání

nevhodných čisticích prostředků, skladování chemikálií či běžné používání drogistických produktů.

Běžné čisticí prostředky používané ve vnitřním prostředí uvolňují přibližně 15 různých těkavých organických sloučenin, které jsou pro tyto prostředky typické. Mezi dominantní chemikálie, které je nutné z hlediska vlivu na lidské zdraví sledovat se řadí etanol, aceton a acetaldehyd. [9]

Další skupinou jsou vonné či aromatizované produkty. Tyto produkty obsahují terpeny. Mezi vybrané časté zástupce zde patří například -  $\alpha$ -pinen či limonen. [9]

Sledované polutanty se zdrojem v čisticích prostředcích nebo v aromatizovaných produktech jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 – Sledované polutanty vylučované z čisticích a aromatizovaných produktů

Látka	Vliv na zdraví
Etanol	Může negativně působit na vnitřní orgány, může oslabovat imunitu.
Aceton	Může dráždit sliznice, poškodit kůži, způsobovat ospalost.
Acetaldehyd	Může dráždit kůži, sliznice. Karcinogen skupiny 1.
$\alpha$ -pinen	Může dráždit kůži, sliznice, způsobovat alergické reakce.
Limonen	Může dráždit kůži, sliznice, způsobovat alergické reakce.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [9] [12]

Tiskárny a kopírovací stroje mohou být významnými zdroji polutantů. Množství vypouštěných polutantů během tiskového procesu závisí především na typu zařízení. U starších zařízení, které nebyly na vypouštění škodlivin jednotlivými výrobci zkoumány je pravděpodobnost, že budou vypouštět více škodlivin, vyšší, nežli je tomu u tiskáren novějších, u kterých byl při jejich návrhu stav produkce polutantů sledován. Není ovšem pravidlem, že novější tiskárna produkuje při svém provozu méně polutantů. Z hlediska škodlivých látek lidskému zdraví, které se vyskytují ve vyšší koncentraci při provozu kopírovacích zařízení a tiskáren, jsou především látky zaznamenané v tabulce 4. [10]

Tab. 4 – Typické polutanty vylučované z tiskáren a kopírovacích zařízení při jejich provozu

Látka	Vliv na zdraví
Benzen	Může způsobovat leukemii, anémii. Klasifikován jako karcinogen sk. 1.
Toluen	Může dráždit sliznice, navozovat pocity dezorientace. Mutagenní či karcinogenní účinky nebyly prokázány.
Etylbenzen	Může dráždit sliznice, ovlivňovat funkce mozku, poškozovat kůži. Klasifikován jako karcinogen sk. 2b.
Xylen	Může dráždit sliznice, má negativní vliv na funkci nervového systému. Klasifikován jako karcinogen sk. 3.
Trimetylbenzeny	Mohou přivodit trvalé zdravotní komplikace, dráždí sliznice, je toxický.
Trichloretylen	Může dráždit sliznice, má mutagenní a karcinogenní účinky, může navozovat pocity dezorientace.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [10] [12]

Pro přesnější specifikaci, jaké množství polutantů tiskárna vyprodukuje během své činnosti, jsou zde zmíněny i výsledky měření z jedné z několika provedených studií, kdy bylo sledováno 6 kancelářských zařízení pro tisk. [10] Sledovaná zařízení jsou specifikována v tabulce 5. Naměřené hodnoty koncentrací z provozu tiskáren jsou uvedeny v tabulkách 6, 7, 8. Zároveň byl přehled v tabulce zúžen pouze na látky sledované touto prací, tedy látky, které tato práce nesleduje byly vynechány.

Tab. 5 – Specifikace sledovaných zařízení pro tisk

Zn.	Zařízení	Typ	Rok výroby
A	Tiskárna	Laserová	1998
B	Tiskárna	Laserová	2007
C	Tiskárna	Inkoustová	2003
D	Kopírovací zařízení	Není uvedeno	2007
E	Kopírovací zařízení	Není uvedeno	2011
F	Kopírovací zařízení	Není uvedeno	2003

Zdroj: Shrnutí dle [10]

Tab. 6 – Produkce sledovaných škodlivých látek tiskárnou v přepočtu na 1 vytištěnou stránku

Sledovaná látka	Produkované množství látky na tiskárnu [ $\mu\text{g}/\text{stránku}$ ]					
	A	B	C	D	E	F
Benzen	0,04	0,10	0,20	0,24	0,38	0,83
Ethylbenzen	0,25	0,26	0,76	0,89	0,45	0,72
Styren	0,32	0,78	0,14	0,73	0,67	-
Toluen	0,24	1,12	1,34	0,17	0,17	0,13
Trichloretylen	0,07	0,06	0,08	-	-	-
Trimethylbenzeny	1,52	0,37	1,25	0,41	0,46	0,58
Xylen	1,35	0,08	1,29	0,73	0,67	0,88

Zdroj: Vlastní souhrn dle [10]

Pokud by bylo za 1 hodinu na pracovišti vytištěno 100 stránek, produkce látek by se lineárně zvýšila. Přehled je uveden v tabulce 7.

Tab. 7 – Produkce sledovaných škodlivých látek tiskárnou v přepočtu na 100 vytištěných stránek za hodinu

Sledovaná látka	Produkované množství látky na tiskárnu [ $\mu\text{g}/\text{h}/100$ stran]					
	A	B	C	D	E	F
Benzen	4	10	20	24	38	83
Ethylbenzen	25	26	76	89	45	72
Styren	32	78	14	73	67	-
Toluen	24	112	134	17	17	13
Trichloretylen	7	6	8	-	-	-
Trimethylbenzeny	152	37	125	41	46	58
Xylen	135	8	129	73	67	88

Zdroj: Vlastní kalkulace dle [10]

Tab. 8 – Produkce sledovaných škodlivých látek z tiskáren – výsledné koncentrace při provozu

Sledovaná látka	Koncentrace sledovaných škodlivin v ovzduší [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					
	A	B	C	D	E	F
Benzen	1,15	3,21	4,04	10,99	16,90	23,10
Etylbenzen	7,40	8,90	15,10	41,30	20,40	20,01
Styren	9,70	26,10	2,69	33,70	30,10	-
Toluen	7,30	37,70	26,60	7,65	7,80	3,53
Trichloroetylen	2,01	2,00	1,49	-	-	-
Trimethylbenzen	45,60	12,50	24,90	18,80	20,78	16,10
Xylen	40,50	2,72	25,60	34,00	29,90	24,50

Zdroj: Vlastní souhrn dle [10]

Dalším typickým zdrojem polutantů je kouření (tabákové výrobky). V případě, že se ve vnitřním prostředí kouří nebo se cigaretový kouř do vnitřního prostředí dostane jinou cestou, objeví se kromě toxických plynů (oxidy dusíku, amoniak, kyanovodík, ethylenoxid) i látky charakteristické pro skupinu PAU a VOC. PAU zastupuje především látka benzo(a)pyren, VOC poté již výše zmíněné – benzen, toluen, formaldehyd, a další – isopren, styren či butadien. Škodlivé látky z cigaretového kouře (vyjma látek, které již byly uvedeny v předešlých odstavcích) specifikuje tabulka č. 9.

Tab. 9 – Polutanty z cigaretového kouře, bez látek, které již byly uvedeny

Látka	Vliv na zdraví
Benzo(a)pyren	Má silné karcinogenní a mutagenní účinky. Může vyvolat alergické reakce.
Isopren	Má silné karcinogenní a mutagenní účinky.
Styren	Může poškodit kůži, dráždit oči, při dlouhodobé expozici může poškodit. Karcinogen skupiny 2B.
Butadien	Má karcinogenní a mutagenní účinky. Karcinogen skupiny 2A.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [11] [12]

V odstavcích výše jsou uvedeny především látky, které jsou nejčastěji zaznamenány ve vnitřním prostředí [11] a jsou lidskému zdraví značně škodlivé. Látky, které jsou ve vnitřním prostředí zastoupeny v menší míře nebo nejsou zdraví příliš škodlivé nejsou dále řešeny. Pro upřesnění kategorizace jednotlivých karcinogenů dle



Mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny [12] je zde vyobrazena tabulka 10, která jednotlivé skupiny blíže specifikuje.

*Tab. 10 – Specifikace kategorií karcinogenů pro člověka*

Skupina	Specifikace skupiny
1	Prokázaný karcinogen pro člověka.
2A	Pravděpodobně karcinogenní pro člověka.
2B	Podezřelý karcinogen pro člověka.
3	Neklasifikovaný.
4	Pravděpodobně není karcinogenní pro člověka.

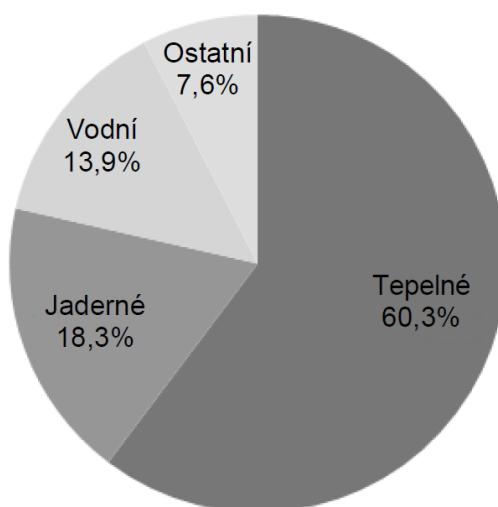
*Zdroj: IARC [12]*

## 5. Zdroje polutantů – vnější prostředí

### 5.1 Obecně

Kromě polutantů se zdroji ve vnitřním prostředí, existuje celá řada zdrojů v prostředí vnějším – tedy převážně v okolí budovy. Většina budov, obzvláště administrativních, se nachází poblíž více či méně frekventovaných ulic s městským provozem. Mnoho dnes užívaných automobilů a dopravních prostředků využívá k pohonu spalovací motory – spalováním pohonných hmot (benzín, nafta, CNG, LPG) jsou do ovzduší vypouštěny škodliviny. Dopravní prostředky, které jezdí na elektřinu řeší problematiku zamořování vnějšího prostředí polutanty pouze lokálně – a to v místě pohybu takového dopravního prostředku, protože elektrickou energii, kterou jsou dané prostředky poháněny, je nutné vyrobit v elektrárnách. Dle statistických údajů bylo v roce 2015 v zemích OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) vyrobeno 60,3 % elektrické energie v tepelných elektrárnách, 18,3 % v jaderných, 13,9 % ve vodních a 7,6 % v ostatních elektrárnách. [28] Struktura výroby elektřiny v zemích OECD v roce 2015 je zobrazena v grafu 1. Pokud by byly jaderné, vodní a ostatní elektrárny považovány za ekologické, stále je více než 60 % produkce elektrické energie vyráběno v tepelných elektrárnách, které k výrobě elektrické energie využívají spalovacích procesů. Množství vypouštěných polutantů může být odlišné v závislosti na použitých filtrovacích zařízeních, nicméně stále budou polutanty nadále produkovány a vypouštěny do ovzduší.

Graf 1 – Struktura světové výroby elektřiny v zemích OECD v roce 2015



Zdroj: ČEZ – Energetika ve světě [13]

Polutanty bývají dále produkovány velkými průmyslovými celky – chemické závody, hutě, těžařské závody a podobně. Opět je nutné uvažovat, že i přes velké snížení produkce polutantů pomocí filtrace, jsou polutanty nadále vypouštěny do ovzduší.

Obecně lze konstatovat, že v městských lokalitách je vzduch často zamořen polutanty ze všech skupiny – prachové částice, popílký, toxické plyny, látky ze skupin VOC, PAU, dioxiny a další zde nezminěné. Úroveň výskytu polutantů se snaží sledovat a regulovat příslušné státní orgány. Předpokladem provozovatelů jednotlivých budov je nemožnost více či méně ovlivňovat stav a kvalitu vnějšího ovzduší.

Tyto látky se do objektu mohou dostat především díky ventilačním procesům budovy, a to buď nuceným větráním (systém vzduchotechniky) nebo přirozeným větráním (otevření oken).

Protože se tato práce zabývá převážně vnitřním prostředím budov a snaží se sledovat především polutanty se zdroji ve vnitřním prostředí, je informace o výskytu polutantů ve vnějším prostředí pouze informativního charakteru a bude sloužit jako další podklad, na základě kterého se tato práce pokusí nalézt řešení i pro eliminaci polutantů z vnějšího prostředí v rámci daného objektu.

## **6. Eliminace polutantů ve vnitřním prostředí**

### **6.1 Přístupy k problematice**

Polutanty ve vnitřním prostředí lze eliminovat v zásadě dvěma způsoby. Prvním a ideálním řešením je zamezení výskytu zdrojů polutantů ve vnitřním prostředí. V takovém případě by bylo zamezeno vzniku polutantů ve vnitřním prostředí a problém znečištění by se nemusel řešit. Druhý způsob je následná redukce již se vyskytujících polutantů ve vnitřním prostředí. Tento způsob již pouze řeší výskyt polutantů uvnitř budovy.

Dělení procesu snižování výskytu polutantů lze tedy rozdělit na aktivní přístup, kdy je zamezeno škodlivinám vniku do vnitřního prostředí, a pasivní přístup, kdy prostředí škodlivé látky již obsahuje a je těchto látek zbavováno. Předpokladem je, že ani jeden ze zmíněných způsobů nedokáže při běžném provozu sledované prostředí zcela zbavit polutantů, nicméně kombinací či aplikací jednotlivých způsobů by mělo být zajištěno výrazné snížení koncentrací škodlivin ve vnitřním prostředí.

Výše zmíněné rozdělení na aktivní a pasivní přístup zůstává především v teoretické rovině. V reálné situaci – při běžném provozu staveb, správa budovy jen stěží dokáže zcela zamezit vniku zdrojů polutantů do vnitřního prostředí. Může to být způsobeno lidským faktorem, kdy se například údržba objektu nebude chtít řídit nařízením správy objektu, načež zodpovědní pracovníci správy objektu budou toto ignorovat. Nicméně jak je uvedeno výše, cílem by mělo být především trvalé snižování koncentrací škodlivin ve vnitřním prostředí – tedy opatření vedoucí ke snižování výskytu polutantů ve vnitřním prostředí má význam.

### **6.2 Aktivní přístup**

Aktivní přístup je založen na preventivních opatřeních správy budovy. Jedná se o taková opatření, která zamezí vniku zdrojů škodlivin do vnitřního prostředí. Především se jedná o zamezení dodávky vnitřního vybavení, který je z materiálů produkujícího během svého životního cyklu polutanty ve vnitřním prostředí, dále zamezení užívání zařízení, které produkuje polutanty.

Vnitřní vybavení – tedy především podlahové krytiny, nábytek, materiály používané na tvorbu podhledu, obklady či další estetické prvky, by neměly být z materiálu,

kteře jsou potenciálním zdrojem polutantů. V dnešní době existuje mnoho certifikátů, kteře řeší právě používaný materiál na výrobu vnitřního vybavení. Takové certifikáty sledují především zatížení životního prostředí, ať už při výrobě, užívání, či recyklaci sledovaného výrobku. Některé certifikáty mohou sledovat dopad na životní prostředí především při výrobním procesu, některé sledují například především celkovou uhlíkovou stopu během životního cyklu produktu. Pro eliminaci polutantů ve vnitřním prostředí by měly být sledovány především certifikáty zabývající se zatížením životního prostředí během užívání sledovaného vybavení, tedy proces užívání by měl být upřednostněn před procesem výrobním a recyklačním.

