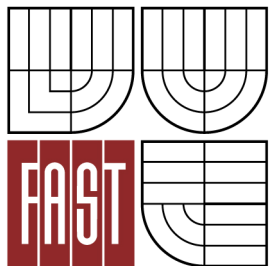




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTORU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN ZEMÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. JAN ZEMÁNEK
Název	Vliv vnějšího prostředí na kvalitu vnitřního prostoru
Vedoucí diplomové práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C1. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující zadanou problematiku

Předeepsané přílohy

.....

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá kvalitou vnějšího a vnitřního prostředí a možností vzájemného ovlivňování. Řeší složky, škodliviny a zdroje škodlivin, které jsou obsaženy ve vnějším i vnitřním vzduchu a ovlivňují tak okolí nás všech. V teoretické části jsou popsány zdroje, jejich limitní koncentrace či možnosti filtrace jednotlivých látek. Podrobně jsou pak shrnuty možnosti větrání a výměny vzduchu v budovách určených pro shromažďování osob.

Další část pak řeší způsoby úpravy kvality vnitřního prostředí (třída základní školy) dle změn průtoku vzduchu, možnosti větrání a vliv vnějšího prostředí na kvalitu vzduchu v interiéru. Součástí je i návrh nuceného větrání na části budovy školy.

V experimentální části jsem se zaměřil na zhodnocení koncentrace oxidu uhličitého ve vnějším a vnitřním prostředí a možnostmi zatížení hlukem. V závěru práce jsou varianty komentovány a zhodnoceny.

Klíčová slova

Vzduch, oxid uhličitý, kvalita vnějšího a vnitřního prostředí, průtok vzduchu, nucené větrání, výměna vzduchu, vzduchotechnická jednotka, experimentální měření, hluk, koncentrace.

Abstract

This thesis deals with the quality of the external and internal environment and the possibility of interaction. Resolves components, pollutants and sources of pollutants that are contained in the external and internal air and thus influence around us all. The theoretical part describes the resources, limit concentration or additional filtering of the individual substances. Are summarized in detail the possibility of air exchange and ventilation in buildings intended for public gatherings. Another part of the treatment methods solve indoor environmental quality (grade of primary school) according to the changes of air flow, ventilation options and the impact of external environment on indoor air quality. It also includes a proposal for forced ventilation of the building of the school.

In the experimental part, I focused on the evaluation of the concentration of carbon dioxide in the external and internal environment and the possibilities of noise pollution. In conclusion, there are variants commented and evaluated.

Keywords

Air, carbon dioxide, the quality of the external and internal environment, air flow, forced ventilation, air exchange, ventilating plant, experimental measurements, noise, concentration.

Bibliografická citace VŠKP

ZEMÁNEK, Jan. *Vliv vnějšího prostředí na kvalitu vnitřního prostoru*. Brno, 2013. 113 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7.1.2013

.....
podpis autora
Jan Zemánek

Poděkování:

Děkuji tímto Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce.

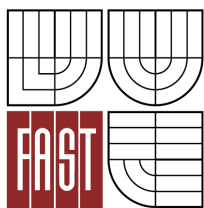
PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7.1.2013

.....
podpis autora
Bc. JAN ZEMÁNEK



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

Autor práce Bc. JAN ZEMÁNEK

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav technických zařízení budov

Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby

Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Vliv vnějšího prostředí na kvalitu vnitřního prostoru

Název práce v anglickém jazyce

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze

Anotace práce Diplomová práce se zabývá kvalitou vnějšího a vnitřního prostředí a možnostmi vzájemného ovlivňování. Řeší složky, škodliviny a zdroje škodlivin, které jsou obsaženy ve vnějším i vnitřním vzduchu a ovlivňují tak okolí nás všech. V teoretické části jsou popsány zdroje, jejich limitní koncentrace či možnosti filtrace jednotlivých látek. Podrobně jsou pak shrnuty možnosti větrání a výměny vzduchu v budovách určených pro shromažďování osob.

Další část pak řeší způsoby úpravy kvality vnitřního prostředí (třída základní školy) dle změn průtoku vzduchu, možnosti větrání a vliv vnějšího prostředí na kvalitu vzduchu v interiéru. Součástí je i návrh nuceného

větrání na části budovy školy.

V experimentální části jsem se zaměřil na zhodnocení koncentrace oxidu uhličitého ve vnějším a vnitřním prostředí a možnostmi zatížení hlukem. V závěru práce jsou varianty komentovány a zhodnoceny.

- Anotace práce v anglickém jazyce** This thesis deals with the quality of the external and internal environment and the possibility of interaction. Resolves components, pollutants and sources of pollutants that are contained in the external and internal air and thus influence around us all. The theoretical part describes the resources, limit concentration or additional filtering of the individual substances. Are summarized in detail the possibility of air exchange and ventilation in buildings intended for public gatherings. Another part of the treatment methods solve indoor environmental quality (grade of primary school) according to the changes of air flow, ventilation options and the impact of external environment on indoor air quality. It also includes a proposal for forced ventilation of the building of the school.
- In the experimental part, I focused on the evaluation of the concentration of carbon dioxide in the external and internal environment and the possibilities of noise pollution. In conclusion, there are variants commented and evaluated.
- Klíčová slova** Vzduch, oxid uhličitý, kvalita vnějšího a vnitřního prostředí, průtok vzduchu, nucené větrání, výměna vzduchu, vzduchotechnická jednotka, experimentální měření, hluk, koncentrace.
- Klíčová slova v anglickém jazyce** Air, carbon dioxide, the quality of the external and internal environment, air flow, forced ventilation, air exchange, ventilating plant, experimental measurements, noise, concentration.

Obsah

1	Úvod	13
A.	Analýza tématu, cíle a metody řešení	14
2	Vnější prostředí a vzduch	15
2.1	Složení vzduchu	15
2.2	Čistota ovzduší	16
2.3	Kvalita ovzduší	16
2.4	Znečištění ovzduší	17
2.5	Hlavní látky znečišťující ovzduší	18
2.6	Skleníkové plyny	24
2.7	Hluk	28
2.8	Zhodnocení	29
3	Přenos média mezi vnějším a vnitřním vzduchem	30
3.1	Bilance větraného prostoru	30
3.2	Způsoby přenosu	34
4	Možnosti úpravy média během přenosu (výměny)	41
4.1	Základní odlučovací principy	41
4.2	Parametry filtračních materiálů	43
4.3	Třídění a použití filtrů	44
4.4	Konstrukce filtrů	50
5	Vnitřní prostředí- Interní mikroklima	54
5.1	Mikroklima budov a lidské zdraví	55
5.2	Kvalita vzduchu uvnitř budovy	59
B.	aplikace tématu na zadané budově – koncepční řešení	61
6	Analýza objektu z hlediska zadaného tématu, výchozí požadavky a hodnoty	62
6.1	Analýza objektu	62
6.2	Výchozí požadavky a hodnoty	63
6.3	Aktuální technická řešení v praxi	63
7	Experimentální řešení	64
8	Varianty řešení pro rozdílné podmínky	64
8.1	Varianty výměny vzduchu	65
9	Hodnocení navržených variant z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí a jiné	69

10	Ideové řešení profesí TZB v zadané budově, výkresová dokumentace	70
10.1	Hlavní účel budovy a požadavky na VZT zařízení	70
10.2	Distribuční prvky.....	71
10.3	Dimenzování potrubí a tlaková ztráta	73
10.4	Izolace potrubí.....	74
10.5	Úprava vzduchu, návrh VZT jednotky.....	74
10.6	Útlum hluku.....	79
10.7	Technická zpráva.....	79
C.	Experimentální řešení a zpracování výsledků	84
11	Všeobecně.....	85
12	Hodnocení vnějšího prostoru.....	85
12.1	Využité přístroje při měření	85
12.2	Prostředí hodnocení.....	87
12.3	Postup měření.....	87
12.4	Výsledky měření:	89
12.5	Hodnocení	91
13	Kvalita a tvorba vnitřního prostoru (interního mikroklimatu).....	93
13.1	Použité přístroje.....	93
13.2	Místo měření	93
13.3	Postup měření.....	95
13.4	Legislativa	95
13.5	Vyhodnocení	97
13.6	Sestavení algoritmu pro modelování koncentrace CO ₂	100
13.7	Vyhodnocení výsledků algoritmu	103
14	Závěr.....	104

1 Úvod

V dnešní době tráví člověk 80 až 90% času v uzavřeném prostředí uvnitř budovy. Kvalita vnitřního prostředí je pro člověka velmi důležitá, protože setrvání v tomto prostředí bývá značné. Přichází tedy snaha o vytvoření kvalitního vnitřního mikroklima, jehož stav formují agentie představující energetické a hmotnostní toky. Nejvýznamnější vliv na kvalitu prostředí má tepelně vlhkostní mikroklima a hlavně stav vnitřního vzduchu. Všechny tyto složky ovlivňují fyzické zdraví a duševní pohodu. Prvním subjektivním ukazatelem zhoršené kvality je pocit tzv. vydýchaného vzduchu, který pociťujeme. Nevýhodou však je, že lidské tělo se rychle přizpůsobuje a při dlouhodobějším působení ztrácíme vlastnosti vnímání těchto negativních vlivů. Jednou z několika látek, která výrazně ovlivňuje prostředí a pohodu v interiéru je koncentrace oxidu uhličitého. Tato látka je významnou škodlivinou, protože její hladina koncentrace se často pohybuje v limitních mezích, což je dáno hlavně zdrojem, kterým je člověk. Na různé úrovně koncentrací lidské tělo reaguje proměnlivými stavy, jedná se především o bolesti hlavy, únavu, závratě či nevolnosti. Vysoké koncentrace jsou pak člověku životně nebezpečné.