Ve střední Evropě se lze v posledních letech setkat s certifikáty, podle kterých by mělo být možné vybírat vybavení do vnitřního prostředí, které by mělo být minimálně redukováným zdrojem škodlivin. Tyto běžně užívané certifikáty jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 – Přehled běžně používaných certifikátů v ČR

Certifikát	Značka certifikátu
<p><b>ČR – Ekologicky šetrný výrobek</b>  <i>Národní označení produktů s nižším negativním dopadem na životní prostředí během jejich celého životního cyklu (těžba surovin, výroba a použití výrobku, konečné odstranění v podobě odpadu).</i></p>	
<p><b>EU – Ecolabel (The Flower)</b>  <i>Evropské označení produktů s nižším negativním dopadem na životní prostředí během jejich celého životního cyklu (těžba surovin, výroba a použití výrobku, konečné odstranění v podobě odpadu).</i></p>	
<p><b>SRN – Der blaue Engel</b>  <i>Certifikace neoznačuje celý produkt, ale pouze některé jeho vlastnosti.</i></p>	

Zdroj: Vlastní souhrn

## 6.3 Pasivní přístup

Pokud je již prostředí polutanty zamořeno, je nutné eliminovat polutanty v ovzduší dalšími způsoby. Možnosti eliminace mohou být následující [2]:

1. Dostatečnou výměnou vzduchu – tedy větráním
2. Filtrací vzduchu – tedy odstraňováním polutantů ze vzduchu vhodnými adsorbenty
3. Rozkladem toxických látek na netoxické – eliminace pomocí rostlin
4. Odstraňování polutantů ionizací vzduchu

### 6.3.1 Výměna vzduchu

Větrání prostoru může být prováděno dvojím způsobem – nuceným větráním (vzduchotechnika) nebo přirozeným větráním (otevření oken). Za předpokladu, že se jedná o pobytovou místnost, je dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby ve znění vyhlášky č. 20/2012 Sb. a vyhlášky č. 323/2017 Sb. nutné splnit hygienický požadavek na výměnu vzduchu, který je 25 m<sup>3</sup>/h na jednu osobu nebo je nutno splnit minimální intenzitu větrání 0,5 l/h. Tento požadavek je uvažován v případě konání práce třídy 1 – práce v sedě s minimální aktivitou.

Předpokladem výměny vzduchu je správně navržená a fungující vzduchotechnika, která by v případě správně prováděné údržby neměla být významným zdrojem polutantů. Běžný užívaný vzduchotechnický systém obsahuje hrubý a jemný filtr, kterým jsou zachyceny větší nečistoty, prachové částice, pyl, případně kouř. U běžných budov, určených k pobytu osob, se nepředpokládá s použitím filtračních vložek obsahující aktivní uhlí, které by bylo schopno zachytit i další toxické polutanty obsažené v nasávaném vzduchu, pokud zároveň není do systému implementován recirkulační vzduchovod ventilačního, vytápěcího či klimatizačního systému. [2] Problém samozřejmě nastává, pokud je vzduchotechnický systém nesprávně udržován, nicméně údržba systému vzduchotechniky přesahuje rámec zadání této práce.

Účinnost filtrace nasávaného vzduchu systémem vzduchotechniky závisí na znečištění vnějšího vzduchu u vstupu do systému, ale vždy by měl do vnitřního prostředí dorazit vzduch splňující hygienické limity. Pokud budou osoby zdržující se ve sledovaném

vnitřním prostředí větrat i přirozeně – pomocí oken, lze opět očekávat, že bude přiváděn vzduch s parametry vnějšího prostředí a opět bude záviset na umístění větracího otvoru. V případě, že se bude větrat oknem umístěným u frekventované ulice bude pravděpodobně do objektu přivedeno více polutantů, nežli by tomu bylo u větrání oknem umístěným do zahrady, kde je vzduch mírně lepší. Umístění větracích otvorů včetně umístění sání systémů vzduchotechniky řeší například certifikace BREEAM, kde je sledována vzdálenost větracího otvoru či nasávání vzduchotechniky od zdroje znečištění, povětšinou frekventované silnice. V roce 2015 byla požadovaná vzdálenost od zdroje znečištění (dopravní komunikace) dle certifikačního systému alespoň 20 metrů pro nasávání VZT a alespoň 10 metrů pro okna, která lze otevírat [13].

Obecně lze tedy předpokládat, že přiváděný vzduch do objektu díky větrání bude vykazovat přibližně shodné parametry znečištění polutanty jako vzduch vnější, s rozdílem mírného snížení koncentrace prachových částic v případě použití systému vzduchotechniky.

### **6.3.2 Filtrace vzduchu**

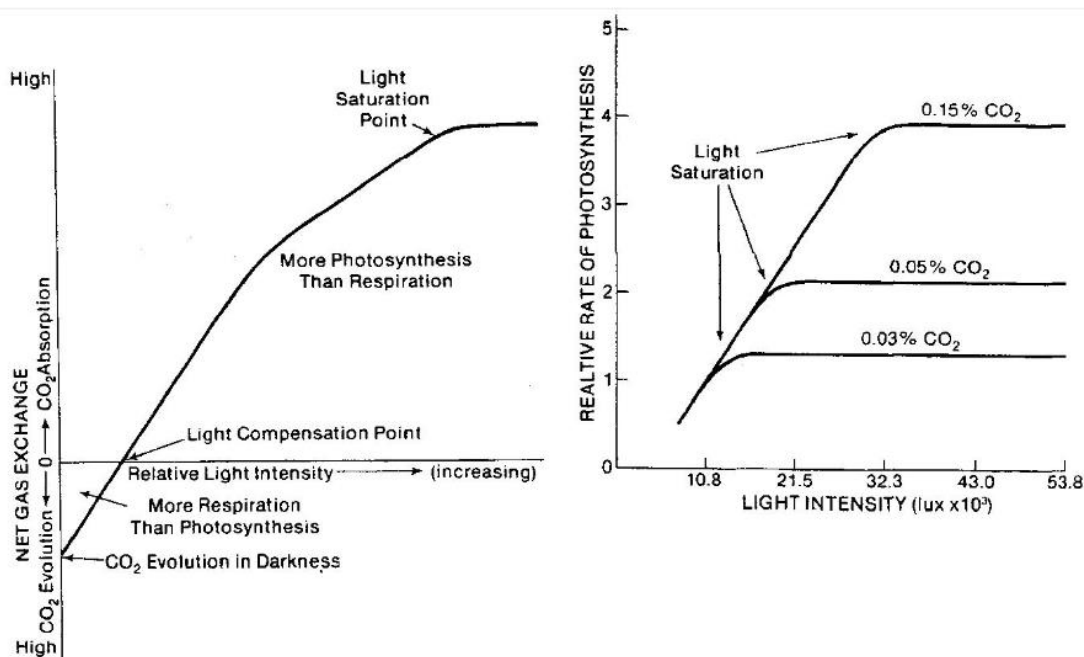
Filtrovat vzduch zamořený toxickými látkami je možné především aktivním uhlíkem. Účinnost absorpce je přímo závislá na filtrační vložce a na znečištění přiváděného vzduchu. Dle měření je běžně znečištěný venkovní vzduch při rychlosti 2,5 – 3 m/s nutné filtrovat přes 3 cm vložku aktivního uhlí, aby byla účinnost filtrace 80 %. [2] Filtraci lze provádět na vstupu přiváděného vzduchu do systému (není běžné a používá se spíše v potravinářských nebo farmaceutických provozech), v recirkulačním vzduchovodu ventilačních, vytápěcích a klimatizačních systémů (provádí se běžně), na výstupu vzduchu z ventilačního systému z budovy (tato možnost není touto prací sledována). Filtrovat by mělo být možné téměř jakýkoliv polutant (netýká se oxidu uhličitého), pokud bude použito správné filtrační médium, jak je výše zmíněno povětšinou se bude jednat o filtr s aktivním uhlíkem o mocnosti navržené na požadovaný filtrační výkon.

Protože většina nových budov má systém vzduchotechniky, je předpokládáno, že filtrační médium pro zachycení prachových částic, případně kouře, bude do systému implementováno jako běžné zařízení. Nicméně filtr s aktivním uhlíkem, případně jeho ekvivalent, pravděpodobně běžně instalován nebude.

### 6.3.3 Eliminace pomocí rostlin

V tomto oboru bylo v posledních letech dosaženo významného pokroku, především z hlediska provedených pokusů a měření. Je již prokázáno, že jednotlivé rostliny dokážou úspěšně absorbovat jednotlivé polutanty a přirozeně tak čistit vzduch ve vnitřním prostředí budov. Výhodou rostlin je, že se jedná o zcela přirozenou filtraci vzduchu, přičemž zároveň přes den díky fotosyntéze vytváří kyslík a redukuje oxid uhličitý ve vnitřním prostředí. S tímto systémem eliminace polutantů ve vnitřním prostředí se často pojí otázka, zdali rostliny přes noc (kdy nesvítí slunce a neprobíhá tak jev fotosyntézy) nespotřebují víc kyslíku, nežli ho přes den vyrobí, o tom pojednává graf 2.

Graf 2 – Adsorpce a desorpce CO<sub>2</sub> rostlinou



Zdroj: University of Nairobi [14]

Z grafu 2 je patrné, že běžné rostliny během svého denního cyklu uvolní víc kyslíku, než kolik jej spotřebují. Množství produkovaného kyslíku závisí na intenzitě osvětlení (patrné z grafu vlevo) a na množství přítomného oxidu uhličitého (patrné z grafu vpravo). Produkce kyslíku a schopnost eliminovat ve vnitřním prostředí jednotlivé polutanty dále závisí na druhu rostliny. Graf 2 obecně platí pro rostliny



s metabolickým cyklem C3 a C4. Rostliny s metabolickým cyklem CAM jsou schopny přijímat oxid uhličitý i během doby, kdy na ně nedopadá světlo, viz. kapitola 7.4.

Je předpokladem, že v případě použití vhodných rostlin, je možné efektivně snižovat polutanty obsažené ve vnitřním prostředí budov. Výkon eliminace polutantů jednotlivých rostlin je rozebrán v kapitole 7.4.

#### **6.3.4 Ionizace vzduchu**

K eliminaci formaldehydu, dioxinu a oxidu siřičitého je možné také použít intenzivní ionizaci vzduchu, přičemž je nutné produkovat záporné ionty. [2]. Účinek záporných iontů na další polutanty je v současné chvíli nejasný, pro jasné určení schází další potřebná měření a výsledná data.

Ionizace vzduchu má ovšem další výhodu – produkce negativních iontů má pozitivní vliv na zdraví osob zdržujících se v daném prostředí. Je uváděno, že optimální počet negativních iontů v pracovním prostředí by měl být 1000–1500 iontů/m<sup>3</sup>. [2]

Elektroiontové mikroklima vnitřního prostředí budov ovšem přesahuje rámec této práce, proto nebude v této práci dále blíže řešeno.

#### **6.3.5 Další způsoby**

V průmyslových celcích je možné použít i další způsoby. Především se jedná o systémy odprašování, způsoby oxidace a různé druhy filtrace. To je důležité především z globálního hlediska – pokud bude čisté ovzduší, nebude problémem vše větrat (viz. kapitola 7.2) a celkově se koncentrace polutantů nebude zbytečně zvyšovat.

Mezi vhodné způsoby eliminace do průmyslových celků se řadí pro VOC katalytická oxidace, tepelná oxidace, kondenzační metody a bio-filtrace, která je prováděna pomocí mikrobů. Všechny tyto způsoby jsou ovšem pro aplikaci v běžné budově určené k pobytu osob (administrativní budovy, bytové domy) příliš náročné na realizaci a provoz, proto budou v rámci této práce vynechány.

## 7. Srovnání jednotlivých způsobů eliminace polutantů

### 7.1 Legislativní požadavky

Pro srovnání efektivity jednotlivých způsobů eliminace je nutné stanovit výpočetní model, ve kterém budou stanoveny vzorové koncentrace jednotlivých polutantů ve vnitřním ovzduší. Pro určení efektivity bude použita udávaná účinnost jednotlivých způsobů, pokud jsou dané data k dispozici.

Protože není přesně známá koncentrace jednotlivých polutantů, bude jako výchozí stav uvažováno s určenými limitními hodnotami dle současným legislativních předpisů. Limit výskytu škodlivých látek, které byly výše vyjádřeny, je specifikován přílohou č. 2 v nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb., nařízení vlády č. 93/2012 Sb., nařízení vlády č. 9/2013 Sb., a nařízení vlády č. 32/2016 Sb. Přípustné kontaminace ovzduší sledovanými polutanty v této práci jsou uvedeny v tabulce 12.

CAS (chemical abstracts service) je registrační číslo sledované látky. Zkratka PEL vyjadřuje přípustný expoziční limit, NPK nejvyšší přípustnou koncentraci. PPM je zkratka faktor přepočtu (part per milion parts) a vyjadřuje počet molekul sledované látky vůči milionu molekul ostatních látek ve sledovaném objemu. Vzorová kalkulace – v případě etanolu je PEL 1000 mg/m<sup>3</sup>, PPM 0,532 [-], vzájemným součinem 1000 \* 0,532 vychází výsledná hodnota 532, což je přibližně 0,05 % na milion dalších molekul. PEL pro etanol lze tedy chápat jako 0,05 % koncentraci.

Vhodná definice a zároveň vztah mezi PEL a NPK je popsán následovně [15]:

*„PEL jsou celosměnové časově vážené průměry koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jejich pracovní schopnosti a výkonnosti. Výkyvy koncentrace chemické látky nad hodnotu přípustného expozičního limitu až do hodnoty nejvyšší přípustné koncentrace (NPK) musí být v průběhu směny kompenzovány jejím poklesem tak, aby nebyla hodnota přípustného expozičního limitu překročena. (Přípustné expoziční limity platí za předpokladu, že zaměstnanec je zatěžován tělesnou prací, při které jeho průměrná plicní ventilace nepřekračuje 20 litrů za minutu, a doba výkonu práce nepřesahuje 8 hodin. V případě*

vyšší plicní ventilace nebo delší doby výkonu práce se přípustné expoziční limity stanoví podle textu v příloze k tomuto nařízení).

Nejvyšší přípustná koncentrace chemické látky v pracovním ovzduší (NPK-P) je koncentrace látky, která nesmí být překročena v žádném časovém úseku pracovní směny. Vzhledem k praktickým možnostem stanovení koncentrace látky v ovzduší se připouští při hodnocení kvality pracovního ovzduší porovnávat s NPK-P časově vážený průměr koncentrací dané látky po dobu nejvýše 10 minut. NPK-P neskytají dostatečnou ochranu osob zvláště vnímavých k účinku dané látky. “

Dle platné legislativy je dále nutné brát v potaz, že v případě působení více škodlivých látek, se mohou vzájemně ovlivňovat a výsledné negativní účinky na lidské zdraví mohou být zesilovány. Pokud působí na osobu v pracovním prostředí více škodlivých látek, musí být předpokládáno, že působí aditivně (jejich účinek je zesilován), pokud nebyl prokázán opak, případně prokázáno, že vzájemným působením sledovaných látek účinek není zesilován.

Současná legislativa tuto situaci upravuje výpočetním vztahem, aby bylo možno zkontrolovat stav na pracovišti z hlediska znečištění:

$$\frac{k_1}{PEL_1} + \frac{k_2}{PEL_2} + \dots + \frac{k_n}{PEL_n} \leq 1 \quad (7.1.1)$$

nebo vztahem:

$$\frac{k_1}{NPK-P_1} + \frac{k_2}{NPK-P_2} + \dots + \frac{k_n}{NPK-P_n} \leq 1 \quad (7.1.2)$$

kde:

$k_1, k_2$  až  $k_n$  – jsou naměřené koncentrace jednotlivých látek

$PEL_1, PEL_2$  až  $PEL_n$  – jsou stanovené hodnoty PEL jednotlivých látek

$NPK-P_1, NPK-P_2$  až  $NPK-P_n$  – jsou stanovené hodnoty NPK-P jednotlivých látek

Vytváření jednotlivých kombinací látek a sledování proměny příslušných limitních koncentrací pro pracovní prostředí je však nad rámec zadání této práce, proto budou dále pro určení jednotlivých způsobů eliminací polutantů sledovány pouze expoziční limity jednotlivých látek bez jejich kombinací.

Tab. 12 – Příпустné kontaminace ovzduší sledovanými látkami

Látka	CAS	PEL mg/m <sup>3</sup>	NPK-P mg/m <sup>3</sup>	Faktor přepočtu na ppm
Acetaldehyd	75-07-0	50,000	100,000	0,555
Aceton	67-64-1	800,000	1500,000	0,421
Benzen	71-43-2	3,000	10,000	0,313
Benzo(a)pyren	50-32-8	0,005	0,025	0,097
1,3-Butadien	106-99-0	10,000	20,000	0,425
Etanol	64-17-5	1000,000	3000,000	0,532
Ethylbenzen	100-41-4	200,000	500,000	0,230
Formaldehyd	50-00-0	0,500	1,000	0,814
Isopren	78-79-5	-	-	-
Styren	100-42-5	100,000	400,000	0,235
Toluen	108-88-3	200,000	500,000	0,266
Trichloretylen	79-01-6	250,000	750,000	0,186
Trimetylbenzeny	526-73-8 95-63-6 108-67-8	100,000	250,000	0,203
Xyleny	1330-20-7 95-47-6 106-42-3 108-38-3	200,000	400,000	0,230
Limonen	138-86-3	-	-	-
α-pinen	80-56-8	-	-	-
Oxid siřičitý	7446-09-5	1,500	5,000	0,382
Oxid dusnatý	10102-43-9	10,000	15,000	0,815
Oxid dusičitý	10102-44-0	2,000	3,000	0,531
Oxid uhličitý	124-38-9	9000,000	45000,000	0,556
Oxid uhelnatý	630-08-0	30,000	150,000	0,873
Benzíny	86290-81-5	400,000	1000,000	-
Ozon	10028-15-6	0,100	0,200	0,509

Zdroj: Specifikace dle přílohy č. 2, NV č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů

V tabulce 12 byly oxidy dusíku rozděleny na oxid dusnatý a oxid dusičitý, jako zástupce uhlovodíků byly zvoleny benzíny (technická směs uhlovodíků).

## 7.2 Eliminace pomocí výměny vzduchu

Výměnou vzduchu lze de facto odstranit jakýkoliv polutant obsažený ve vzduchu vnitřního prostředí. Problémem zůstává kvalita přírodního vzduchu. Předpokladem je, že přírodní vzduch bude mít identickou kvalitu jako vzduch nasávaný, tedy venkovní. Jak bylo popsáno výše, kvalita venkovního vzduchu bude silně ovlivněna umístěním stavby a současně umístěním otvoru nasávaného vzduchu.

Legislativou jsou stanoveny požadavky na množství přiváděného vzduchu (například na pracoviště by mělo být na 1 osobu přiváděno 25 m<sup>3</sup> venkovního vzduchu) a požadavky na kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí – například požadavky na část polutantů jsou uvedeny v tabulce 9. Kvalita přiváděného vzduchu, tedy vzduchu před vypuštěním do interiéru, z hlediska VOC, PAU a obdobných škodlivin není ovšem zcela řešena. Lze tedy předpokládat, že vzduch vypouštěný do interiéru je zbaven pouze hrubších prachových nečistot pomocí základních filtrů umístěných v systému vzduchotechniky, případně zcela bez úpravy pomocí přirozeného větrání.

Pro stanovení koncentrací VOC ve vnějším vzduchu v jednotlivých lokalitách, je potřebné provést měření. Pro účel této práce postačí i přibližné údaje, protože práce se zabývá efektivitou eliminace polutantů, nikoliv výskytem v konkrétních vnějších lokalitách. Jako vhodné údaje byly vzaty údaje z měření koncentrací VOC na dálnici D1. [16]

Předpokladem je, že výskyt VOC v ovzduší na dálnici bude obdobný jako výskyt VOC na frekventované silnici v městském provozu. Dalším předpokladem je, že budova nebude nasávat vzduch přímo ze strany cesty, ale ze střechy nebo z opačné strany, přičemž z takové strany budou koncentrace škodlivin v ovzduší poloviční.

Výsledky z měření koncentrací polutantů na D1 jsou uvedeny v tabulce 13. [16]

Tab. 13 – Výsledné hodnoty VOC z měření na D1

Datum	Měřicí bod	Koncentrace škodlivin v ovzduší [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]							
		NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	Benzen	Toluen	M-/P-xylen	O-xylen	Ethylbenzen	Styren
29.3.2007	2C	376	8,1	4,87	7,19	2,37	1,64	1,36	0,24
	3A	180	18,2	3,55	5,21	1,54	1,24	0,90	0,34
	3B	218	14,9	1,97	4,13	1,12	0,95	0,66	0,45
	4C	181	17,9	1,55	2,60	0,75	0,65	0,44	0,22
	5A	134	19,8	2,02	4,06	1,04	0,81	0,62	0,34
	5B	132	21,5	1,76	3,67	0,81	0,61	0,44	0,43
	6C	97	25,5	1,13	1,45	0,06	0,04	0,05	0,04
10.4.2007	2C	333	11,7	10,71	34,39	15,51	8,24	14,58	1,16
	3A	192	16,4	4,29	7,54	1,51	1,15	0,82	0,29
	3B	255	19,8	1,82	4,43	0,94	0,76	0,53	0,28
	4C	306	15,8	2,76	6,06	1,49	1,24	0,10	0,61
	5A	257	33,6	1,47	4,03	0,77	0,67	0,45	0,19
	5B	159	35,2	2,10	3,24	0,67	0,55	0,41	0,18
	6C	67	62,5	0,99	1,69	0,09	0,10	0,08	0,03
19.4.2007	2C	116	38,0	1,79	7,45	4,81	2,71	2,43	0,29
	3A	242	32,8	1,63	7,83	6,04	3,39	2,64	0,24
	3B	135	28,5	0,86	3,38	2,35	1,30	1,14	0,12
	4C	203	29,4	1,14	6,24	5,84	3,30	2,98	0,28
	5A	219	29,8	1,23	10,53	9,81	4,75	4,17	0,23
	5B	173	25,9	1,45	13,37	12,08	7,02	5,56	0,30
	6C	160	10,0	1,32	19,88	18,25	9,05	8,28	0,29

Zdroj: Shrnutí dle [16]

Hodnoty z tabulky 13 byly pro účely této práce bylo nutné upravit – xyleny bylo nutné sdružit do jedné kategorie, a všechny naměřené hodnoty jednotlivých koncentrací zprůměrovat. Přehled koncentrací po zmíněné úpravě je zobrazen v tabulce 14. Protože se bude uvažovat s poloviční koncentrací látek v nasávaném vzduchu, jsou dále koncentrace zobrazeny na 50 % své původní hodnoty.

Tab. 14 – Přehled koncentrací po úpravě

	Koncentrace sledovaných škodlivin v ovzduší [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]						
	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	Benzen	Toluen	Xylen	Ethylbenzen	Styren
K <sub>100%</sub>	197	24,5	2,40	7,54	6,57	2,32	0,31
K <sub>50%</sub>	98	12,3	1,20	3,77	3,29	1,16	0,16
Poznámka:	K <sub>100%</sub> vyjadřuje průměry měřených koncentrací.						
	K <sub>50%</sub> vyjadřuje průměry měřených koncentrací na 50% původní hodnoty.						

Zdroj: Vlastní kalkulace dle [16]

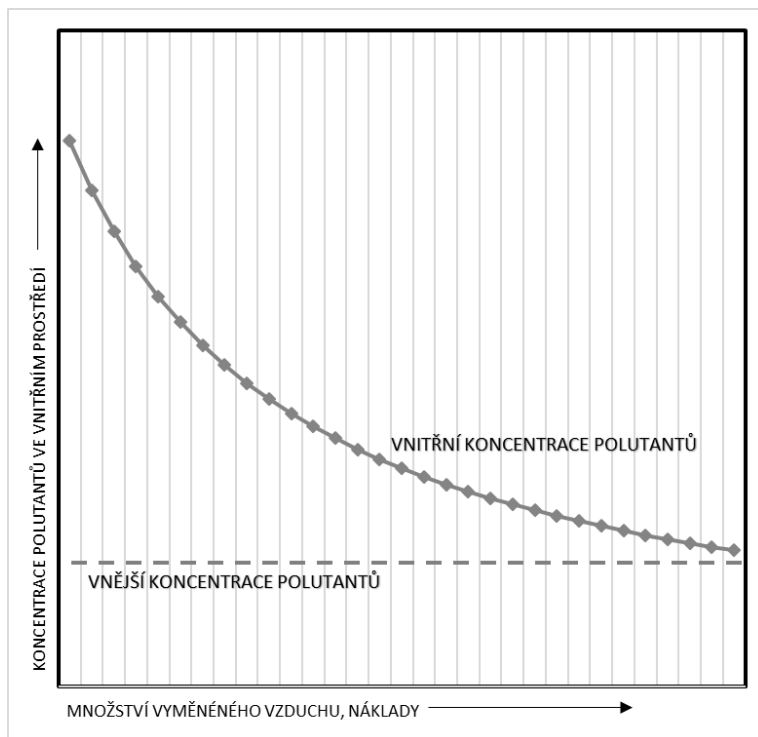
Pokud tedy bude vnitřní prostředí dostatečně větráno, dostane se do ovzduší interiéru škodliviny v koncentracích uvedených v tabulce 14 a další škodliviny z vnějšího ovzduší neuvedené v tabulce. Předpokladem je, že vnější ovzduší bude v souladu s legislativními požadavky, a tedy nebude s takovým vzduchem na pracovišti problém.

Z výše uvedeného vyplývá, že ventilací vnitřního prostředí může být účinně redukován výskyt polutantů, a to až do stavu vyrovnání hodnot znečištění ovzduší v interiéru s ovzduším v exteriéru. Pod tyto hodnoty se logicky nebude možné bez další účinné filtrace či úpravy přiváděného vzduchu dostat. Intenzita větrání bude přímo záviset na koncentraci škodlivých látek v ovzduší vnitřního prostředí. Pokud bude vnitřní prostředí větráno málo, budou škodliviny ve vnitřním prostředí kumulovány. Naopak v případě nadměrného větrání budou škodliviny z vnitřního prostředí vzduchem odváděny a nahrazeny škodlivinami z vnějšího ovzduší s příslušnou koncentrací odpovídající vzduchu v exteriéru.

Nevýhodou nadměrného větrání zůstává především energetická náročnost, a to hlavně v letních a zimních měsících, kdy je osobami zdržujícími se ve vnitřním prostředí kladen zvýšený požadavek na úpravu teploty vzduchu v interiéru, to je zobrazeno v grafu 3.



Graf 3 – Závislost koncentrace polutantů ve vnitřním prostředí na množství větraného vzduchu



Zdroj: Vlastní schéma

### 7.3 Eliminace pomocí filtrace vzduchu

Polutanty lze efektivně odstranit i pomocí filtrace vzduchu. Velkou výhodou filtrace je, že vzduch může být tímto způsobem zcela vyčištěn, přičemž rychlost závisí na instalovaném filtračním výkonu. Filtry mohou být rozděleny běžně na HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) a ULPA (Ultra Low Penetrating Air Filter), případně podrobněji děleny, jak je uvedeno v tabulkách 15a, 15b, 15c, 15d. Z tabulek je patrné, že pro eliminaci VOC či plynů je nutné použít minimálně filtr s neimpregnovaným aktivním uhlím (či ekvivalent), a v případě filtrace hůře filtrovatelných plynů filtr s impregnovaným aktivním uhlím.

Jako filtrační médium lze pro eliminaci VOC použít ještě zeolit či polymery, namísto aktivního uhlí. Takové řešení se povětšinou používá v průmyslových celcích s velkou produkcí VOC (např. výroba a lakování hliníkových obalů), nicméně se zeolitovými filtry se lze setkat i v malých provozech, například restaurační provoz v budově. V takovém případě bývá takový filtr používán jako filtrace odvodního vzduchu daného provozu.

Pro správnou funkci filtrace s aktivním uhlíkem je samozřejmě ještě nutné použít příslušné předfiltry, které zachytí hrubší částice a zamezí tak poškození, respektive nadměrně rychlému opotřebení filtru s aktivním uhlíkem.

Nevýhodou takového způsobu eliminace mohou být vynaložené náklady na realizaci filtru a po instalaci i náklady na údržbu filtračního zařízení, tedy výměna či regenerace filtračních médií. V takovém případě se nejedná pouze o údržbu filtrů s aktivním uhlíkem, nýbrž i potřebných předfiltrů. Životnost filtračního média je závislá na koncentraci filtrovaných látek ve vzduchu přiváděném do filtru a jeho nastavení – požadavky na jímavost, nastavení filtrační rychlosti, případně samotná poruchovost.

Filtraci atmosférického vzduchu je nutno chápat jako systémový celek – pro osazení filtrů s aktivním uhlíkem je nutné osadit i potřebné předfiltry. Reálnou životnost takové soustavy tedy není snadné bez příslušných měření jednoznačně určit, může se přibližovat předpokládané, která je udávána výrobcem filtračních médií. Je zde více proměnných parametrů mající vliv na životnost, a sice potenciálně proměnná koncentrace látek v přívodním vzduchu, pracovní nasazení filtru – jeho nastavení, poruchy z důvodu selhání předfiltrů, poruchy z důvodu chybné údržby, a podobně.