V teoretické části popisují různé typy škodlivin ve vnějším a vnitřním prostředí. Jejich zdroje, možnosti úprav či ohrožení pro lidský organismus. Dále pak přibližují informace k možnosti výměny vzduchu mezi těmito prostředími a způsoby filtrace či úpravy.

V části experimentální jsem se zaměřil na zjišťování a pohyb koncentrací oxidu uhličitého a hluku v různě exponovaných místech. Vzhledem k faktu, že pro nás nejvýznamnější zdrojem pociťovaným v budovách je oxid uhličitý obsažený ve vydechovaném vzduchu, rozhodl jsem se provést měření v místech, jež jsou denně zatížené, a kvalita vzduchu zde hraje podstatnou roli. Tímto stále zatíženým místem myslím učebnu objektu pro výchovu a vzdělání.

Zjištěné informace o nárůstu koncentrace a kvality vzduchu pak užiji v části třetí, jež se dá popsat jako aplikace pro konkrétní případ.

Cílem práce je také poukázat na řešení a kvalitu prostředí, v němž se pohybujeme, a má výrazný vliv na naše zdraví.

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

Při návrhu větrání a interního mikroklimatu je často opomíjeným faktorem kvalita vnějšího prostředí. V této části jsem se zaměřil na přiblížení škodlivin, které jsou obsaženy ve vnějším prostředí, jejich zdroje a limitní koncentrace. Dále pak na způsob přenosu vzduchu mezi vnějším a vnitřním prostředím.

Aktuálním tématem při řešení interního mikroklimatu je kvalita vnitřního prostředí budov. To je velkým podílem ovlivňováno kvalitou vnitřního vzduchu. Při zatížení vnitřními zdroji – osobami, dochází k nárůstu koncentrace a zhoršení stavu vnitřního vzduchu. Ve většině případů je kvalita v objektech horší než kvalita vzduchu ve venkovním prostředí. V současné době je velká snaha o energetické úspory. Krom ekonomické stránky dochází ze strany investorů i k požadavkům na vytvoření zdravého prostředí.

2 Vnější prostředí a vzduch

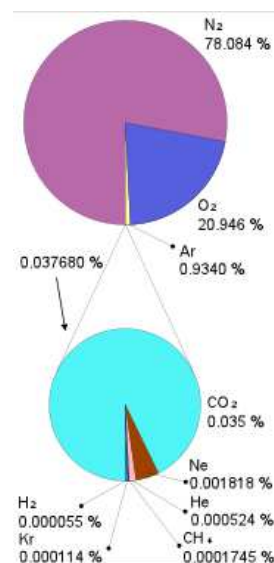
Vzduch je směs plynů tvořící plynný obal Země - atmosféru, která sahá až do výše asi 10 000 km. Má vliv na všechny chemické proměny, jak v nerostné přírodě respektive v neživé přírodě, tak i v živých organismech. Prakticky všechny živé organismy by bez kyslíku z ovzduší nemohly vůbec existovat. Má i své významné fyzikálně chemické vlastnosti, jedná se zejména o transport vody nebo-li koloběh vody v ovzduší. Kromě toho tepelná kapacita vzduchu udržuje na Zemi teplotu přijatelnou pro život, jinak by na noční straně naší planety byl mráz několika desítek stupňů, kdežto na denní straně by bylo více než stostupňové horko. Je také důležitou průmyslovou surovinou. Mimo jiné vzduch (resp. kyslík v něm obsažený) také slouží k oxidaci paliva ve všech běžných spalovacích motorech, k oxidaci paliva při výrobě elektrické energie v tepelných elektrárnách, dále při vytápění či ohřevu vody atd.. Vzduch tedy slouží co by druhá (prakticky neviditelná) složka každého běžného fosilního paliva. [23]

2.1 Složení vzduchu

Pro život člověka je kyslík nejdůležitější chemickou látkou. Bez vody vydrží člověk několik dní, bez potravy několik týdnů, ale bez kyslíku jen několik minut.

Ve vzduchu je 21 objemových % kyslíku, 78 % dusíku a 1 % jiných plynných látek (zejména oxid uhličitý a argon), dále i vodní pára, částičky prachu, mikroorganismy a různé průmyslové látky.

Převážně se vzduch skládá ze dvou součástí: kyslíku, který udržuje hoření a pokud se vyčerpá, nic živého v takovém vzduchu nemůže žít a dusíku, který naopak dýchání znemožňuje. Tuto skutečnost jako první popsal Leonardo da Vinci (1452–1519).



Obrázek 1: Složky a dělení vzduchu

(Zdroj: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Atmosphere_gas_proportions.svg)

Složení vzduchu se v důsledku intenzivního promíchávání asi do 100 km nemění. Výjimku tvoří obsah ozónu, oxidu uhličitého a vodní páry. Ve vyšších výškách ubývá množství těžších plynů a přibývá lehčích. Pro živé bytosti je významný především úbytek tlaku vzduchu s výškou, protože představuje snížení tlaku kyslíku v plicích a tím jeho horší vstřebávání. Nad 5000 m. n. m. lidé nemohou existovat. Vzduch je průhledný, bezbarvý a bez zápachu. [12]

Vzduch je důležitou průmyslovou surovinou, ze které se získává hlavně kyslík, dusík a argon. Průmyslově se kyslík vyrábí destilací vzduchu zkapalněného stlačením a ochlazením. Kyslík podporuje hoření.

Druhou důležitou složkou vzduchu je dusík. Je nezbytný např. pro růst rostlin, které ho přijímají hlavně z půdy ve formě dusitanů, dusičnanů a amonných solí. Dusík získaný destilací vzduchu se používá k výrobě amoniaku. Protože plynný dusík je nehořlavý, používá se jako ochranná atmosféra při skladování hořlavin, při sváření některých kovů nebo při chemických experimentech, kde vidí přítomnost kyslíku.

2.2 Čistota ovzduší

Rozvoj průmyslové výroby a dopravy zvyšuje naši životní úroveň. Má však i záporné stránky, jako např. znečišťování ovzduší, které se projevuje nejvíce ve výrazně průmyslových, a tím i značně zalidněných oblastech.

Nečistoty v ovzduší jsou různého původu. Téměř polovinu nečistot v ovzduší produkují motorová vozidla, jejichž výfukové plyny obsahují hodně jedovatých látek. Ovzduší je znečišťováno i prachem, který automobily víří.

Na znečišťování ovzduší se dále výrazně podílejí nežádoucí zplodiny průmyslové výroby. Při spalování uhlí vzniká dým, který kromě pevných látek obsahuje i zdraví škodlivé látky plynné. Tyto plynné látky poškozují např. kovy, kůži, papír, nátěry, ale hlavně škodí živým organismům – rostlinám a živočichům. Pro člověka je velmi škodlivý i dým z cigaret.

Pro zachování čistoty ovzduší se na celém světě provádějí různá opatření. Průmyslové závody budují vlastní čističky. V automobilovém průmyslu se vyvíjejí nové konstrukce motorů nebo přídavných zařízení, která pomáhají dokonaleji spalovat výfukové plyny (katalyzátor). Zdokonaluje se výroba paliv. Látky obsahující olovo, které jsou přidávány do benzínu, jsou postupně nahrazovány jinými, méně škodlivými látkami.

Velmi škodlivě působí na živé organismy i radioaktivní a biologické aerosoly (např. uniklé při havárii či přírodního původu).

2.3 Kvalita ovzduší

Jako kvalitu vnějšího ovzduší označujeme úroveň znečištění vnějšího ovzduší, která může svými účinky ovlivňovat lidské zdraví, vegetaci, celé ekosystémy i materiály.

Tato úroveň znečištění vnějšího ovzduší je způsobena vypouštěním znečišťujících látek z různých zdrojů v důsledku lidské činnosti (např. doprava, spalování, průmyslová výroba, a další). Znečišťující látky jsou po vypuštění ze zdroje přenášeny v atmosféře a mohou tak

ovlivňovat kvalitu ovzduší jak v nejbližším okolí samotného zdroje znečištění, tak ve vzdálenějších oblastech.