Tab. 15a – Dělení filtrů a účel jejich využití – hrubý prach

Skupina filtru	Zn. skupiny	Příklad odloučených látek	Použití vzduchových filtrů
Filtry pro hrubý prach, účinné	G1	Listy, hmyz, textilní vlákna, písek, popílek, vodní kapky, vlasy.	Pouze pro nejjednodušší použití (např. jako ochrana před hmyzem).
	G2		
pro částice $\geq 10 \mu\text{m}$	G3	Květní pyl, mlha.	Odpadní vzduch ze stříkacích kabin a kuchyní, ochrana proti znečištění pro klimatizační a kompaktní přístroje (např. okenní klimatizace, ventilátory), předfiltry a filtry cirkulujícího vzduchu pro zařízení civilní ochrany.
	G4		

Zdroj: Vlastní souhrn dle [17]

Tab. 15b – Dělení filtrů a účel jejich využití – jemný prach

Skupina filtru	Zn. skupiny	Příklad odloučených látek	Použití vzduchových filtrů
Filtry pro jemný prach, účinné pro částice $\geq 1 \mu\text{m}$	M5	Výtrusy, cementový prach, částice způsobující skvrny nebo usazování prachu.	Filtry venkovního vzduchu pro prostory s nejnižšími požadavky (např. dílenské haly, skladovací prostory, garáže).
	M6	Větší bakterie, zárodky na nosných částicích, prach PM10.	Vstupní filtry pro prostory s nízkými požadavky (např. prodejní prostory, určité výrobní prostory), filtry odvodního vzduchu před výměníky tepla.
	F7	Nahromaděné saze, prach PM2,5, cementový prach (jemná frakce).	Filtry cirkulujícího vzduchu ve větracích centrálních, koncové filtry v klimatizačních zařízeních pro střední nároky, např. obchodní domy, kanceláře a určité výrobní prostory, koncové filtry v klimatizačních zařízeních pro střední nároky, např. obchodní domy, kanceláře a určité výrobní prostory.
	F8		
	F8	Tabákový kouř (hrubé frakce), kouř kysličníků kovů (hrubé frakce), olejový kouř, bakterie.	Koncové filtry v klimatizačních zařízeních pro vyšší nároky, např. kanceláře, výrobní prostory, rozvodné centrály, laboratoře, zařízení vnějšího vzduchu v nemocnicích, centrály výpočetní techniky, předfiltry pro adsorpční filtry (např. filtry s aktivním uhlím), předfiltry ve farmaceutickém průmyslu.
F9			

Zdroj: Vlastní souhrn dle [17]

Tab. 15c – Dělení filtrů a účel jejich využití – mikročástice

Skupina filtru	Zn. skupiny	Příklad odloučených látek	Použití vzduchových filtrů
Filtry pro mikročástice, účinné pro částice $\geq 0,01 \mu\text{m}$	E10 E11	Zárodky, tabákový kouř, kouř kyslíčnicků kovů, viry na nosných částicích, saze.	Koncové filtry pro prostory s vysokými požadavky (např. pro laboratoře a nemocnice), koncové filtry pro "čisté prostory" tříd $\geq$ ISO 7 ve farmaceutickém, potravinářském, optickém průmyslu a v průmyslu lehkého strojírenství.
	E12 H13	Olejevý kouř ve stavu vzniku, aerosol - mikročástice, radioaktivní aerosol, zbytky výparů z mořské soli.	Koncové filtry pro nemocnice s vyššími požadavky, avšak bez předpisu o zkoušce netěsností, koncové filtry pro prostory v potravinářském, elektronickém, farmaceutickém a foliovém průmyslu, filtry odvodního vzduchu v zařízeních jaderné techniky, Koncové filtry pro "čisté prostory" tříd $\geq$ ISO 5, koncové filtry v civilních ochranných zařízeních.
	H14	Aerosol - mikročástice, viry.	Koncové filtry pro "čisté prostory" tříd $\geq$ ISO 4, koncové filtry pro farmaceutický průmysl a nemocnice s nejvyššími požadavky a předpisem o zkoušce netěsností.
Filtry pro mikročástice	U15 U16 U17	Aerosol - mikročástice.	Koncové filtry pro "čisté prostory" tříd $\geq$ ISO 3, ISO 2, ISO 1.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [17]

Tab. 15d – Dělení filtrů a účel jejich využití – výpary, plyny

Skupina filtru	Zn. skupiny	Příklad odloučených látek	Použití vzduchových filtrů
Filtry s aktivním uhlím	(neimpregnované aktivní uhlí)	Těkavé organické látky (VOC), asfaltové, dehtové, benzínové a kerosinové výpary, výparu rozpouštědel, tělesné, civilizační a nemocniční zápachy, potravinářské, kuchyňské a hnilobné zápachy.	Odlučování zápachů na letištích, v kancelářských a správních budovách, hotelích, nemocnicích, zlepšení kvality vnitřního ovzduší, snížení působení syndromu nemocných budov, filtrace přírodního vzduchu v mikroelektronice, odstranění škodlivých plynů z cirkulujícího vzduchu.
Filtry pro absorpci plynů	(Impregnované aktivní uhlí $KM_nO_4$ na $Al_2O_3$ )	Kyselé stopové plyny, $SO_2$ , $SO_4$ , $NO_2$ , $NO_x$ , $HCl$ , $H_2SO_4$ , $H_2S$ , $HF$ , $Cl_2$ .	Filtrace přírodního vzduchu pro řídicí střediska a počítačové prostory (např. na letištích), filtry přírodního a cirkulujícího vzduchu pro rozvodné ústředny a dispečinky v korozivním prostředí, filtry přírodního a cirkulujícího vzduchu pro mikroelektroniku, filtry přírodního a cirkulujícího vzduchu pro muzea, historické archivy a knihovny.
-	(Impregnované aktivní uhlí, polymery)	Aminy, $NH_3$ , $NH_4$ , NMP, HMDS.	Filtrace cirkulujícího vzduchu v mikroelektronice.

Zdroj: Vlastní souhrn dle [17]

## 7.4 Eliminace pomocí rostlin

Polutanty ve vnitřním prostředí lze také účinně eliminovat pomocí rostlin. Velkou výhodou je, že rostliny potřebují pouze světlo, vodu a vzduch z vnitřního prostředí, a jsou schopny redukovat množství polutantů během celého dne bez zastavení. Zůstává otázkou, jaké množství polutantů rostliny vstřebají během noci. Je předpoklad, že to bude záviset na druhu rostliny, především na způsobu fixace oxidu uhličitého (C3, C4, CAM). C3 a C4 je pojmenováno dle počtu uhlíků v prvních stabilních sloučeninách při fotosyntetické fixaci oxidu uhličitého. CAM (Crassulacean Acid Metabolism) je pojmenováno dle prvního pozorování u čeledi rostlin tučnolistých, CAM tedy znamená v přímém překladu metabolismus kyselin u tučnolistých.

Zatímco rostliny s metabolismem C3 (a podobně i C4) fixují oxid uhličitý a tedy produkují kyslík během doby kdy mají dostatek světla, rostliny s metabolismem CAM dokáží přijímat oxid uhličitý i bez záření, tedy dokáží fixovat oxid uhličitý i v nočních hodinách [18]. Zůstává otázkou, zdali dokáží během nočních hodin zbavovat vzduch polutantů ve vnitřním prostředí budov, kde nejsou pro rostliny přirozené podmínky. Z důvodu jejich specifčnosti jednotlivých zástupců těchto rostlin zůstává také otázkou, do jaké míry budou z důvodu nepřirozených podmínek tyto rostliny fungovat během dne.

Přirozené podmínky rostlin jsou v jednoduchosti, bez bližší specifikace funkce škrobů, charakterizovány následovně:

C3 – tento metabolismus užívá přibližně 90 % zástupců rostliny na celém světě, vyskytují se v chladnějších, mírných až subtropických podmínkách, zcela většinou jsou zastoupeny v mírném podnebném pásu. Jejich schopnost vázat oxid uhličitý oslabuje při zvyšujících se teplotách nad přibližně 25 °C. U mrazuvzdorných druhů rostlin, například jehličnany, některé druhy trav, je měřitelná adsorpce oxidu uhličitého i při teplotách pod bodem mrazu (-5 °C až -7 °C). Obvykle u rostlin s metabolismem C3 funguje fotosyntéza do teploty 0 °C až -3 °C. [18]

C4 – předpokládá se, že rostliny s tímto metabolismem se vyvinuly z rostlin s metabolismem C3. Přirozeným stanovištěm jsou sušší místa s vysokou teplotou a ozářeností, jejich schopnost vázat oxid uhličitý oslabuje při zvyšujících se teplotách nad přibližně 40°C.

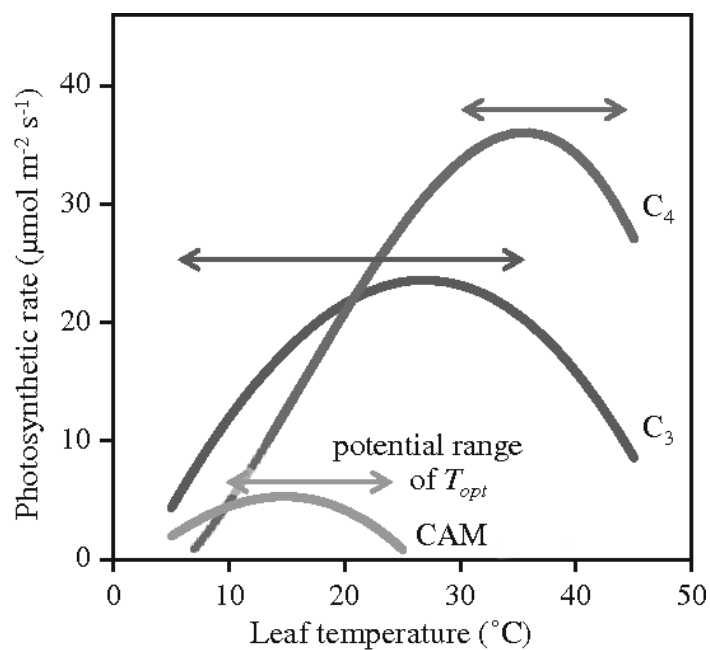
CAM – vyvinuly se z rostlin s metabolismem C4 jako adaptace na větší nedostatek vody. Schopnost vázat oxid uhličitý je unikátní, aby rostliny šetřily vodu, snaží se v přirozeném prostředí přes den neotevírat průduchy a fixují oxid uhličitý nahromaděný z noci. Existují pozorování, kdy některé z těchto rostlin v příhodných podmínkách fungují stejně jako C3 s tím, že schopnost fixace CAM během svého života neztrácí a mohou ji použít v případě, že to bude výhodnější [18].

Vyjádření fixace oxidu uhličitého v závislosti na teplotě listů a druhu metabolismu je vyjádřena grafem 4. Z tohoto grafu je patrné, že mezi jednotlivými metabolismy rostlin panuje velký rozdíl z hlediska možnosti absorbovat oxid uhličitý a mají odlišná pásma teplotního optima. Rostliny s metabolickým cyklem CAM sice dokáží během nočních hodin bez světla produkovat kyslík, ale během dne je jejich absorpce oxidu uhličitého v přirozeném prostředí o řád nižší, nežli je tomu u rostlin s cyklem C3 a C4.

V grafu 4 jsou metabolické cykly znázorněny dle měření na více rostlinách jednotlivých metabolických skupin. Hodnoty proto mohou být mírně odlišné oproti hodnotám, které by byly získány při měření na jednotlivé rostlině daného metabolického cyklu.

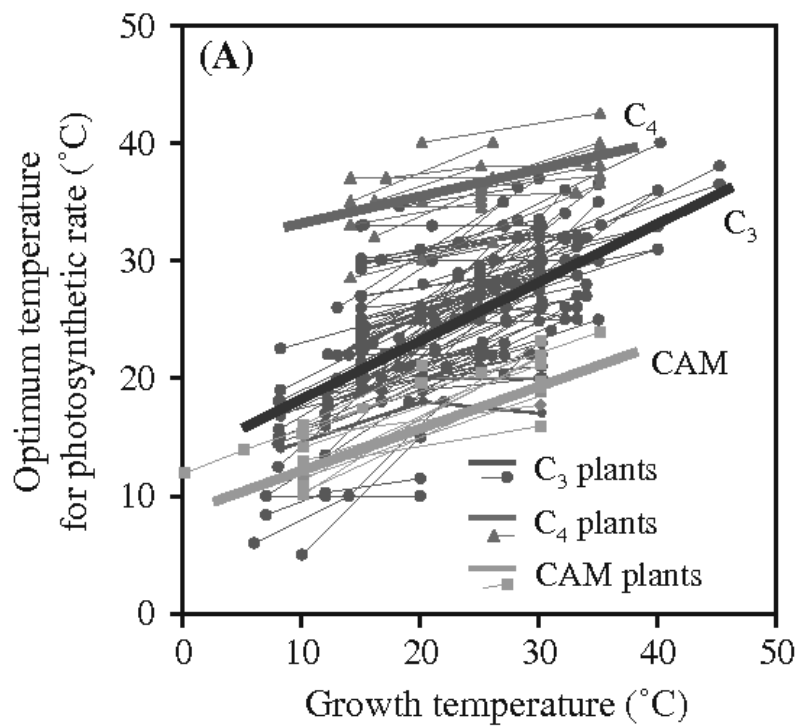
Úzce s grafem 4 souvisí také graf 5, ve kterém jsou znázorněny optimální růstové teploty rostlin z jednotlivých metabolických skupin.

Graf 4 – Schopnost fixovat  $CO_2$  v závislosti na teplotě listu a metabolickém cyklu



Zdroj: [19]

Graf 5 – Schopnost růstu rostlin v závislosti na teplotě a metabolickém cyklu



Zdroj: [19]



Schopnost vázat další látky mají jednotlivé rostliny odlišnou. V posledních letech byly prováděny studie, které zkoumaly schopnost rostlin vstřebávat jednotlivé škodlivé látky z vnitřního ovzduší.

V roce 2009 byla zpracována studie [20], která byla zaměřena na schopnost 28 běžně používaných pokojových rostlin absorbovat ve vnitřním prostředí 5 častých polutantů ze skupiny VOC – benzen, toluen, oktan, trichloretylen a alfa-pinen.

Z této studie vyplynulo, že se zkoumané rostliny chovaly odlišně z hlediska schopnosti absorbovat jednotlivé polutanty. Obecně nelze konstatovat, že by nějaká zkoumaná rostlina byla nejlepší ze všech, a to z důvodu, že jednotlivé rostliny mohly vynikat ve schopnosti absorbovat některé ze sledovaných polutantů, zatímco s absorpcí jiných polutantů zaostávaly.

Ze zkoumání vyplynulo, že faktory jako počet, velikost a typ rostlin by měly být navrženy dle předpokládaných polutantů v daném prostředí. Ze sledovaných rostlin bylo stanoveno 12 rostlin, které jsou dobrými jímači VOC. Tyto rostliny a jejich schopnost pohlcovat VOC v mikrogramech jsou zobrazeny v tabulce 16.

Je nutné upozornit, že stejně jako byly prováděny studie na výzkum schopnosti pohlcovat polutanty z vnitřního ovzduší, bylo také zkoumáno, zdali rostliny polutanty samy neprodukují. Na základě měření [21] bylo zjištěno, že se polutanty u rostlin vytváří, nicméně produkce byla změřena v řádech nanogramů a je tedy předpokládáno, že tato produkce polutantů je zapříčiněna pravděpodobně mikrobiálními organizmy, které žijí v přítomnosti rostlin nebo z důvodu umístění rostliny do plastové nádoby, jež je zdrojem polutantů.

Tab. 16 – Schopnost pohlcovat VOC zkoumanými rostlinami

Latinský název Český název	Průměrná schopnost pohlcovat sledované látky [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ]					
	Benzen	Toluen	Oktan	Trichlor etylen	Alfa-pinen	Celkem
<i>Hemigraphis alternata</i> -	5,54	9,63	5,58	11,08	12,21	44,04
<i>Hedera helix</i> Břečťan popínavý	3,63	8,25	5,10	8,07	13,28	38,33
<i>Tradescantia pallida</i> -	3,86	9,10	2,76	7,95	10,45	34,12
<i>Asparagus densiflorus</i> Chřest hustokvětý	2,65	7,44	3,76	6,69	11,40	31,94
<i>Hoya carnosa</i> Hoja masitá (voskovka)	2,21	5,81	3,80	5,79	8,48	26,09
<i>Ficus benjamina</i> Fikus malolistý	1,66	5,06	3,98	4,74	8,68	24,12
<i>Polyscias fruticosa</i> Stínovka	1,53	4,29	3,43	3,98	8,30	21,53
<i>Fittonia argyroneura</i> Hadí kůže	2,74	5,09	1,77	6,15	4,30	20,05
<i>Sansevieria trifasciata</i> Tchýnin jazyk	1,76	4,97	2,73	4,61	5,49	19,56
<i>Guzmania sp.</i> -	1,46	4,04	2,07	4,01	6,43	18,01
<i>Anthurium andreanum</i> Toulička andréova	1,31	3,60	2,45	3,58	5,85	16,79
<i>Schefflera elegantissima</i> -	0,66	4,94	0,65	3,87	7,33	17,45

Zdroj: Vlastní souhrn dle [20]

Schopnost jednotlivých rostlin pohlcovat sledované látky VOC je v tabulce vyjádřena číselnou hodnotou v mikrogramech z 1 m<sup>3</sup> vzduchu na plochu 1 m<sup>2</sup> listů rostliny za 1 hodinu. Bohužel pro další polutanty ze skupiny VOC nebyly nalezeny adekvátní měření a data, které by byly reprezentativní a mohlo by se podle nich srovnávat výkonnost rostlin, proto budou pro celkové srovnání použita pouze data z tabulky 16.

## 7.5 Srovnání efektivity jednotlivých způsobů

Každý z výše zmíněných způsobů eliminace polutantů ve vnitřním prostředí má klady i zápory. Srovnání efektivity jednotlivých způsobů bude provedeno pomocí výpočtu, kdy bude zadána vzorová koncentrace výběru výše zmíněných látek na 1 m<sup>3</sup> vnitřního vzduchu a bude požadováno snížení koncentrace na 75 % původní hodnoty za 1 hodinu. Z tohoto výpočtu vyplyne požadavek na nutný výkon jednotlivých zařízení, přičemž na základě tohoto zjištění bude možné jednotlivé způsoby porovnat.

Protože jsou v rámci této práce známy o různých způsobech eliminace pouze některá data o schopnosti pohlcovat různé látky (například kolik daná rostlina dokáže pohltit oxidu uhličitého a dalších pěti typických látek VOC, naopak nejsou známy koncentrace vzduchu na vstupu do objektu některých látek) nebudou některé látky ve srovnání sledovány. Je předpokladem, že i další látky VOC či PAU dokáží jednotlivé rostliny absorbovat, nicméně nejsou k dispozici další věrohodná měření a data.

Pro způsob eliminace větráním bude uvažováno s daty měřenými na dálnici D1. [16] U způsobu filtrace je zahrnuta většina zkoumaných látek, a to z důvodu, že filtrace dokáže až na oxid uhelnatý a uhličitý efektivně filtrovat vše. Oxid uhličitý je pro způsob filtrace uvažován jako nefiltrovatelný, tedy údaj lze považovat za známý. Další údaje o filtrovatelnosti dalších oxidů nejsou v této práci známé. Vzhledem k požadavku srovnání mezi způsobem eliminace ventilací, filtrace a rostlin, přičemž u rostlin jsou známy pouze data o CO<sub>2</sub> a pěti dalších škodlivinách, by údaj o schopnosti filtrovat další oxidy nebyl podstatný, nebyl proto dále zkoumán. Běžná koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je 0,04 %, znečištění formou lokálního zdroje se v tomto srovnání zanedbává. Koncentrace oxidu uhelnatého byla převzata z aktuálních dat Českého hydrometeorologického úřadu.

Tab. 17 – Přehled dat k dispozici pro možnost srovnání efektivity způsobů eliminace

Látka	CAS	Přehled dat k dispozici:			Možnost vzájemně srovnat
		Ventilace	Ventilace s filtrací	Rostliny	
Acetaldehyd	75-07-0	-	✓	-	-
Aceton	67-64-1	-	✓	-	-
Benzen	71-43-2	✓	✓	✓	✓
Benzo(a)pyren	50-32-8	-	✓	-	-
1,3-Butadien	106-99-0	-	✓	-	-
Etanol	64-17-5	-	✓	-	-
Ethylbenzen	100-41-4	✓	✓	-	-
Formaldehyd	50-00-0	-	✓	-	-
Isopren	78-79-5	-	✓	-	-
Oktan	111-65-9	-	✓	✓	-
Styren	100-42-5	✓	✓	-	-
Toluen	108-88-3	✓	✓	✓	✓
Trichloretylen	79-01-6	-	✓	✓	-
Trimethylbenzeny	526-73-8 95-63-6 108-67-8	-	✓	-	-
Xylen	1330-20-7 95-47-6 106-42-3 108-38-3	✓	✓	-	-
Limonen	138-86-3	-	✓	-	-
α-pinen	80-56-8	-	✓	✓	-
Oxid siřičitý	7446-09-5	-	-	-	-
Oxid dusnatý	10102-43-9	✓	-	-	-
Oxid dusičitý	10102-44-0	✓	-	-	-
Oxid uhličitý	124-38-9	✓	✓	✓	✓
Oxid uhelnatý	630-08-0	✓	-	-	-
Benzíny	86290-81-5	-	✓	-	-
Ozon	10028-15-6	✓	-	-	-

Poznámka k datům CO, CO<sub>2</sub>:

Koncentrace CO dle ČHMÚ k 10.12.2017  
lokalita Praha 2 - Legerova:

0,247 mg/m<sup>3</sup>

Běžná koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře:

400 mg/m<sup>3</sup>

Zdroj: Vlastní srovnání.

Z tabulky 17 vyplývá, že jednotlivé způsoby mezi sebou bude možné srovnat především podle 3 základních látek – benzen, toluen a oxid uhličitý. Zbylé látky nelze se všemi řešenými způsoby korektně srovnat, protože nejsou k dispozici potřebná data.

Pro srovnání je tedy předpokladem, že 1 m<sup>3</sup> vnitřního vzduchu obsahuje vzorové množství polutantů, které je uvedeno v tabulce 18. Toto množství je 35 % hodnota PEL uvedeného v kapitole 7.1. Takové množství je požadováno jednotlivými způsoby snížit na 75 % původní hodnoty za 1 hodinu. V tabulce 19 jsou shrnuty koncentrace škodlivin přírodního vzduchu dle tabulky 14. Požadované koncentrace jsou zobrazeny v tabulce 20.

Tab. 18 – Vzorově stanovené koncentrace ve vnitřním prostředí pro srovnání efektivity

Sledovaná látka	PEL [mg/m <sup>3</sup> ]	35% PEL [mg/m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub>	9000,0	3150,0
Benzen	3,0	1,1
Toluen	200,0	70,0

Zdroj: Vlastní kalkulace

Tab. 19 – Koncentrace přírodního vzduchu

Sledovaná látka	[mg/m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub>	400,00
Benzen	0,0012
Toluen	0,0038

Zdroj: Vlastní kalkulace dle [16]

Tab. 20 – Požadované koncentrace (75 % výchozí hodnoty)

Sledovaná látka	[mg/m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub>	2 362,50
Benzen	0,79
Toluen	52,50

Zdroj: Vlastní kalkulace

Ventilace objektu bez filtrace – je předpokládáno, že vzduch přiváděný do vnitřního prostředí se mísí se vzduchem ve vnitřním prostředí a na odtahu vzduchu může být současně odváděna i část přiváděného vzduchu (tento údaj je velmi závislý na navrženém konceptu větrání a může být velmi proměnný). Předpokládaná celková účinnost systému ventilace je tedy uvažovaná na 85 %.

Hodinový požadavek ventilace v závislosti na počáteční a konečné koncentraci lze vypočítat z níže popsaných vztahů:

$$P = I / A \quad (7.5.1)$$

Udává o kolik je potřeba upravit výkon výměny vzduchu z uvažovaného 1 m<sup>3</sup>, aby bylo dosaženo požadované koncentrace látky v interiéru v 1 m<sup>3</sup> vzduchu za jednotku času.

$$K_{res} = u \cdot x_{(=1)} \cdot K_{out} + (1 - u) \cdot x_{(=1)} \cdot K_{in} \quad (7.5.2)$$

Příčemž poměr A je vyjádřen:

$$A = K_{req} / K_{res(x=1)} \quad (7.5.3)$$

Kde jednotlivé znaky vyjadřují:

*P* Výkon výměny vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

*u* Účinnost [%]; přičemž  $u > 0$

*x* Množství vyměněného vzduchu [m<sup>3</sup>/h]

*K<sub>in</sub>* Koncentrace látky v interiéru [mg/m<sup>3</sup>]

*K<sub>out</sub>* Koncentrace látky v exteriéru [mg/m<sup>3</sup>]; přičemž  $K_{out} > K_{req}$

*K<sub>req</sub>* Koncentrace látky v interiéru požadovaná [mg/m<sup>3</sup>]

*K<sub>res</sub>* Koncentrace látky výsledná při míšení koncentrací [mg/m<sup>3</sup>]

Dle vztahů uvedených výše (7.5.1), (7.5.2), (7.5.3) byly vypočteny požadované hodnoty na výměnu vzduchu pro jednotlivé látky. Tyto hodnoty požadovaného výkonu výměny vzduchu jsou uvedeny v tabulce 21.

Tab. 21 – Vypočtené hodnoty požadovaného výkonu pro výměnu vzduchu za účelem snížení koncentrací

Látka	u [%]	$K_{in}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	$K_{out}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	$K_{res(x=1)}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	$K_{req}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	A [-]	P [m <sup>3</sup> /h]
CO <sub>2</sub>	85	3150	400	813	2363	2,91	0,34
Benzen	85	1,0500	0,0012	0,1585	0,7875	4,97	0,20
Toluen	85	70,0000	0,0038	10,5032	52,5000	5,00	0,20

Zdroj: Vlastní výpočet

Ventilace objektu s filtrací s aktivním uhlíkem či ekvivalentem – z důvodu problematické redukce oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí budov bez užití systému výměny vzduchu je uvažováno, že filtrace bude osazena v systému vzduchotechniky, která bude nasávat vzduch z vnějšího prostředí. Předpokladem je účinnost filtrace benzenu a toluenu 95 % z hodnot koncentrací vnějšího prostředí. Koncentrace oxidu uhličitého je předpokládána v hodnotách identických s vnějším prostředím. Účinnost systému ventilace s touto filtrací je uvažována na 85 %.

Výpočet může být proveden obdobně jako pro ventilaci objektu bez filtrace, pouze se započtením redukce koncentrací z důvodu filtrace. Jsou uvažovány shodné vnější koncentrace benzenu, toluenu a oxidu uhličitého, jako pro výpočet ventilace objektu bez filtrace.

Pro výpočet tedy nyní bude uvažováno s nasáváním vzduchu v 5 % hodnotě koncentrací (benzen a toluen). Zbylý výpočet je řízen výpočetními vztahy (7.5.1), (7.5.2), (7.5.3). Vypočtené hodnoty pro ventilaci objektu venkovním vzduchem s filtrací s aktivním uhlíkem či ekvivalentem jsou uvedeny v tabulce 22.

Tab. 22 – Vypočtené hodnoty požadovaného výkonu pro výměnu vzduchu s filtrací s aktivním uhlíkem či ekvivalentem

Látka	u [%]	K <sub>in</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	K <sub>out</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	K <sub>out(5%)</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	K <sub>res(x=1)</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	K <sub>req</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	A [-]	P [m <sup>3</sup> /h]
CO <sub>2</sub>	85	3150	400	-	813	2363	2,91	0,34
Benzen	85	1,0500	0,0012	0,00006	0,1576	0,7875	5,00	0,20
Toluen	85	70,0000	0,0038	0,00019	10,5002	52,5000	5,00	0,20

Zdroj: Vlastní výpočet

V obou případech ventilace objektu, tedy s filtrací i bez filtrace je potřebné pro snížení koncentrace sledovaných škodlivin na 75 % původního množství vyměnit přibližně 20 % vnitřního vzduchu (benzen, toluen) a pro snížení koncentrace oxidu uhličitého přibližně 35 % vnitřního vzduchu.

Působení rostlin na snižování výskytu polutantů ve vnitřním prostředí je nutné vypočítat mírně odlišným způsobem. Výše bylo upozorněno, že rostliny a jejich schopnost vázat oxid uhličitý je závislá na více faktorech – především na teplotě, množství světla, a na koncentraci oxidu uhličitého v daném prostředí. Tato práce vychází z běžných pracovních podmínek v budovách (bytových či administrativních), je předpokládáno tedy, že rostliny budou dlouhodobě vystaveny přibližné teplotě 21 °C, běžnému dennímu a nočnímu cyklu a hodnoty koncentrace oxidu uhličitého budou dlouhodobě v rozmezí 0,05 % – 0,9 % (odpovídá přibližně koncentraci 500 – 9 000 ppm), přičemž běžná koncentrace bude 0,15 % – což je považováno za dobrou kvalitu vzduchu.

Po odečtení z grafu 4 lze získat přibližné hodnoty fixace oxidu uhličitého v závislosti na teplotě. Při teplotě 21 °C se nachází přibližný průsečík křivek pro metabolické cykly rostlin C3 a C4, přičemž schopnost fixovat oxid uhličitý mají přibližně vyjádřenou na 22 μmol/m<sup>2</sup>/s. Pokud se hodnota vynásobí počtem sekund v hodině (3600 s), vydělí (10<sup>6</sup>) pro získání mol a vynásobí molární hmotností CO<sub>2</sub> (44,01 g/mol), získá se hodnota 3,485 g/m<sup>2</sup>/h.

Schopnost pohlcovat benzen a toluen je vyjádřen v tabulce č. 16. Koncentrace škodlivin ve vnitřním ovzduší zůstává shodná jako pro zkoumání předchozích případů.



Hodinový požadavek na množství pohlcení škodlivin rostlinou (tedy na plochu zelených listů) v závislosti na počáteční a konečné koncentraci lze vypočítat z níže popsanych vztahů:

$$S = K_{dif} / Q \quad (7.6)$$

Udává, jaká plocha listů rostlin je potřebná k redukci původní koncentrace na 75 %.

$$K_{dif} = K_{in} - K_{req} \quad (7.7)$$

Přičemž  $K_{dif}$  udává rozdíl mezi původní koncentrací a požadovanou.

Kde jednotlivé znaky vyjadřují:

$S$  Plocha listů potřebná k požadované redukci [ $m^2/h$ ]

$Q$  Výkonnostní možnosti listů redukovat škodliviny [ $mg/m^3/m^2/h$ ]

$K_{in}$  Koncentrace látky v interiéru [ $mg/m^3$ ]; přičemž  $K_{in} \geq K_{req}$

$K_{req}$  Koncentrace látky v interiéru požadovaná [ $mg/m^3$ ]

$K_{dif}$  Rozdíl koncentrací  $K_{in}$  a  $K_{req}$  [ $mg/m^3$ ]

Výsledné hodnoty po dosazení do výše uvedených výpočetních vztahů jsou uvedeny v tabulce 23. Výkonnostní možnosti  $Q$  byly vzaty zprůměrováním pěti nejvýkonnějších rostlin z tabulky 16.