Základní právní normou upravující hodnocení a řízení kvality ovzduší je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění. Podrobnosti pak dále specifikuje nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší (dále jen nařízení).

Nařízení stanovuje přípustné úrovně znečištění ovzduší (imisní limity, cílové imisní limity a dlouhodobé imisní cíle) pro celkem třináct znečišťujících látek, které mají prokazatelně škodlivé účinky na lidské zdraví, ekosystémy a vegetaci. Souhrnná informace o kvalitě ovzduší za uplynulý rok je každoročně předkládána členům vlády a dále zveřejňována na stránkách ministerstva životního prostředí. [10]

2.4 Znečištění ovzduší

V České republice patří mezi hlavní znečišťující látky ovzduší tuhé znečišťující látky (TZL), prach, oxid siřičitý (SO_2), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), těkavé organické látky (VOC), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), amoniak (NH_3), oxid uhličitý (CO_2) a další. K současným nejvýznamnějším zdrojům emisí patří výroba elektrické a tepelné energie (produkce SO_2 a NO_x), silniční doprava (produkce NO_x , TZL a VOC) a vytápění domácností (produkce TZL a PAU). Zemědělství je hlavním zdrojem NH_3 , používání rozpouštědel je pak hlavním zdrojem VOC.

Měřeními se zabývá ČHMÚ, který každoročně vydává Ročenku „Znečištění ovzduší na území České republiky“, která společně s elektronicky publikovanou datovou ročenkou „Souhrnný tabulární přehled“ představuje souhrnný přehled údajů a informací o kvalitě ovzduší na území České republiky v daném roce. Obě ročenky jsou každoročně zpracovávány na základě údajů shromažďovaných v Informačním systému kvality ovzduší Českého hydrometeorologického ústavu (ISKO) a za využití dalších podkladů a matematických nástrojů. Zatímco datová ročenka je zaměřena na objektivní prezentaci verifikovaných imisních dat a údajů o chemickém složení atmosférických srážek z jednotlivých lokalit, ročenka znečištění ovzduší poskytuje informace v přehledné podobě formou tabulek, grafů a mapových podkladů. Kromě informací o imisní zátěži a atmosférické depozici a jejich trendech, obsahuje Ročenka též informace o emisích znečišťujících látek na území ČR a vývoji emisních bilancí v uplynulých letech. Sledovány jsou nejen „klasické“ polutanty, ale i skleníkové plyny.

V souvislosti se znečišťujícími látkami je důležité připomenout, co se rozumí pod pojmem emise a imise a také emisním a imisním limitem:

- emise - vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí,
- imise - znečištění ovzduší vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek,
- emisní limit - nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek nebo pachových látek vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší,
- imisní limit - hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší.

2.5 Hlavní látky znečišťující ovzduší

2.5.1 Tuhé znečišťující látky TZL

Tuhými znečišťujícími látkami jsou nazývány částice různých velikostí, tvaru, původu, složení a struktury, které jsou za teploty a tlaku v komíně, výpustí nebo při měření emisí přítomny v odpadním plynu v pevném skupenství a jsou jím unášeny. Částice obsažené ve vzduchu lze rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou emitovány přímo do atmosféry, ať již z přírodních (např. sopečná činnost, pyl nebo mořský aerosol) nebo z antropogenních zdrojů (např. spalování fosilních paliv ve stacionárních i mobilních zdrojích, otěry pneumatik, brzd a vozovek). Sekundární částice jsou převážně antropogenního původu a vznikají v atmosféře ze svých plynných prekurzorů SO_2 , NO_x a NH_3 procesem nazývaným konverze plyn-částice. Na celkových emisích částic se v České republice podílí cca 90 %. Hlavními zdroji celkových emisí, tj. primárních částic a prekurzorů sekundárních částic (SO_2 , NO_x , NH_3) je v České republice veřejná energetika (výroba elektrické a tepelné energie), doprava a výrobní procesy. Z důvodu různorodosti emisních zdrojů mají suspendované částice různé chemické složení a různou velikost. [6]

2.5.2 Prach

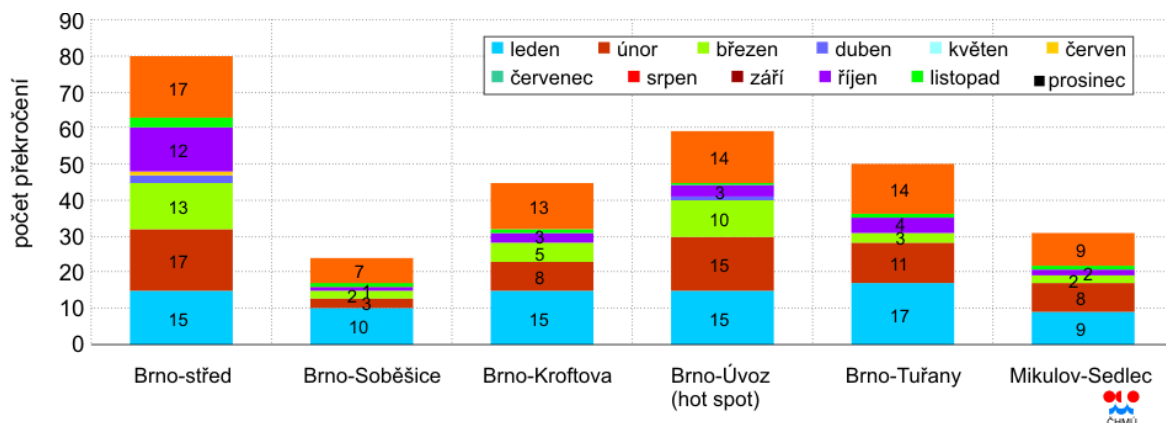
Jedná se o malé a lehké částice, které se dlouho usazují na povrchu. Právě kvůli této vlastnosti se vžil pojem „polétavý prach“. Všeobecně se prach označuje zkratkou PM a je dělen do tří kategorií dle velikosti částic, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{1,0}$. Např. PM_{10} jsou částice do 10 mikrometrů (tj. tisícín milimetru). Čím menší jsou částice, tím déle trvá, než se usadí (i několik týdnů).

Částice mohou vznikat přírodní nebo lidskou činností, např. sopečnou erupcí, požáry, spalovací procesy. Z pohledu na lidské zdraví je prach hodnocen dle složení. Při zvýšení doby působení „toxického“ vzduchu na člověka dochází k vdechování částic do plic. Při srovnání vdechovaného vzduchu v prostředí města a přírody je citelný rozdíl. Ve městě vdechujeme rozptýlené části spalin z motorů dopravních prostředků, jež obsahují rakovinotvorné látky. V přírodě pak vdechujeme rozvířené látky z půdy, jež jsou ale v násobně nižší koncentraci. Částičky větší jak 10 μm se obvykle usadí na nosní sliznici. Menší částice (PM_{10}) se dále usazují na průduškách. Nejnebezpečnější jsou částice $\text{PM}_{2,5}$ a $\text{PM}_{1,0}$, které se usazují níže v plicích v plicních sklípcích. Částice v plicích škodí jednak zaprášením ale hlavně působením jedovatých složek, jež jsou obsaženy v prachu. Tyto složky, jako např. arzén, kadmium, chrom, nikl, olovo či další rakovinotvorné látky se usazují a při dlouhodobém působení způsobují rakovinu. Nadměrné vdechování může způsobovat např. astma, plicní choroby, růstové vady narozených či nenarozených dětí, cukrovku, vysoký krevní tlak, srdeční onemocnění či již zmíněnou rakovinu s možným následkem smrti.

V číslech pak statistiky hovoří jasně, v ČR se jemný prach podílí na úmrtnosti okolo 5%. V Evropě zemře předčasně kvůli polétavému prachu okolo 348 000 lidí. Prach zkracuje průměrnou délku života ve městech o rok. Znečištění ovzduší má na svědomí sedmkrát více životů než dopravní nehody na evropských silnicích.