Tab. 23 – Vypočtené hodnoty požadované plochy zelených listů pro redukci škodlivin

Látka	$K_{in}$ [ $mg/m^3$ ]	$K_{req}$ [ $mg/m^3$ ]	$K_{dif}$ [ $mg/m^3$ ]	$Q$ [ $mg/m^3/m^2/h$ ]	$S$ [ $m^2/h$ ]
CO <sub>2</sub>	3150	2363	788	3485	0,226
Benzen	1,0500	0,7875	0,2625	0,003578	73,365
Toluen	70,0000	52,5000	17,5000	0,008046	2174,994

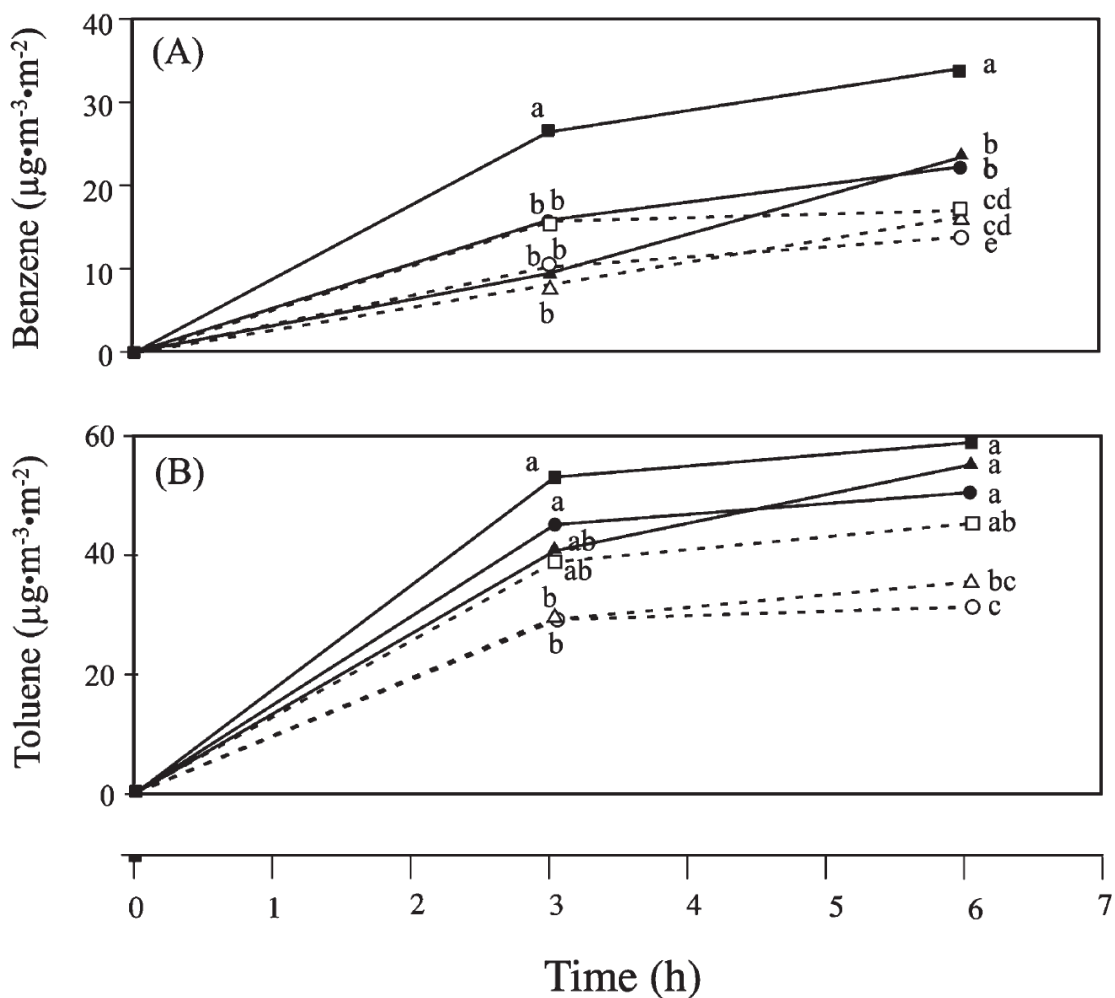
Zdroj: Vlastní výpočet

Z výsledků na minimální plochu zelených listů pro redukci sledovaných škodlivin je možné si všimnout, že zatímco oxid uhličitý rostliny dokáží výrazně eliminovat, další látky (benzen, toluen) dokáží redukovat pouze minimálně. Pro redukci CO<sub>2</sub> na 75 %

původní hodnoty je potřebné přibližně 0,22 m<sup>2</sup> plochy zelených listů, zatímco pro redukci dalších látek je potřebná plocha listů zcela v jiných řádech.

Dále je nutné zmínit, že dle měření [20] mají rostliny proměnlivou schopnost pohlcovat polutanty ze skupiny VOC. Zatímco při prvotním vystavení rostlin polutantům je rostlina schopna pohltnout větší množství polutantů ze vzduchu, při déletrvajícím působení škodlivin má rostlina tendenci mírně snižovat schopnost pohlcovat polutanty (netýká se oxidu uhličitého, kdy se stoupající koncentrací je stoupající tendence růstu rostliny). Tento jev je vyjádřen v grafu 6.

Graf 6 – Vliv vystavení rostlin déle působící koncentraci na schopnost redukovat škodliviny



Zdroj: [20]

## 7.6 Výsledná rekapitulace

Pro jednotlivé způsoby redukce množství polutantů ve vnitřním prostředí byly stanoveny stejné vstupní podmínky – počáteční koncentrace sledovaných látek ve vnitřním prostředí a požadovaná koncentrace po 1 hodině působení daného způsobu. Aby bylo srovnání jednotlivých způsobů relevantní, byly srovnávány pouze látky, u kterých je znám proces redukce u všech řešených způsobů. Výsledky jsou patrné z tabulky 24.

Tab. 24 – Rekapitulace dosažených výsledků

Látka	Zadané koncentrace		Ventilace	Ventilace s filtrací	Rostliny
	$K_{in}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	$K_{req}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	P [m <sup>3</sup> /h]	P [m <sup>3</sup> /h]	S [m <sup>2</sup> /h]
CO <sub>2</sub>	3150	2363	0,3439	0,3439	0,2260
Benzen	1,0500	0,7875	0,2013	0,2001	73,3650
Toluen	70,0000	52,5000	0,2001	0,2000	2174,9938

Zdroj: Vlastní kalkulace

Z výše uvedené tabulky 24 je zřejmé, že v případě přiváděného vzduchu, který splňuje hygienické požadavky, je filtrace přiváděného vzduchu pomocí aktivního uhlíku málo efektivní a na výslednou koncentraci sledovaných látek má jen zanedbatelný vliv. Zajisté by se rozdíl projevil v případě nasávání vzduchu s výrazně vyššími koncentracemi jednotlivých škodlivin. Pokud je tedy budova navržena v relativně čistém prostředí, bude pravděpodobně dostačující ventilace vnitřního prostředí bez filtrace, naopak v místech, kde se očekává zamoření vnějšího ovzduší je jistě namístě zvážit aplikaci filtračních systémů.

Zajímavým zjištěním je, že pro redukci koncentrace oxidu uhličitého v 1 m<sup>3</sup> vzduchu vnitřního prostředí má stejný vliv přibližně 34 % výměna vzduchu jako působení plochy 0,22 m<sup>2</sup> zelených listů rostliny. Výhodou rostlin mohou být nižší pořizovací a provozní náklady. Protože se rostliny nachází přímo ve vnitřním prostředí, odpadá nutnost opětovně upravovat vzduch na požadovanou teplotu, na rozdíl od vzduchu ventilovaného, který je v zimě nutno zahřívat a v létě ochlazovat. Otázkou zůstává vlhkostní mikroklima a případné vypouštění nesledovaných polutantů některými druhy rostlin.

U látek, které nebyly srovnávány, je předpokládán obdobný trend jako pro zástupce srovnávané, tedy pro jednotlivé skupiny polutantů ze skupiny VOC a PAU budou rostliny pravděpodobně jen málo efektivní z hlediska jejich redukce.

Přirozené větrání nebylo blíže zkoumáno, je předpokladem, že oproti nucenému je uvažováno pouze s vnikem prachových částic. Pro zabránění výskytu prachových částic je nutné přiváděný vzduch filtrovat (lze pouze se systémem VZT), přičemž pro účinné zachycení prachových částic do PM 0,01 (velikost 0,01  $\mu\text{m}$ ) není nutné používat filtry s aktivním uhlím či ekvivalentními filtračními médii (viz. kapitola 7.3).

## **8. Stanovení zásad správného provozu staveb**

### **8.1 Zásady na základě srovnání způsobů eliminace polutantů**

Na základě srovnání jednotlivých způsobů eliminace v kapitolách výše, lze stanovit vhodné způsoby pro eliminaci výskytu polutantů ve vnitřním prostředí. Tyto způsoby by měly být zahrnuty v tzv. politice eliminace polutantů ve vnitřním prostředí budov. Jedná se tedy již o pasivní způsob, kdy musí být řešen stávající výskyt škodlivin.

#### **8.1.1 Politika eliminace polutantů ve vnitřním prostředí budov**

Správa objektu by měla stanovit a schválit dokument, který řeší eliminaci škodlivin ve vnitřním prostředí. Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, snížení koncentrací polutantů ve vnitřním vzduchu lze efektivně docílit větráním, filtrací nebo pomocí většího množství určitých druhů rostlin se zelenými listy.

Samotné větrání objektu pouze se systémem filtrace hrubých nečistot lze použít v případě, že se objekt nachází v relativně čistém prostředí a nasávaný vzduch nevykazuje zvýšené koncentrace škodlivých látek. Vzhledem k normovým požadavkům na nutnost přivádět stanovené množství vzduchu do vnitřního prostředí se jeví tento způsob jako nejjednodušší, protože systém větrání, ať už nuceným nebo přirozeným způsobem, musí být v každé budově navržen.

Použití systému větrání s filtrací s aktivním uhlíkem či ekvivalentním filtračním médiem, je opodstatněné pouze v případě, že se budova nachází v prostředí významně zamořeném polutanty, přičemž koncentrace jednotlivých škodlivých látek ve vnějším prostředí se blíží koncentracím škodlivin v prostředí vnitřním, nebo tyto koncentrace převyšuje – poté by se větráním bez filtrace stav vzduchu ve vnitřním prostředí zhoršoval. Při hodnotách koncentrací vnějšího vzduchu obdobných se vzduchem vnitřním by nebyly koncentrace ve vnitřním prostředí efektivně snižovány.

Použití rostlin má význam pro redukci oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí. Dle výpočtu v předešlé kapitole mají rostliny jen minimální vliv na snižování výskytu polutantů ve vnitřním prostředí.

Politika by tedy měla řešit jaké množství vzduchu a s jakou koncentrací bude přiváděno do vnitřního prostředí, případně osadit čidla, která by detekovala aktuální

koncentraci škodlivin ve vnějším prostředí, a podle toho by bylo možné upravovat množství přiváděného vzduchu. V případě častého výskytu zvýšených koncentrací polutantů ve vnějším prostředí je vhodné osadit do systému vzduchotechniky i potřebné filtrační vložky pro zamezení průniku škodlivin z vnějšího prostředí do vnitřního.

Je také vhodné, aby bylo správou regulováno množství rostlin ve vnitřním prostředí – jak je výše uvedeno, rostliny dokážou významně snižovat koncentrace oxidu uhličitého. Vnitřní prostředí lze samozřejmě navrhnout i bez umístění rostlin, je ovšem jisté, že při stejných vstupních parametrech bude prostředí bez rostlin vykazovat vyšší koncentrace oxidu uhličitého nežli prostředí s rostlinami.

Vhodné rostliny je nutné navrhnout v závislosti na prostředí, ve kterém budou rostliny žít. Pokud je uvažováno s běžným prostředím administrativních budov či bytových domů, kde je dostatek světla, teplota kolem 20 °C, a koncentrace oxidu uhličitého, při které je schopen přežít člověk, je vhodné umístit do takového prostředí rostliny s metabolickým cyklem C3 a C4. Rostliny s metabolickým cyklem CAM se mohou v průběhu svého životního cyklu také samovolně změnit na cyklus C3 nebo C4, ale to je nejisté. Výhoda rostlin CAM je, že dokáží redukovat oxid uhličitý i v nočních hodinách (pokud nezměnili metabolický cyklus), jejich nevýhodou jsou výrazně nižší schopnosti redukovat oxid uhličitý během dne.

Mezi vhodné rostliny, které byly řešené touto prací se tedy jistě řadí rostliny jako chřest hustokvětý, fikus malolistý a stínovka. Rostliny musí být do vnitřního prostředí také navrženy s ohledem na jejich vylučování látek, které mohou způsobovat alergie u některých osob pobývajících ve vnitřním prostředí. Návrh jednotlivých, dalších rostlin, které je možné umístit do vnitřního prostředí přesahuje rámec zadání této práce.

## **8.2 Trvalé snižování výskytu polutantů – další politiky**

Další politiky pojednávají především o aktivním způsobu eliminace výskytu polutantů. Aktivní nebo proaktivní politiky mají za cíl zabránit vniknutí polutantů do vnitřního prostředí. Toho lze dosáhnout vydáním vnitřních předpisů platných pro objekt – mezi dnes již nejběžnější patří například zákaz kouření či zákaz pálení jakýchkoliv materiálů ve vnitřním prostředí.

Kromě zákazů lze vytvářet i opatření regulačního typu. Mezi regulační opatření se řadí například politika trvale udržitelného zásobování, politika řízení potenciálních zdrojů polutantů, politika podávání stížností, politika pro provádění rekonstrukcí a oprav, politika inovací, a obdobně. Tyto opatření mohou být mnohem efektivnější než následná eliminace polutantů z vnitřního prostředí.

Protože nelze ve všech případech nahradit dodávaný materiál či zařízení, který je potenciálním zdrojem polutantů za environmentálně nezávadný (tedy není zdroj polutantů), je nutné společně s politikami aktivního způsobu vydat i politiku pasivního způsobu, která je blíže specifikována v předchozí kapitole.

### **8.2.1 Politika trvale udržitelného zásobování**

V této politice by měly být stanoveny základní zásady pro zásobování řešené budovy spotřebním materiálem, výrobky a náhradními díly, a to jak v rámci běžného provozu, tak během rekonstrukcí. Dlouhodobě by zásady této politiky měly vést k minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí – tedy i vnitřní prostředí, a to díky užívání ekologicky šetrných materiálů či úsporných zařízení.

Hlavním cílem takové politiky by mělo být minimalizování užívání ve vnitřním prostředí materiálů, produktů a zařízení, které mají negativní dopad na kvalitu vnitřního prostředí. Ze strany správy objektu by mělo být preferováno užívání materiálů, produktů a zařízení, které mají nulový, či výrazně eliminovaný negativní dopad na kvalitu vnitřního prostředí.

Do této politiky také může být zařazen požadavek na zásobování objektu lokálními dodavateli. Tímto opatřením může být snížena produkce CO<sub>2</sub> a dalších škodlivin, které vznikají z důvodu dopravy. Pro daný objekt to sice významný přínos nepřinese, nicméně je potřebné z tohoto hlediska uvažovat globálně. Společně s dopravou je spojen i efektivní způsob využití produktů a služeb v dané budově – pokud nebude s materiálem či produkty plýtváno, nebude nutné tento materiál dodávat více než je skutečně potřebné. Mezi takové výrobky se řadí například čisticí prostředky, hygienické vybavení na sociálních jádrech, a podobně.

Při výběru dodavatelů by měla správa objektu upřednostňovat spolupráci s dodavateli, kteří drží licence či certifikáty pojednávající o šetrném a ekologickém hospodaření,

příčemž by měli zároveň splňovat požadavky současných standardů. U takových dodavatelů je předpokladem, že se aktivně snaží omezovat negativní dopad na životní prostředí způsobený jejich činnostmi a je tak dlouhodobě napomáháno snižování celkové ekologické zátěže. Takoví dodavatelé by měli držet certifikáty pojednávající o šetrnosti hospodaření s životním prostředím, některé z těchto certifikátů jsou uvedeny v kapitole 6.2.

### **8.2.2 Politika řízení potenciálních zdrojů polutantů**

Ve vnitřním prostředí je v současné době ještě poměrně problematické zcela eliminovat výskyt polutantů, a to i pokud bude do vnitřního prostředí dodáván pouze materiál a vybavení, které je nulovým či značně redukováným zdrojem polutantů. Jedná se především o zařízení, které vytváří škodliviny svým provozem – tedy například tiskárny a kopírovací stroje. Protože je prokázáno měřením, že tyto zařízení při své činnosti vytváří VOC a ozon, je vhodné takové zařízení umístit na dobře větraná místa, ideálně do míst, kde je vzduch odtahován systémem vzduchotechniky. U místa vyústění přívodního vzduchu je umístění zařízení nevhodné, protože bude vzduch se škodlivinami hnán do zbytku vnitřního prostředí. Umístění zařízení u oken s možností přirozeného větrání je diskutabilní, záleží zdali bude vzduch vycházející ze zařízení větrán do vnějšího prostředí nebo do vnitřního prostředí (tedy záleží na směru proudu vzduchu).

### **8.2.3 Politika podávání stížností**

Tato politika by měla primárně řešit proces nahlášení a řešení požadavků a stížností od jednotlivých uživatelů objektu. Může ovšem sehrát důležitou roli z hlediska včasného varování v případě úniku chemikálií či jiných škodlivin. I přesto, že by měly být stanoveny postupy pro zamezení úniku toxických látek, takový případ nastat může a díky politice podávání stížností může být únik rychleji detekován, čímž může být zabráněno způsobení větším škodám. Rychleji detekován může být také únik vody z vodovodního potrubí, který by mohl postupem času vést ke vzniku plísní, jež má vliv na vnitřní mikroklima.