Pro polétavý prach PM_{10} platí čtyřiadvacetihodinový limit 50 mikrogramů na m^3 , přičemž tento limit může být 35x ročně překročen. Další platný limit stanovuje nejvyšší průměrnou

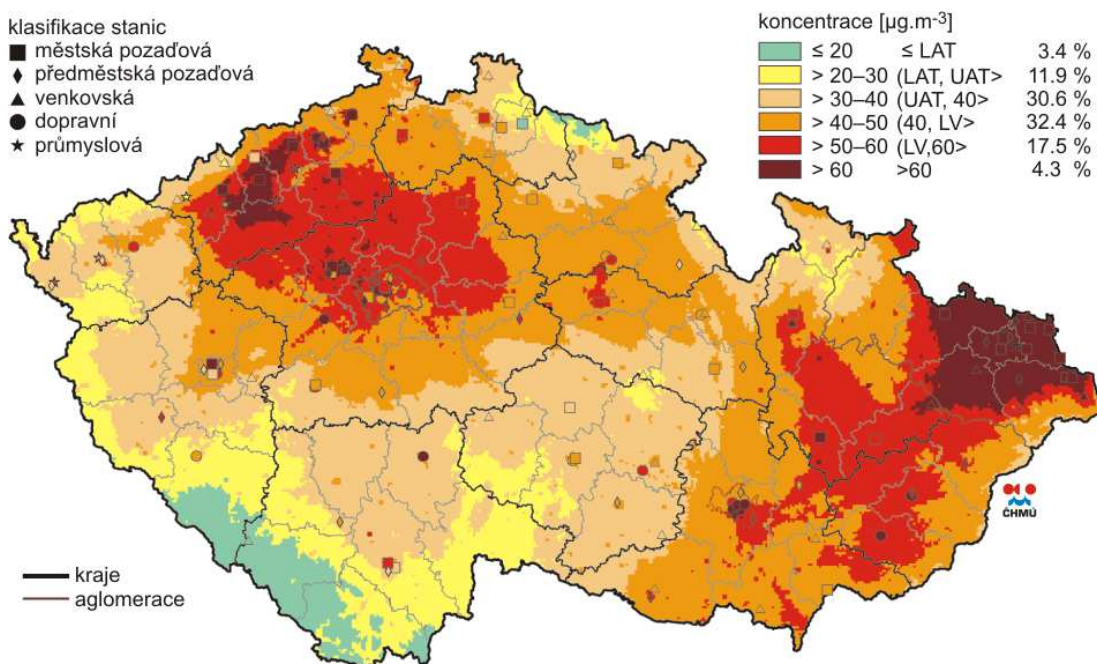
koncentraci za celý rok na 40 mikrogramů. Dle nejnovějších studií však mohou mít škodlivé zdravotní účinky i nižší koncentrace polévatého prachu.



Graf 1: Počty překročení 24 hod. limitní hodnoty $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ koncentrace PM_{10} v jednotlivých měsících roku 2010

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav. *Znečištění ovzduší na území české republiky v roce 2010*. cit.[10.10.2012] Dostupné na internetu: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap241.html>

Překračování imisního limitu PM_{10} se stále významným způsobem podílí na zařazení obcí mezi oblasti s překročenými imisními limity. Zejména ve městech, kde se provádí měření PM_{10} , jsou 24hodinové průměrné koncentrace nadlimitní. Plošná zobrazení koncentrací PM_{10} ukazují, že imisní limit 24hodinové průměrné koncentrace pro PM_{10} byly v roce 2011 překročeny na 21,8 % plochy České republiky, kde žije přibližně 50,8 % obyvatel (v roce 2010 se jednalo o 21,2 % území ČR a cca 48 % obyvatel).



Obrázek 2: Místa překročení imisních limitů PM_{10} pro 24hodinové průměrné koncentrace v roce 2011 Zdroj: Český hydrometeorologický ústav. *Znečištění ovzduší na území české republiky v roce 2010*. cit.[10.10.2012] Dostupné na internetu: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap2421.html>

Bez ohledu na to je imisní limit pro polétavý prach překročen na třetině území ČR. Na této třetině území však žijí dvě třetiny obyvatel, kteří jsou prachu vystaveni a musí čelit zvýšeným zdravotním rizikům. V České republice a v Polsku je situace nejhorší z celé Evropské unie. V porovnání čistoty ovzduší asi ve 30 velkých evropských městech z hlediska znečištění polétavým prachem vyšlo jako vůbec nejhorší město Praha. Evropská unie chce zpřísnit limit tak, aby povolený limit 50 mikrogramů na metr krychlový nesměl být překročen častěji než sedmkrát za rok. Zpřísnilo se tak dosavadní kritérium tolerující překročení stanovené hranice pětaticetkrát. [7]

2.5.3 Oxid siřičitý SO_2

Hlavním antropogenním zdrojem oxidu siřičitého (SO_2) je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud s obsahem síry. V atmosféře je SO_2 oxidován na sírany a kyselinu sírovou vytvářející aerosol jak ve formě kapiček, tak i pevných částic širokého rozsahu velikostí. SO_2 a látky z něj vznikající jsou z atmosféry odstraňovány mokrou a suchou depozicí. SO_2 má dráždivé účinky, při vysokých koncentracích může způsobit zhoršení plicních funkcí a změnu plicní kapacity. [6]

2.5.4 Oxid dusičitý NO_x

Pod tímto termínem se rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Dále do této skupiny patří oxid dusitý (N_2O_3), tetraoxid dusíku (N_2O_4) a oxid dusičitý (N_2O_5). Další oxidy dusíku se vyskytují v menších množstvích.

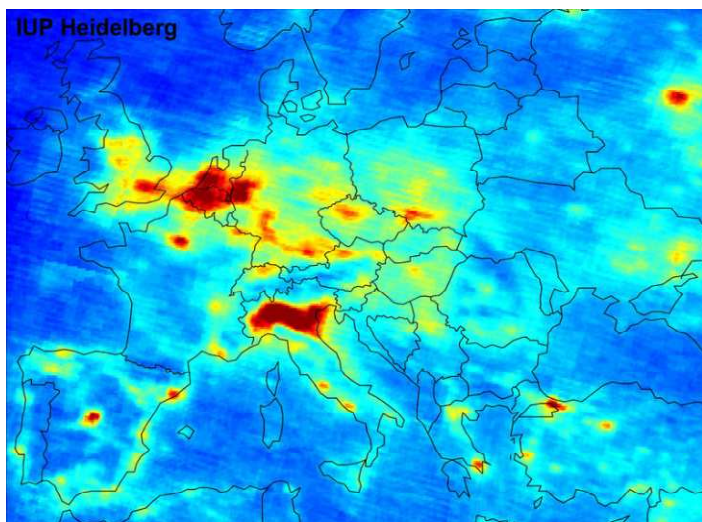
Oxid dusičný se používá jako meziprodukt při výrobě kyseliny dusičné či v mnohých průmyslových procesech jako silné oxidační činidlo.

Emise jsou tvořeny hlavně při spalování ušlechtilých paliv (nafta, plyn, biomasa). V dnešní době mají emise oxidů dusíku rostoucí charakter. Hlavním zdrojem jsou škodliviny vzniklé automobilovou dopravou (až 55%). Mezi další možné zdroje úniku oxidů dusíku je nutné zařadit veškeré chemické procesy, kde jsou oxidy přítomny. Mezi přírodní zdroje patří biologické procesy v půdách či vznik oxidu dusíku oxidací vzdušného dusíku během výbojů v atmosféře.

Oxid dusičitý je společně s oxidy síry součástí takzvaných kyselých dešťů, které mají negativní vliv například na vegetaci, stavby a dále pak okyselují vodní plochy a toky. Oxid dusičitý (NO_2) společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) přispívá k tvorbě přízemního ozonu a vzniku tzv. fotochemického smogu. Vysoké koncentrace přízemního ozonu poškozují živé rostliny včetně mnohých zemědělských plodin. Oxid dusnatý (NO) je také jedním ze skleníkových plynů.

Oxidy dusíku mohou negativně působit na zdraví člověka především ve vyšších koncentracích, které se ovšem běžně v ovzduší nevyskytují. Vdechování vysokých koncentrací, nebo dokonce čistých plynů, vede k závažným zdravotním potížím a může způsobit i smrt. Předpokládá se, že se oxidy dusíku váží na krevní barvivo a zhoršují tak přenos kyslíku z plic do tkání. Některé náznaky ukazují, že oxidy dusíku mají určitou roli i při vzniku nádorových onemocnění. Vdechování vyšších koncentrací oxidu dusíku dráždí dýchací cesty.

V České republice platí pro koncentrace oxidu dusíku (s výjimkou oxidu dusného) následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, NPK - P – $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Na mapě je znázorněna situace oxidu dusičitého v Evropě. Je patrné zvýšení hodnot z důvodu silniční dopravy a průmyslové činnosti. Nejvyšší koncentrace jsou zachyceny v okolí měst (Paříž, Londýn, Madrid, Praha a dalších) a pak v okolí průmyslových oblastí (Porýní, sever Itálie, Belgie a Nizozemí).

Obrázek 3: Situace zatížení NO_x v Evropě

Zdroje: Gnosis 9. Net Oxid dusičitý dusí obyvatelé zeměkoule. cit.[10.11.2012] Dostupné na internetu: <http://gnosis9.net/view.php?cislocclanku=2004110009>

2.5.5 Oxid uhelnatý CO

Antropogenním zdrojem znečištění ovzduší oxidem uhelnatým (CO) jsou procesy, při kterých dochází k nedokonalému spalování fosilních paliv. Je to především doprava a dále stacionární zdroje, zejména domácí topeniště. Zvýšené koncentrace mohou způsobovat bolesti hlavy, zhoršují koordinaci a snižují pozornost. Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin, zvýšené koncentrace vzniklého karboxyhemoglobinu omezují kapacitu krve pro přenos kyslíku. [6]

2.5.6 Ozon O₃

Ozon je přírodní plyn, který se skládá z atomů kyslíku. Nachází se v ochranné atmosféře, kde díky nepříznivým účinkům freonů jsou vytvářeny tzv. ozónové díry a v přízemní vrstvě troposféry, kde zvyšování koncentrace přispívá k tvorbě losangeleského smogu.

Ozón je nestálý plyn, který se samovolně rozpadá zpět na kyslík bez zbytkových škodlivých látek. Přízemní ozon je sekundární znečišťující látkou v ovzduší, která nemá vlastní významný emisní zdroj. Vzniká za účinku slunečního záření komplikovanou soustavou fotochemických reakcí zejména mezi oxidy dusíku (NO_x), těkavými organickými látkami (VOC) a dalšími složkami atmosféry. Ozon je velmi účinným oxidantem. Poškozuje převážně dýchací soustavu, způsobuje podráždění, morfologické, biochemické a funkční změny a snižuje obranyschopnost organismu. Je prokazatelně toxický i pro vegetaci. [6]

Ozón je druhý nejsilnější plyn pro sterilizaci, který má lidstvo k dispozici. Ničí 99,9 % všech známých bakterií, proto je ideální jako chemicky čistý desinfekční prostředek. Oblasti s vysokým znečištěním jsou např. města, postrádají přirozeně vytvořený ozón, neboť je zde nadměrně spotřebováván oxidačními substancemi, které chrlí do vzduchu auta, továrny a lidé.

2.5.7 Těžké kovy a sloučeniny

Těžkými kovy se rozumí kovy, jejichž hustota je větší než 4500 kg/m^3 . Kovy se vyznačují různou mírou toxicity a různým působením na živé organismy. Mezi silně toxické prvky se řadí As, Cd, Hg, Pb, Cr, Th a Ni. Mezi potencionálně toxické patří Co, Cu, Fe, Mn, Se a Zn. Prvky méně toxické jsou Sb, Sn a V. Obecně lze říci, že částice silně toxické poškozují zejména respirační systém vznikem nemocí. Většina těžkých kovů vzniká v atmosféře antropogenními procesy (vysokoteplotní procesy – spalování fosilních paliv, výroba oceli a neželezných kovů)

2.5.8 Těkavé organické látky VOC (Volatile Organic Compounds)

VOC se dostávají do ovzduší při výrobě a zpracování barev a rozpouštědel, výrobě chemických produktů a spalování pohonných hmot.

Těkavé organické látky podporují vznik přízemního ozonu, který poškozuje vegetaci i lidské zdraví (tohle je „vidět i cítit“ hlavně ve velkých městech s intenzivním automobilovým provozem). Některé složky VOC ohrožují ochrannou vrstvu stratosférického ozonu a podporují vytváření skleníkového efektu. Negativní účinek na organismy je závislý na době expozice (např. 40 mg/m^3 může být pro člověka smrtelné již po 5 - 10 ti minutách). VOC dráždí sliznici (oči, dýchací a zažívací ústrojí) a je znám také jejich narkotický účinek, vedoucí až ke křečím. Nebezpečné je samozřejmě i chronické působení menších koncentrací.

Celá řada VOC obsahuje toxické, karcinogenní a teratogenní látky, je to široká škála škodlivin a pro jednotlivé výrobky je škodlivost různá.

2.5.9 Polycyklické aromatické uhlovodíky PAU

Skupina představuje velmi široký výčet látek, obsahující kondenzovaná aromatická jádra. Do této skupiny patří např. naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen a jiné. Látky jsou málo rozpustné ve vodě ale dobře rozpustné v tucích a olejích. PAU vznikají v rámci spalovacích procesů

Látky PAU jsou obsaženy v celé řadě běžných produktů dnešního průmyslu (motorová nafta, výrobky z černouhelného dehtu, asfalt či materiály používané při pokrývání střech a při stavbě silnic.

Tyto látky vznikají v rámci spalovacích procesů u materiálů obsahující uhlík při nedokonalém spalování. Je vhodné očekávat výskyt všude, kde se vyskytují ropné či uhelné produkty (dehty, asfalty), či výroba hliníku. Za přírodní zdroj emisí se dá považovat přírodní požáry, či sopečné erupce. Mezi antropogenní zdroje patří zejména spalovací procesy, rafinerie, výroba hliníku, nakládání s dehty, asfalty či jinými ropnými nebo uhelnými produkty.

PAU jsou toxické pro mnoho živých organismů. Mohou způsobovat rakovinu, genetické poruchy či další. Látky jsou schopné transportu na velké vzdálenosti (ve formě neabsorbované na zrna sazí a prachových částic).

Významným zdrojem látky benzo(a)pyren, jež se řadí mezi látky PAU je obsažen např. v cigaretách. Vykouření jedné cigarety do plic člověk vnese cca 25 ng. Když vezmeme v úvahu, že člověk vykouří denně 20 cigaret, vystavuje se látkám o stejném množství jako by se celý den pohyboval v prostředí kontaminovaném benzo(a)pyrenem o koncentraci 20 ng.m^{-3} .

Je nutné zdůraznit, že v běžném prostředí se pohybují koncentrace PAU na velmi nízké koncentraci, při níž nemůže docházet k akutnímu ohrožení lidského zdraví.

2.5.10 Amoniak NH_3

Jedná se o bezbarvý plyn s typickým čpícím štiplavým zápachem. Hlavní použití amoniaku spočívá ve výrobě kyseliny dusičné, průmyslových hnojiv, výbušnin, polymerů, farmaceutických výrobků, kaučuku, tenzidů a některých pesticidů. Uplatňuje se i v petrochemickém průmyslu a v galvanickém pokovování. Hlavní podíl na celkových emisích amoniaku do atmosféry představuje rozklad lidských i zvířecích biologických odpadu (uvádí se až 74 %). Mezi další nevýrazné zdroje patří výroba hnojiv, splaškové odpadní vody, průmyslové chlazení či rozklad rostlinného odpadu. V malém množství se amoniak vyskytuje v cigaretovém kouři.

Amoniak je velice toxický pro vodní organismy (zejména ryby), proto hraje důležitou roli jeho velmi dobrá rozpustnost ve vodě. Toxické koncentrace amoniaku mohou být uvolňovány rozkladem chlěvské mrvy.

Krátkodobá expozice amoniaku může dráždit i popálit kůži a oči s rizikem trvalých následků. Dráždit může rovněž nosní sliznice, ústa, hltan a způsobuje kašel a dýchací potíže. Inhalace amoniaku může dráždit plíce a způsobit kašel či dušnost. Expozice vyšším koncentracím amoniaku může způsobit zavodnění plic (edém) a vážné dýchací potíže.

V koncentraci vyšší než 0,5 % obj. (asi $3,5 \text{ g.m}^{-3}$) je i krátkodobá expozice smrtelná. V běžném prostředí je však koncentrace amoniaku natolik nízká, že prakticky nepředstavuje žádné riziko.

Jeho výhodou je z tohoto hlediska i velice intenzivní štiplavý zápach, který na jeho případnou přítomnost v ovzduší upozorní dříve, než by koncentrace mohla stoupnout na nebezpečnou úroveň.

V České republice platí pro koncentrace amoniaku následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 14 mg.m^{-3} , NPK - P – 36 mg.m^{-3} .

2.5.11 Sulfan H_2S

Jedná se o bezbarvý plyn zapáchající po zkažených vejcích, dobře rozpustný v kapalinách. Vzniká rozkladem organických materiálů. Používá se v analytické chemii, či např. v hutnictví pro přípravu kovových sulfidů. Zdrojem emisí sulfanu je především průmysl (výroba koksu, ropné rafinérie či čističky odpadních vod). Přírodním zdrojem jsou pak sirné prameny, jezera či geotermální aktivita. Sulfan je prudce jedovatý, i v malých dávkách může způsobit smrtelnou otravu. Při koncentracích 1 000 - 2 000 ppm se sulfan rychle vstřebává do krve a způsobuje nejprve zrychlené dýchání, které je později vystřídáno zástavou dechu. Při koncentracích 100 – 1000 ppm je nejčastější příčinou edém plic. Čichem jsou rozpoznatelné již koncentrace 0,0005-0,13 ppm (podle individuální citlivosti).

2.5.12 Benzen

Jedná se o čirou bezbarvou kapalinu s charakteristickým zápachem. Používá se jako surovina pro celou řadu chemických látek (barviva, tkaniny, plasty, výbušniny léčiva a jiné).

Využívá se také v tiskařství, obuvnickém průmyslu, či jako součást automobilového benzínu. Hlavním zdrojem emisí jsou výfukové plyny automobilů, těkáním benzínu při tankování či z nádrže. Dalším zdrojem jsou úniky z chemického průmyslu, rafinérií či ze spalování paliv (uhlí).