### **8.2.4 Politika rekonstrukcí a oprav**

Materiály a produkty pro rekonstrukce a vybavení by měly být redukováným či nulovým zdrojem polutantů (například preferovány by měly být vodou ředitelné barvy namísto barev se syntetickými ředidly, je preferován nábytek z masivního dřeva oproti nábytku z dřevotřísky). V případě dodávek elektrický spotřebičů by měly být preferovány spotřebiče s nízkou energetickou náročností, ideálně v nejlepší dostupné třídě pro danou kategorii (A+++). Zároveň by měl být brán ohled na životnost takového výrobku – je preferováno, aby byl výrobek trvanlivý, s dlouhou životností, aby bylo zamezeno opakovaným nákupům v blízké době.

Náhradní díly nutné pro údržbu a opravy systémů ve sledované budově, by měly být dodávány v takové kvalitě, aby bylo možné původní díl nahradit novým bez negativního dopadu na funkčnost daného systému jako celku. Pokud to bude možné, a nebude to mít negativní dopad na funkčnost opravovaného systému, je vhodné dodávat náhradní díly s menším negativním dopadem na životní prostředí, tedy i vnitřní.

### **8.2.5 Politika inovací**

Tato politika by se měla zabývat inovativními metodami – tedy snažit se o nahrazování nebezpečných látek alternativními s menším negativním dopadem na životní prostředí, stejně tak způsoby, díky kterým jsou do ovzduší vypouštěny polutanty nahrazovat technologiemi šetrnějšími. Vzhledem k neustálému vývoji technologií by měla být politika inovací politikou, která nařizuje využívat moderní technologie, přičemž používání starších technologií, které mohou způsobovat znečištění, by měly být potlačovány. Nevýhodou takové politiky a jejího dodržování může být požadavek na vyšší finanční náklady na realizaci stanovisek politikou určených.

### **8.2.6 Omezení užívání nebezpečných látek**

Správou objektu by měl být stanoveno jaké látky je ve vnitřním prostředí omezeno či zakázáno používat, přičemž by měl brát ohled na všechny látky, které jsou klasifikovány jako nebezpečné. Za nebezpečné látky bývají zpravidla označovány látky, které představují určité nebezpečí pro živý organismus nebo životní prostředí. Jedná se o látky, které mají jednu nebo více z následujících vlastností: hořlavost, výbušnost, toxicita, žiravost, škodlivé zdraví, dráždivost, karcinogenita, mutagenita, nebezpečnost pro životní prostředí, radioaktivita. Je jisté, že nelze všechny takové látky přímo zakázat, proto by mělo být jejich používání pouze regulováno.

Ve všech případech, kdy to bude možné, by měla být zvážena možnost nahradit nutné dodávané nebezpečné látky alternativními – bezpečnějšími látkami, v ideálním případě látkami, které nespádají do kategorie nebezpečných látek. V případě, že už je do budovy dodávána nebezpečná látka, musí být dbáno na její správné skladování a patřičné označení.

## **9. Vzorové modelace vnitřního prostředí**

### **9.1 Vzorový prostor**

Jako vzorový prostor byl vybrán prostor malé kancelářské místnosti o ploše 96 m<sup>2</sup>, délka místnosti činí 12 m, šířka 8 m. Tento prostor je řešen bez chodeb, sociálních zařízení, kuchyněk a dalších doplňkových místností, kde většina pracovníků netráví většinu času – tedy jedná se pouze o místnost pro vykonávání kancelářské pracovní činnosti.

Místnost bude obsahovat 9 stálých pracovišť a 3 sdílená pracovní místa (hot desk). Dále je v místnosti navrženo přívodní potrubí systému vzduchotechniky i odvodní potrubí. V místnosti jsou 4 otevíratelná okna, 1 plotr a 2 tiskárny.

Ve schématu nejsou přímo řešeny limitní požadavky na kancelářské pracoviště, úmyslně jsou rozměry stolů a jejich odstupy mírně zvětšeny. Hlavním úkolem schémat je zobrazení správného a nesprávného návrhu z hlediska vzniku, šíření a eliminace polutantů ve vnitřním prostředí staveb, tedy řešení problematiky řešené touto prací.

### **9.2 Koncept vhodně navrženého řešení vnitřního prostředí**

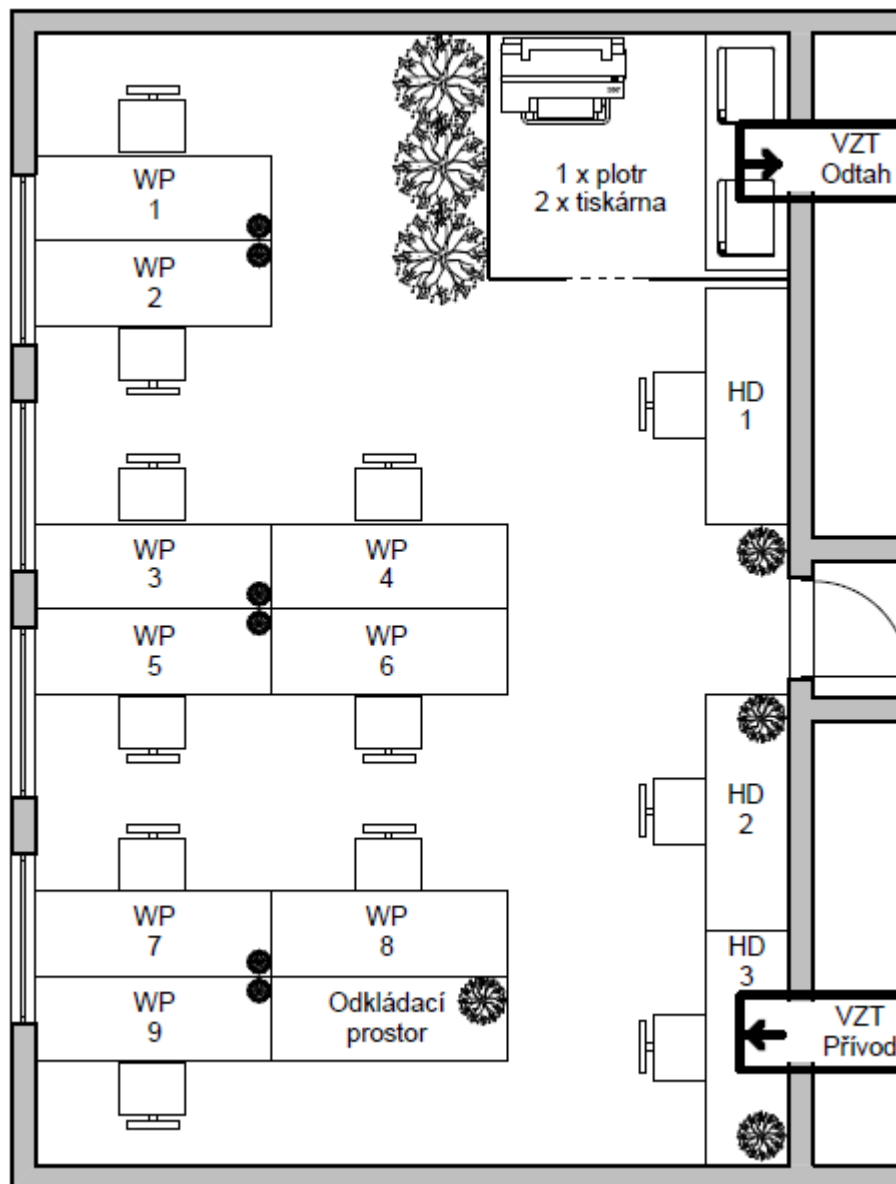
Do konceptu snažící se navrhnout správné řešení bylo zakomponováno maximální množství rostlin, tiskárny a plotr byly umístěny pod odtah vzduchu a byly ohraničeny skleněnou příčkou přes celou výšku místnosti pro zamezení šíření škodlivin od odtahu vzduchu. V konceptu bylo dbáno na umístění trvalých pracovních míst blízko oken a pokud možno dále od zdrojů znečištění, tedy v tomto případě především tiskáren.

Protože značení jednotlivých zařizovacích předmětů a povrchů by schéma udělalo značně nepřehledným, je materiálové řešení specifikováno v následujícím odstavci.

Stoly, židle, police ze zdravotně nezávadných materiálů – kov, masivní dřevo, textilie. Podlahové krytiny – ideálně z masivního dřeva, případně keramická dlažba nebo koberce, které nejsou zdroji polutantů (povětšinou s certifikací). Obklady – keramické, dřevěné nebo zcela bez obkladů – čistá omítka, ideálně sádrová. Podhledy – pokud je to možné, tak zcela bez podhledů – tedy omítka, případně z materiálů, které nejsou zdroji polutantů nebo jsou zdroji značně redukovány.

Celkový koncept správně navrženého prostoru z hlediska rozvržení s ohledem na větrání je zobrazeno ve schématu 1.

Schéma 1 – Vhodně řešené koncepční schéma vnitřního prostředí místnosti v administrativní budově



LEGENDA:

- Rostlina, průměr cca 250 mm
- ⊗ Rostlina, průměr cca 500 mm
- ⊗ Rostlina, průměr cca 1000 mm
- WP1 Pracovní místo č. 1
- HD1 Sdílené pracovní místo č. 1

Zdroj: Vlastní koncepční schéma

## **9.2 Koncept nevhodně navrženého řešení vnitřního prostředí**

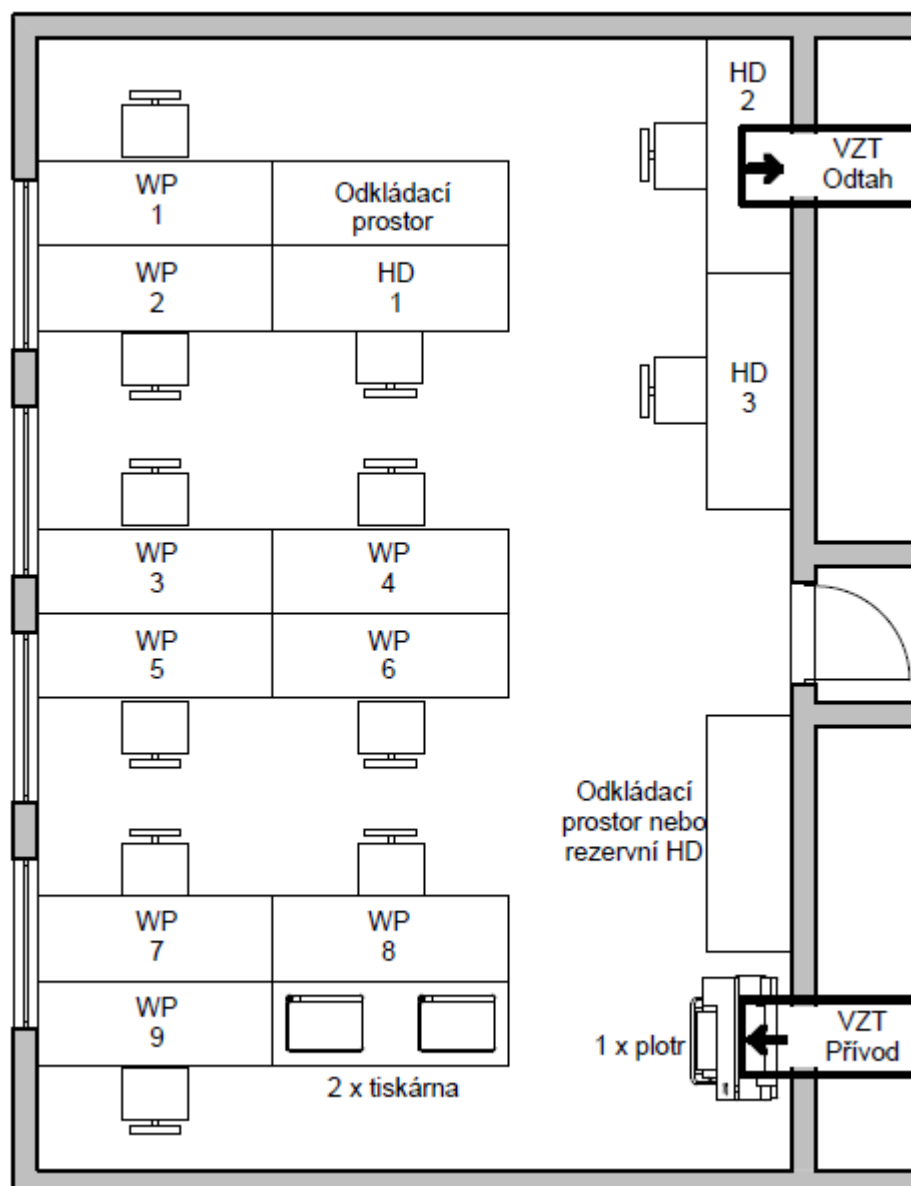
Oproti konceptu správně navrženého prostředí je sice toto řešení prostornější (přibýlo jedno rezervní sdílené pracovní místo), ale v takovém navrženém prostředí budou pravděpodobně zaznamenány řádově vyšší koncentrace polutantů. Je to především z důvodu nesprávného umístění tiskárny pod přívod vzduchu, kdy všechny polutanty vznikající při činnosti zařízení budou dále roznášeny do zbytku interiéru. Dále byly odebrána všechna zeleň, která měla schopnost pohlcovat CO<sub>2</sub>, vzniká zde tedy riziko zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> oproti předchozímu navrženému konceptu.

Značení materiálů do schématu by stejně jako v přechozím případě schéma značně znepráhlednilo, proto je opět materiálové řešení specifikováno v následujícím odstavci.

Stoly, židle police – dřevotříska, PVC, polymery. Podlahová krytina – PVC, koberec (jež je zdrojem škodlivin, pravděpodobně bez certifikace). Obklady – lepené konstrukční dřevo (bez certifikace nezávadnosti), PVC, tapety s užitím lepidla obsahující škodliviny. Podhledy – obdobně jako podlahy – lepené konstrukční dřevo (bez certifikace nezávadnosti), případně jiné materiály, které jsou výrazným zdrojem škodlivin.

Koncept, z kterého je patrné nevhodné řešení, je zobrazen ve schématu 2.

Schéma 2 – Nevhodně řešené koncepční schéma vnitřního prostředí místnosti v administrativní budově



LEGENDA:

WP1 Pracovní místo č. 1

HD1 Sdílené pracovní místo č. 1

Zdroj: Vlastní koncepční schéma

## **10. Další možnosti výzkumu**

Mezi další možnosti výzkumu se může řadit otázka rostlin, které nebyly v této práci řešeny, přičemž by mohla být zkoumána jejich schopnost pohlcovat i další polutanty. Výzkum může být zaměřen na schopnost absorpce jednotlivých polutantů během nočních hodin. Další výzkum se také může zabývat otázkou schopnosti rostlin pohlcovat škodliviny z dlouhodobého hlediska, kdy není jasné, zdali bude rostlina postupně ztrácet tendenci jednotlivé polutanty absorbovat nebo bude tendence jiná. Takové měření by mohlo přinést zajímavé poznatky, pokud by bylo zkoumáno v rádech dnů, týdnů a měsíců.

V této práci dále nemohl být srovnán způsob eliminace polutantů pomocí ionizace vzduchu, přičemž další výzkum v tomto směru by mohl být přínosem. Může být vhodné prověřit zdroje záporných a kladných iontů ve vnitřním prostředí budov a sledovat efektivitu jednotlivých způsobů k dosažení optimálního elektroiontového mikroklimatu. Výzkum se také může zabývat otázkou jaký vliv mohou mít rostliny na elektroiontové mikroklima ve vnitřním prostředí budov.

V práci se také řešila životnost filtrační soustavy, obsahující kromě předfiltrů i filtry s aktivním uhlíkem či ekvivalentem. Protože má na životnost takové soustavy vliv více faktorů, může být provedeno měření na více budovách, kde by byly sledovány jednotlivé faktory ovlivňující životnost filtrační soustavy – tedy především koncentrace škodlivin nasávaného vzduchu, nastavení filtrační soustavy a její účinnost a prováděná údržba filtrační soustavy. Měření by mohlo být zaměřeno na dobu, za kterou ztratí filtrační soustava požadovanou účinnost.