V atmosféře se benzen vyskytuje hlavně v plynné fázi. Spolu s oxidy dusíku je příkladem fotochemického smogu.

Benzen může vstupovat do těla inhalací či orálně. Nejvíce se usazuje v kostní dřeni a orgánech zásobených krví. Primárně benzen poškozuje centrální nervovou soustavu, imunitní systém či krevetvorbu. Projevem jsou závratě, bolesti hlavy a zmatenost.

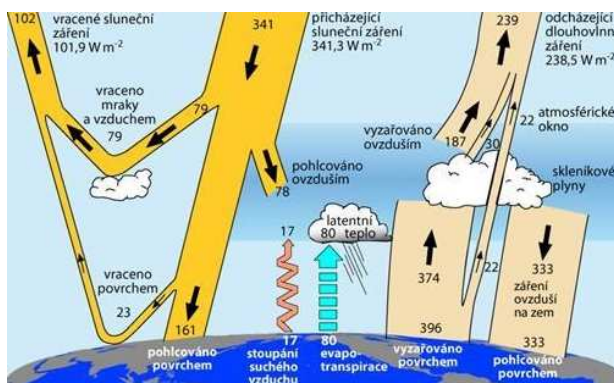
Benzen je velmi toxická látka. Je toxický akutně i chronicky. Při dlouhodobé expozici může způsobovat leukémii.

V České republice platí pro koncentrace benzenu následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, NPK - P – $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

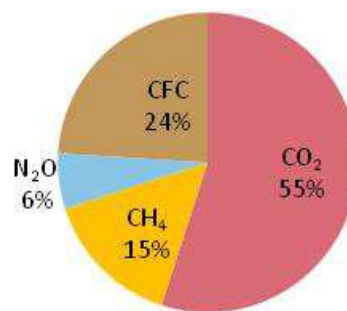
2.6 Skleníkové plyny

Změna klimatu je v současnosti považována za jeden z nejzávažnějších globálních problémů. Klimatický systém je ovlivňován celou řadou lidských aktivit, přičemž převažující úloha se přičítá emisím skleníkových plynů, které způsobují zesilování skleníkového efektu. S ohledem na globální působení je změna klimatu celosvětový problém, jehož řešení si vyžaduje aktivní a konstruktivní přístup ze strany všech států. Mezi nejzávažnější dopady postupující klimatické změny patří rostoucí četnost extrémních klimatických jevů (povodně, sucha, vichřice), zvyšování hladiny oceánů, klesající dostupnost pitné vody, desertifikace, redukce biodiverzity, atd. [6]

Mezi hlavní skleníkové plyny patří vodní pára (H_2O), oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a fluorované skleníkové plyny.



Obrázek 5: Podíl vlivu skleníkových plynů na globálních tocích energie



Obrázek 4: Podíl složek skleníkových plynů

Zdroje: WINDOWS TO THE UNIVERSE. cit. [05.10.2012]

Dostupné na internetu: [http://www.windows2universe.org/earth/climate/greenhouse_effect_gases.html]

2.6.1 Vodní pára H₂O

Vodní pára je nejvýznamnější skleníkový plyn, její skleníkový efekt je víc než 10 000× vyšší než u oxidu uhličitého, způsobující jeho jak kladnou, tak zápornou zpětnou vazbu. Z 99,9 % se nalézá v zemské troposféře. Kondenzací vodní páry vznikají oblaka, mraky a dešťové a sněhové srážky, vodní pára je též hlavní příčinou vzniku blesků či nejčastější a nejvíce zastoupený vulkanický plyn. Při hladině moří a oblastí věčného sněhu a ledu se vodní pára vyskytuje v množství až do tří procent, a množství jejího výskytu je exponenciálně závislé na okolní teplotě. [23]

2.6.2 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Nachází se volně v atmosféře. Vzniká reakcí uhlíku a kyslíku (spalováním). Dalším produktem je dýchání většiny živých organismů. Po chemické stránce je oxid uhličitý velice stálý a ani při velmi vysokých teplotách nad 2000 °C se ztelně nerozkládá. Ve vodě se snadno rozpouští.



Oxid uhličitý je nedýchatelný a ve vyšších koncentracích může způsobit bolesti hlavy, závratě, nevolnost, ztrátu vědomí či smrt. V krvi se váže na hemoglobin a vytěsňuje tak kyslík, který se pak z plic obtížněji dostává do mozku a tkání těla.

Obrázek 6: Molekula oxidu uhličitého

Zdroj: Wikipedie. Carbon dioxide structure, cit. [05.10.2012]
Dostupné na internetu .
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Carbon_dioxide_structure.png

Protože koncentraci CO₂ nejsme našimi smysly schopni posoudit, je osobní hodnocení kvality vzduchu velice nespolehlivé.

Lidský organismus přestává koncentraci pachů po určité chvíli vnímat a naše čichové orgány se přizpůsobují prostředí, v němž se vyskytujeme. Určitě všichni známe situaci, když přijdeme do malé místnosti, kde se již nachází několik osob. Při příchodu z venkovního prostředí pocítíme těžký vydýchaný vzduch, ale po chvíli to přestáváme vnímat jako nepříjemnost. Naše čichové orgány se přizpůsobují, přestáváme vnímat koncentraci pachů. Avšak při určité koncentraci se vliv oxidu uhličitého projeví naší nesoustředěností, malátností a podobně. Při vyšších koncentracích se již naše únava zvyšuje a mohou se objevovat bolesti hlavy apod. [18]

Účinky CO₂ na lidský organismus

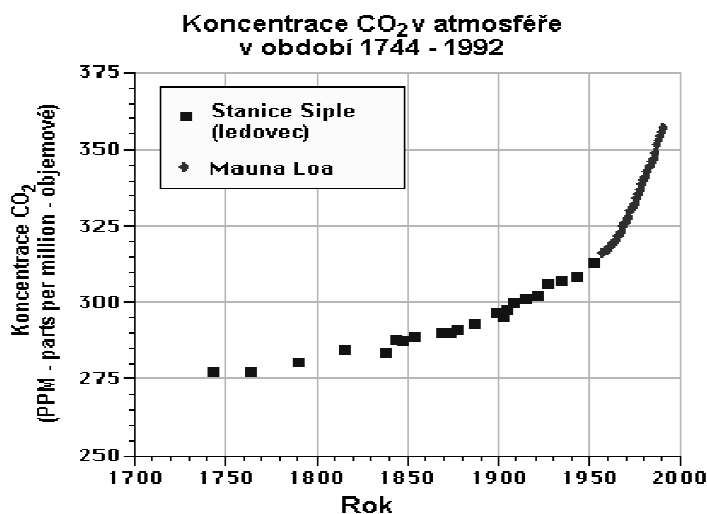
cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1200-1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000-2000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000-5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

Pro eliminaci důsledků koncentrací oxidu uhličitého je třeba větrat s intenzitou cca 25 m³/hod na osobu, což platí pro budovy s výskytem osob jako rodinné domy, bytové a panelové domy, kanceláře apod..

Větrání v nově stavěných nebo rekonstruovaných domech můžeme samozřejmě provádět i nadále okny, ale ze zkušeností a měření prostředí vyplývá, že pokud vyměníme okna a nezměníme zvyk větrat pouze jednou či dvakrát denně, zvýší se koncentrace CO₂ zejména v nočních hodinách nad maximální doporučenou úroveň. [18]

Oxid uhličitý se podílí na vzniku skleníkového efektu. Celkově má však na skleníkovém efektu nižší vliv než vodní pára, která se na něm podílí z více než 60 procent. Nárůst oxidu uhličitého v ovzduší je obecně považován za hlavní příčinu globálního oteplování. Existují však i opačné studie, které naznačují, že naopak nárůst obsahu CO₂ je způsoben zejména nárůstem teplot a změny obsahu CO₂ jsou zpožděny za změnami teplot. Velké množství oxidu uhličitého je také rozpuštěno ve světových mořích a oceánech, které tak regulují jeho množství v atmosféře. Pozvolný nárůst globální teploty však negativně ovlivňuje rozpustnost CO₂ v mořské vodě a pozitivní zpětnou vazbou se tak dostává zpět do vzduchu další dodatečné množství tohoto skleníkového plynu. [22]

Na obrázku č. 7 je zobrazen nárůst koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře od roku 1744 do roku 1992. V posledních 50. letech došlo s rozvojem průmyslu k výraznému nárůstu koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním prostředí.



Obrázek 7: Vývoj koncentrace CO₂ od roku 1740.

2.6.3 Metan CH₄

Metan je druhý nejdůležitější skleníkový plyn z pohledu produkce v ČR, jeho podíl na celkových agregovaných emisích skleníkových plynů poklesl od roku 1990 z 9,7 % na 8,9 % v roce 2009. V období 1990 – 2009 došlo ke snížení emisí metanu o 39,8 %, které bylo způsobeno zejména poklesem těžby uhlí a stavu hospodářských zvířat, v menší míře pak i nižší spotřebou tuhých paliv v domácnostech. Nárůst emisí v sektoru odpadů je snižován využíváním skládkového plynu či bioplynu k energetickým účelům.

Antropogenní emise metanu v ČR pocházejí zejména z těžby, úpravy a distribuce paliv, tento typ zdroje je označován jako fugitivní. Dalšími významnými zdroji emisí metanu je chov zvířectva, anaerobní rozklad bioodpadů při jejich ukládání na skládky a čištění odpadních vod. [6]

2.6.4 Oxid dusný N_2O

Podíl emisí oxidu dusného na celkových agregovaných emisích skleníkových plynů poklesl od roku 1990 z 6,5 % na 5,8 % v roce 2009. Největší množství emisí oxidu dusného pochází ze zemědělských aktivit, zejména denitrifikací dusíku dodávaného do půdy ve formě umělých hnojiv nebo organického materiálu. Dalším významným zdrojem je výroba kyseliny dusičné a v menší míře i doprava (automobily s katalyzátory). [6]

2.6.5 Fluorované skleníkové plyny

Nárůst emisí je způsoben používáním fluorovaným plynů jako náhrady za látky poškozující ozonovou vrstvu Země (chlorofluorkarbon CFC a hydrochlorofluorkarbon HCFC zejména jako chladiva), vyšším používáním moderních technologií (klimatizace) a výrobním zaměřením ČR (produkce automobilů, klimatizačních jednotek). Tyto látky nejsou v České republice vyráběny a veškerá jejich spotřeba je kryta dovozem. Jsou využívány zejména v chladírenské a klimatizační technice (zejména částečně fluorované uhlovodíky HFCs), v elektrotechnice (zejména fluorid sírový SF_6), a v řadě dalších oborů (např. jako meziokenní izolace, plazmatické leptání, náplně hasicích prostředků, hnací plyny pro aerosoly, nadouvadla apod.).

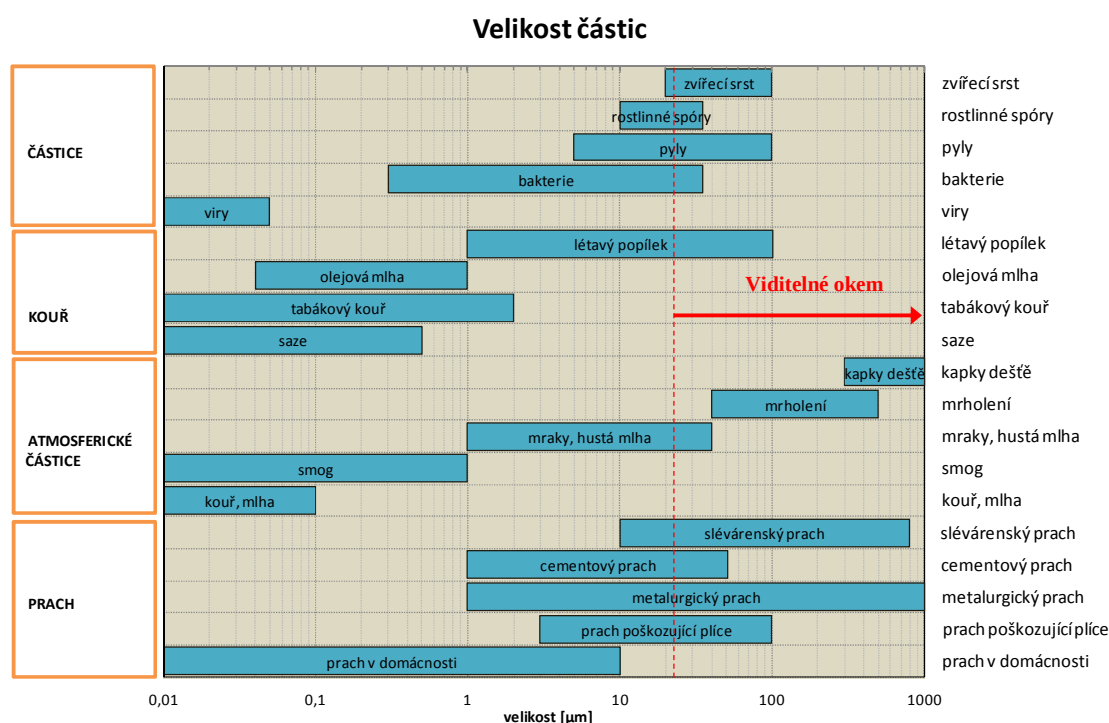
Ke slovu se dostávají i další skleníkové plyny, jejichž produkce začíná oproti minulým letům prudce vzrůstat. Do této kategorie patří například fluorodusík, metylchloroform nebo fluované etéry. Tyto plyny využívají chladírenská zařízení místo dřívějších freonů nebo vznikají při výrobě plochých televizních obrazovek. V současnosti představuje jejich podíl na celkovém objemu průmyslových emisí „bohatých“ zemí sice jen 0,3 %, nicméně se uvažuje o tom, že i tyto plyny budou zahrnuty do nové mezinárodní dohody, která má navázat na Kjótský protokol. [6]

2.6.6 Viry a bakterie

Jedná se o látky či organismy, které se pohybují v ovzduší a nejsou sledovány či hodnoceny z hlediska kvality prostředí. Řadí se mezi ně plísně, viry, bakterie, roztoči, šupinky lidské kůže, vlasy a chlupy. Zdrojem jsou převážně osoby a zvířata. Největší podíl těchto látek je koncentrován v interiérech z důvodu jejich zdrojů. Ve venkovním prostředí je podíl těchto organismů minimální a množství je závislé na ročním období a počasí.

Mikroorganismy v interiérech mohou vzhledem ke své koncentraci vyvolávat nežádoucí účinky v podobě zhoršeného zdravotního stavu. Kromě infekčních onemocnění patří mezi

nejznámější rýma, kašel, bolesti hlavy, astma, záněty průdušek. Pro snížení množství mikrobů a virů v interiéru stačí pouze zvýšení výměny vzduchu větráním. V následujícím grafu č. 2 jsou znázorněny velikosti různých částic obsažených v ovzduší.



Graf 2: Velikost částic obsažených ve vzduchu.

2.7 Hluk

Hluk je jedním z faktorů životního prostředí, který si lidé čím dál víc uvědomují. Především v městských aglomeracích jsou lidé vystavováni nadměrné hlukové zátěži, která se rok od roku zvyšuje, jak se zvyšuje podíl automobilové i letecké dopravy, ale také stavebního ruchu, průmyslové výroby ale i dalších faktorů (může jimi být například zapnutá televize nebo hudební aparatura v domácnosti). Hlukem se rozumí akustický signál, jehož působení člověka poškozuje, ruší a obtěžuje.

Dlouhodobá expozice nadměrnému hluku může vyvolat závažné účinky, které rozdělujeme na specifické (poruchy sluchového ústrojí) a nespecifické (nervové poruchy, poruchy spánku, soustředění, paměti a u citlivých jedinců i další zdravotní potíže). Zvláště citliví bývají starší lidé, lidé pracující na směny, lidé s funkčními a mentálními poruchami, lidé s potížemi se spaním. Kromě zdravotních problémů je dalším důsledkem hluku obtěžování.

Nejvýznamnějším zdrojem hluku je doprava, zejména pozemní. Dalšími zdroji jsou pak průmyslová výroba, v některých obdobích i zemědělství. Nezanedbatelným zdrojem může být i provoz domácnosti (televize, vysavače a další domácí technika) a trávení volného času (zábava, sport, diskotéky, koncerty – zvláště pod širým nebem). Hluk se měří přístroji – hlukoměry. Pro měření hladiny intenzity hluku se používá jednotka decibel (dB).

Orientační hladiny hluku:	hranice slyšitelnosti	0 dB,
	šelest listí	20 dB,
	vrčící lednice	40 dB,
	běžná konverzace	60 dB,
	křik, zapnutý vysavač	80 dB,
	jedoucí vlak	90 dB,
	sbíječka	100 dB,
	startující tryskové letadlo	120 dB.

Se zajímavou informací přišel v listopadu 2012 český statistický úřad. Ve vydané tiskové zprávě se bylo zveřejněno hodnocení obyvatel vyšších 16-ti let, kteří odpovídali na problémy s bydlením. Ve všech dotazovaných kategoriích vzrostla nespokojenost s kvalitou bydlení. V následující tabulce je poukázáno na procentuální nespokojenost s jednotlivými citelnými složkami bydlení.