## **Závěr**

Práce měla stanovené několik cílů – stanovit běžně se vyskytující polutanty ve vnitřním prostředí budov, vliv těchto polutantů na lidské zdraví, způsoby eliminace polutantů ve vnitřním prostředí a srovnání jejich efektivity. Na základě těchto zjištění měly být navrženy jednotlivé postupy pro správu budov vedoucí k trvalému snížení polutantů ve vnitřním prostředí a dále mělo být vzorově navrženo jedno koncepční schéma vnitřního prostředí s vhodným řešením z hlediska eliminace polutantů a jedno koncepční schéma s nevhodným řešením. Všechny cíle práce byly dosaženy, nicméně z důvodu nedostatku relevantních dat z měření, bylo srovnání jednotlivých způsobů provedeno pouze na třech sledovaných látkách.

Ze srovnání jednotlivých způsobů vyplynulo, že pokud se řešená budova nachází ve venkovním prostředí, kde nejsou obvyklé zvýšené koncentrace polutantů, je ventilace vhodným způsobem k potlačení výskytu polutantů ve vnitřním prostředí. V případě, že vnější ovzduší vykazuje značně zvýšené koncentrace znečišťujících látek, je pro efektivní snížení polutantů ve vnitřním prostředí nutné použít i systém filtrace s aktivním uhlíkem či ekvivalentním filtračním médiem. Rostliny dokáží znečišťující látky ve vnitřním prostředí snižovat ve srovnání s ventilací a filtrací pouze zanedbatelným způsobem, nicméně mají velkou schopnost snižovat koncentraci oxidu uhličitého.

Vhodným řešením k trvale udržitelnému stavu vnitřního prostředí, je vydávání příslušných politik správou objektu, ve kterých bude řešen aktivní a pasivní přístup k problematice. Politiky a předpisy by měly především pojednávat o způsobech rekonstrukcí a oprav ve sledovaném objektu, způsobech zásobování, o výběru vhodných dodavatelů, o samotném způsobu eliminace polutantů. Politiky by měly obsahovat doporučení, jak trvale snižovat výskyt polutantů ve vnitřním prostředí.

Pro trvalé snížení polutantů ve vnitřním prostředí staveb lze doporučit všechny řešené způsoby touto prací, výsledný efekt bude závislý na množství zavedených opatření správou budovy.



## Použitá literatura

- [1] Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta: *POŠKOZENÍ ROSTLIN POLUTANTY V OVZDUŠÍ*. [výukový materiál, online]. Dostupné z URL: <[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_sklad/frvs/hrudova/index\\_soubory/Page2836.htm](http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page2836.htm)> [cit. 15.12.2017]
- [2] JOKL, Miloslav. *Teorie vnitřního prostředí budov* [online]. Praha, 2011. Dostupné z URL: <[https://ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni\\_materialy/TVPB/Teorie\\_vnitřního\\_prostředí.pdf](https://ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/TVPB/Teorie_vnitřního_prostředí.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [3] SLÍVA, Jiří. Dioxiny a lidské zdraví. In: *Postgraduální medicína* [online]. Univerzita Karlova v Praze, 3. LF, Ústav farmakologie, 2005. Dostupné z URL: <<https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/dioxiny-a-lidske-zdravi-166065>> [cit. 15.12.2017]
- [4] MATOUŠKOVÁ, Leona. Znečištění ovzduší přízemním ozonem. In: *Resort životního prostředí* [online]. CENIA, Česká informační agentura životního prostředí. Dostupné z URL: <[http://cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPEBFL8NIS5](http://cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPEBFL8NIS5)> [cit. 15.12.2017]
- [5] MYATT, Ted. *Volatile Organic Compounds in the Home: Sources, Health Implications, and Solutions* [online]. HONEYWELL, 2015. Dostupné z URL: <[https://www.honeywellpluggedin.com/sites/default/files/voc\\_in\\_home\\_white\\_paper.pdf](https://www.honeywellpluggedin.com/sites/default/files/voc_in_home_white_paper.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [6] ISO 16000-6:2011 *Indoor air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID*. ICS: 13.040.20. Ed. 2, December 2012. International Organization for Standardization.
- [7] HOLOUBEK, I., KOČAN, A., HOLOUBKOVÁ, I., KOHOUTEK, J. *Persistentní organické polutanty* [online]. RECETOX – TOCOEN & Associates, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí. Brno, 2001. Dostupné z URL: <[http://www.recetox.muni.cz/res/file/narodni\\_centrum/reg-centrum/unipo/Anex\\_11.pdf](http://www.recetox.muni.cz/res/file/narodni_centrum/reg-centrum/unipo/Anex_11.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [8] CHENG, Yu-Hsiang, LIN Chi-Chi, HSU Shu-Chen. *Comparison of conventional and green building materials in respect of VOC emissions and ozone impact on secondary carbonyl emissions* [online]. ELSEVIER, February 2015. Dostupné z URL: <<https://pdfs.semanticscholar.org/5f6a/3ba0419c3a287bc0c8cac973dd1e63d1f696.pdf>> [cit. 15.12.2017]

- [9] STEINEMANN, A. *Volatile Emissions from Common Consumer Products* [online]. The University of Melbourne, Melbourne School of Engineering, Department of Infrastructure Engineering, Melbourne, March 2015. Dostupné z URL: <<http://www.drsteinemann.com/Articles/Steinemann%202015.pdf>> [cit. 15.12.2017]
- [10] KOWALSKA, J., SZEWCZYŃSKA M., POŚNIAK M. *Measurements of chlorinated volatile organic compounds emitted from office printers and photocopiers* [online]. Springer Berlin Heidelberg, October 2014. ISSN 1614-7499. Dostupné z URL: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-014-3672-3>> [cit. 15.12.2017]
- [11] DUŠKOVÁ Š. *Možnosti objektivního posouzení expozice tabákovému kouří – pasivní kouření* [online]. Praha, Státní zdravotní ústav, 18.9.2014. Dostupné z URL: <[http://www.szu.cz/uploads/Vzdelavaci\\_akce/CHPPL/KD\\_140918/6\\_Moznosti\\_objektivního\\_posouzení\\_expozice\\_tabakovému\\_kouří\\_pasivní\\_kouření\\_Duskova\\_S.\\_SZ\\_U\\_Praha\\_.pdf](http://www.szu.cz/uploads/Vzdelavaci_akce/CHPPL/KD_140918/6_Moznosti_objektivního_posouzení_expozice_tabakovému_kouří_pasivní_kouření_Duskova_S._SZ_U_Praha_.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [12] Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1-120. In: *International Agency for Research on Cancer* [online]. IARC, 2017. Dostupné z URL: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>> [cit. 15.12.2017]
- [13] BRE GLOBAL [online]. *BREEAM In-Use International – Technical Manual*. ©2015. [03.2015]. Dostupné na vyžádání: <[www.breglobal.com](http://www.breglobal.com), [www.greenbooklive.com](http://www.greenbooklive.com), [enquiries@breglobal.com](mailto:enquiries@breglobal.com)>
- [14] *Factors Affecting the Rate of Photosynthesis* [online]. University of Nairobi, School of Biological Sciences. Dostupné z URL: <[http://learning.uonbi.ac.ke/courses/SBT204/scormPackages/path\\_2/1111\\_factors\\_affecting\\_the\\_rate\\_of\\_photosynthesis.html](http://learning.uonbi.ac.ke/courses/SBT204/scormPackages/path_2/1111_factors_affecting_the_rate_of_photosynthesis.html)> [cit. 15.12.2017]
- [15] *Výkladový terminologický slovník některých pojmů používaných v analýze a hodnocení rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií* [online]. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2010. Dostupné z URL: <[http://www.vubp.cz/images/soubory/prevence-zavaznych-havarii/metodiky/vykladovy-slovník-01\\_07\\_2010.pdf](http://www.vubp.cz/images/soubory/prevence-zavaznych-havarii/metodiky/vykladovy-slovník-01_07_2010.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [16] ŠKODOVÁ, L., VÍDEN I. *Stanovení VOC a vybraných parametrů v ovzduší znečištěném automobilovou dopravou* [online]. Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, 2007. Dostupné z URL: <[http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska\\_cinnost/obhajoba\\_semestrálního\\_projektu\\_2007/36\\_stanovení\\_voc\\_a\\_vybraných\\_parametrů\\_v\\_ovzduší\\_znečištěném\\_automobilovou\\_dopravou\\_soubor.pdf](http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska_cinnost/obhajoba_semestrálního_projektu_2007/36_stanovení_voc_a_vybraných_parametrů_v_ovzduší_znečištěném_automobilovou_dopravou_soubor.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [17] *Rozdělení filtrů do tříd, vlastnosti filtrů a typické příklady použití* [online]. KS Klima-Service. Dostupné z URL: <<http://www.ksklimaservice.cz/cz/rozdeleni-filtru-do-trid-vlastnosti-filtru-a-typicke-priklady-pouziti>> [cit. 15.12.2017]

- [18] *Metabolické procesy* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z URL: <[http://www.sci.muni.cz/~fyzrost/part\\_02.pdf](http://www.sci.muni.cz/~fyzrost/part_02.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [19] YAMORI W., HIKOSAKA K., WAY D. A. *Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation* [online]. Springer Netherlands, 2013. ISSN 1573-5079. Dostupné z URL: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11120-013-9874-6>> [cit. 15.12.2017]
- [20] YANG D. S., PENNISI S. V., SON K. CH., KAYS S. J. *Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency* [online]. HortScience, vol. 44/5. Virginie, 2009. Dostupné z URL: <<http://hortsci.ashspublications.org/content/44/5/1377.short>> [cit. 15.12.2017]
- [21] YANG D. S., SON K. CH., KAYS S. J. *Volatile organic compounds emanating from indoor ornamental plants* [online]. HortScience, vol. 44/2. Virginie, 2009. Dostupné z URL: <<http://hortsci.ashspublications.org/content/44/2/396.full>> [cit. 15.12.2017]
- [22] YOON J. W., SON K. CH., YANG S. D., KAYS S. J. *Removal of indoor tobacco smoke under light and dark conditions as affected by foliage plants* [online]. HortScience, vol. 27/2. Virginie, 2009. Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/236734106\\_Removal\\_of\\_tobacco\\_smoke\\_under\\_light\\_and\\_dark\\_conditions\\_as\\_affected\\_by\\_foliage\\_plants](https://www.researchgate.net/publication/236734106_Removal_of_tobacco_smoke_under_light_and_dark_conditions_as_affected_by_foliage_plants)> [cit. 15.12.2017]
- [23] RUBINOVÁ O. *Vzduch, který dýcháme* [online]. Brno, VUT, Fakulta stavební, 2013. Dostupné z URL: <<http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/tp05.pdf>> [cit. 15.12. 2017]
- [24] PRÁŠIL O. *Fotosyntéza, Uhlíkový metabolismus* [online]. Třeboň, Mikrobiologický ústav AVČR, 2011. Dostupné z URL: <[http://kebr.prf.jcu.cz/download/lectures/KEBR220/KEBR220\\_07-2011.pdf](http://kebr.prf.jcu.cz/download/lectures/KEBR220/KEBR220_07-2011.pdf)> [cit. 15.12.2017]
- [25] EPA. *Technical bulletin – Choosing an adsorption system for VOC: carbon, zeolite, or polymers?* [online]. Environmental protection agency, Springfield, 1999. Dostupné z URL: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fadsorb.pdf>> [cit. 15.12.2017]
- [26] KHAN F. I., GHOSHAL A. K. *Removal of volatile organic compounds from polluted air* [online]. ELSEVIER, November 2000. Dostupné z URL: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423000000073>> [cit. 15.12.2017]
- [27] HSE. *Ozone: Health hazards and control measures* [online]. Health and safety Executive, Ed. 3, EH38, 2014. Dostupné z URL: <<http://www.hse.gov.uk/pubns/eh38.pdf>> [cit. 15.12.2017]
- [28] Skupina ČEZ. *Energetika ve světě* [online]. ČEZ, 2016. Dostupné z URL: <<https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html>> [cit. 15.12.2017]

[29] EPA. *Technical overview of volatile organic compounds* [online]. Environmental protection agency. Dostupné z URL: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>> [cit. 15.12.2017]

## Seznam tabulek

Tabulka 1	Obecný výběr polutantů a jejich vliv na lidské zdraví
Tabulka 2	Sledované látky se zdrojem v konstrukčních materiálech
Tabulka 3	Sledované polutanty vylučované z čistících a aromatizovaných produktů
Tabulka 4	Typické polutanty vylučované z tiskáren a kopírovacích zařízení při jejich provozu
Tabulka 5	Specifikace sledovaných zařízení pro tisk
Tabulka 6	Produkce sledovaných škodlivých látek tiskárnou v přepočtu na 1 vytištěnou stránku
Tabulka 7	Produkce sledovaných škodlivých látek tiskárnou v přepočtu na 100 vytištěných stránek za hodinu
Tabulka 8	Produkce sledovaných škodlivých látek z tiskáren – výsledné koncentrace při provozu
Tabulka 9	Polutanty z cigaretového kouře, bez látek, které již byly uvedeny
Tabulka 10	Specifikace kategorií karcinogenů pro člověka
Tabulka 11	Přehled běžně používaných certifikátů v ČR
Tabulka 12	Přípustné kontaminace ovzduší sledovanými látkami
Tabulka 13	Výsledné hodnoty VOC z měření na D1
Tabulka 14	Přehled koncentrací po úpravě
Tabulka 15a	Dělení filtrů a účel jejich využití – hrubý prach
Tabulka 15b	Dělení filtrů a účel jejich využití – jemný prach
Tabulka 15c	Dělení filtrů a účel jejich využití – mikročástice
Tabulka 15d	Dělení filtrů a účel jejich využití – výpary, plyny
Tabulka 16	Schopnost pohlcovat VOC zkoumanými rostlinami

Tabulka 17	Přehled dat k dispozici pro možnost srovnání efektivity způsobů eliminace
Tabulka 18	Vzorově stanovené koncentrace ve vnitřním prostředí pro srovnání efektivity
Tabulka 19	Koncentrace přívodního vzduchu
Tabulka 20	Požadované koncentrace (75 % výchozí hodnoty)
Tabulka 21	Vypočtené hodnoty požadovaného výkonu pro výměnu vzduchu za účelem snížení koncentrací
Tabulka 22	Vypočtené hodnoty požadovaného výkonu pro výměnu vzduchu s filtrací s aktivním uhlíkem či ekvivalentem
Tabulka 23	Vypočtené hodnoty požadované plochy zelených listů pro redukci škodlivin
Tabulka 24	Rekapitulace dosažených výsledků

## Seznam grafů

- |        |  |
|--------|--|
| Graf 1 | Struktura světové výroby elektřiny v zemích OECD v roce 2015                         |
| Graf 2 | Adsorpce a desorpce CO <sub>2</sub> rostlinou  |
| Graf 3 | Závislost koncentrace polutantů ve vnitřním prostředí na množství větraného vzduchu  |
| Graf 4 | Schopnost fixovat CO <sub>2</sub> v závislosti na teplotě listu a metabolickém cyklu |
| Graf 5 | Schopnost růstu rostlin v závislosti na teplotě a metabolickém cyklu                 |
| Graf 6 | Vliv vystavení rostlin déle působící koncentraci na schopnost redukovat škodliviny   |

## **Seznam schémat**

- |          |   |
|----------|---|
| Schéma 1 | Vhodně řešené koncepční schéma vnitřního prostředí místnosti v administrativní budově   |
| Schéma 2 | Nevhodně řešené koncepční schéma vnitřního prostředí místnosti v administrativní budově |