Podíl domácností uvádějících daný problém v %	Průměr za ČR.	Velikost obce					
		do 1 tis.	1 - 5 tis.	5 - 10 tis.	10 - 50 tis.	50 - 100 tis.	100 tis. a více
Vlhkost	11,3	17,0	12,1	10,9	11,3	9,1	8,4
Tmavý byt	3,5	3,8	2,5	3,0	3,2	3,3	5,0
Malý byt	7,5	4,5	6,4	6,3	8,4	6,2	10,8
Hluk z domu/ulice	15,8	10,0	12,5	15,7	17,2	17,8	20,0
Znečištění prostředí	17,8	11,0	13,3	14,8	18,9	18,6	25,8
Vandalství, kriminalita	15,3	8,1	9,3	14,2	14,1	18,2	24,9

Obrázek 8: Podíly domácností udávající vybrané problémy z okolí bydliště v roce 2011

Zdroj: Český statistický úřad

Dle hodnot je patrné, že hluk z ulice vadí až jedné pětině dotazovaných. Je to dokonce dvojnásobek lidí, kteří by se raději tísnil v malém bytě. Dle zjištěných hodnot je též patrné, že hluk obtěžuje převážně ve velkých městech.

2.8 Zhodnocení

Ve vnější expozici se pohybuje mnoho látek či plynů, které mají zásadní vliv na kvalitu a vlastnosti vzduchu, který dýcháme. Dá se říci, že jsou to látky vzniklé přírodními či antropogenními důsledky. Mezi antropogenní patří převážně látky vzniklé spalováním paliv či spalováním pohonných hmot v dopravě. Většina látek je pro člověka toxických ve větších dávkách. U některých je ale toxická i malá koncentrace. Výčet je znázorněn v předchozí kapitole, kde je u každé látky, plynu popsán zdroj, toxicita a reakce na lidské tělo.

V závěru 20. století patřila kvalita ovzduší mezi nejhorší v Evropě a to pouze díky rozvoji průmyslu. Byla pro to zavedena řada opatření pro snížení znečištění ovzduší (po roce 1989). Tato opatření platila převážně pro průmyslové odvětví.

Po zavedení koncentrace řady látek poklesla (SO_2 , CO_2 , prach). V současnosti kvalita ovzduší udržuje převážně konstantní stav emisí či u většiny látek je zaznamenán menší stagnace. Jsou ale látky, kterými je třeba se zabývat a které vykazují spíše nepatrný nárůst.

Jedná se převážně o složky jako je NO_x či TZL, které jsou produktem zejména silniční dopravy či spalovacích procesů v malých objektech. Přes řadu opatření a pokles emisí se stále nedaří snížit množství koncentrací některých látek. Je spíše patrná stagnace. Občasné výkyvy (pokles či nárůst) koncentrace jsou převážně ovlivněny rozptylovými podmínkami.

3 Přenos média mezi vnějším a vnitřním vzduchem

Při dnešních požadavcích na úsporu energií při užívání budov se snažíme omezit položky, jež nejvíce zasahují do potřeby energií. Největší podíl tvoří složka na vytápění a větrání. Jedním z kroků jak tyto energie výrazně ponížit je využití kvalitnějších materiálů na obálku budovy a konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostorem a jejich provedení, převážně provedení spojů. S tím ovšem souvisí i nutnost zajištění nucené výměny vzduchu v interiéru. Při zkvalitňování konstrukcí vedou ke zvyšování kvality i okenních a dveřních konstrukcí a to hlavně těsnosti, spárové průvzdušnosti a součinitele prostupu tepla.

Při utěsnění obálky ovšem dochází ke znemožnění větrání a tím i výměny vzduchu znečištěného vzduchu z interiéru za „čistý“ z exteriéru.

Vzduch je možné v místnosti vyměňovat trvale, průtok vzduchu je spojitý po celou dobu. Je možné řešit různou intenzitu výměny. Další možností je pak větrání v časových intervalech (občasné větrání). Převážně se doba větrání řídí dle koncentrace škodlivin a tuto hodnotu udržuje na možném či požadovaném limitu.

Větrání je děleno dle „motoru“ jež řídí výměnu.

- větrání přirozené, k němuž dochází při činnosti měrných tláh vnějšího a vnitřního vzduchu nebo při zatížení účinkem větru
- větrání nucené, jež je vyvoláno mechanickou činností motoru a ventilátoru umístěných ve vzduchotechnické jednotce.

3.1 Bilance větraného prostoru

Potřebné průtoky venkovního vzduchu jsou dimenzovány dle druhu a místa instalace. Prvořadým cílem je vytvořit kvalitní prostředí v prostorách a vytvořit tak podmínky pro pobyt člověka a jeho vyvíjenou činnost. Současně s přiváděným vzduchem je nutno i nekvalitní, znečištěný vzduch odvádět a tím i izolovat složky ve vzduchu (vlhkost, aerosoly, bakterie, viry či teplotu) a chránit tak lidský organismus od nechtěných reakcí.

Stanovení průtoku vzduchu

Průtok vzduchu se dimenzuje dle zatížení lidmi a to s přihlédnutím hlavně na ekonomickou stránku návrhu:

- *dle dávky vzduchu na osobu,*
 - *dle koncentrace škodlivin v řešeném objemu,*
 - *dle tepelné zátěže,*
 - *balance vlhkosti,*
 - *dle výměny vzduchu,*
-
- *Výpočet množství vzduchu dle počtu osob*

Podmínka stanovena Max von Pettrnkoferem r. 1877. Koncentrace v prostoru nesmí přesáhnout 0,1% objemu, čemuž odpovídá dávka cca 25 - 35 m³/h.os

$$V = n \cdot V_p$$

kde:

V	...množství přivedeného vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
p	... počet osob	$[-]$
V_p	... množství přiváděného vzduchu na osobu	$[m^3 h^{-1} \text{ na osobu}]$

Kvalitu prostředí stanovuje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Hodnoty se pohybují 50,70 a90 m³.h⁻¹ na osobu a s přihlédnutím na energetickou náročnost činnosti.

- *Výpočet dle produkce škodlivin*

$$V = \frac{m}{k_{\max} - k} [m^3 h^{-1}]$$

kde:

V	...potřebné množství větracího vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
m	...množství vznikající škodliviny	$[g \cdot h^{-1}]$
$k_{\max}$	...koncentrace škodlivin v interiéru	$[g \cdot m^{-3}]$
k	...koncentrace škodlivin v přiváděném vzduchu do místnosti	$[g \cdot m^{-3}]$

- Výpočet dle tepelné zátěže

Pro prostory nenáročné na teploty: kotelny, výměníkové stanice, elektrorozvody, sklady

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \quad [m^3 h^{-1}]$$

Q	... tepelná zátěž	[W]
Δt	... pracovní rozdíl teplot	[°C]
ρ	... hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
c	... měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]

- Výpočet dle bilance vlhkosti větraného prostoru

Potřebné množství vzduchu do větraného prostoru, které má zajistit požadovanou vlhkost v místnosti, je dáno vztahem:

$$V = \frac{M}{\rho \cdot \Delta x} \quad [m^3 h^{-1}]$$

kde

M	... je hmotnostní tok vlhkosti vyvíjené v místnosti	[kg.s ⁻¹]
P	... hustota suchého vzduchu	[kg.m ⁻³]
Δx	... rozdíl měrné vlhkosti vzduchu odváděného a přiváděného	[kg/kg _{s.v.}]

- Výpočet podle doporučené intenzity výměny vzduchu

Pro některé druhy místností bez větších zdrojů škodlivin, jako např. šatny, se navrhuje větrací zařízení na základě doporučených hodnot intenzity výměny venkovního vzduchu n , tj. poměru průtoku venkovního vzduchu přiváděného do místnosti k objemu místnosti.

$$n = \frac{V}{O} \quad [h^{-1}]$$

kde:

V	... množství přivedeného vzduchu	[m ³ .h ⁻¹]
n	... doporučená intenzita výměny	[h ⁻¹]
O	... objem místnosti	[m ³]

Minimální výpočet průtoku

- dle potřeby Kyslíku

$$V = \frac{m}{\rho - \rho_{\min}} = \frac{104,75 \text{ l/h}}{(0,2095 - 0,11)} = 1053 \text{ l/h} = 1,05 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ os}^{-1}$$

kde:

V	...potřebné množství vzduchu pro udržení min. množství kyslíku	$[\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ os}^{-1}]$
m	...spotřeba kyslíku 104,75 l.h ⁻¹ os ⁻¹	$[\text{l.h}^{-1} \text{ os}^{-1}]$
ρ	...koncentrace kyslíku ve venkovním přiváděném vzduchu - 20,95 %	$[\text{l.m}^{-3}]$
$\rho_{\min}$	...minimální množství potřebné k dýchání - 11 %	$[\text{l.m}^{-3}]$

- dle potřeby Oxidu uhličitého - CO₂

$$V = \frac{m}{\rho - \rho_{\min}} = \frac{19 \text{ l/h}}{(1200 - 350) \text{ ppm } 10^{-3}} = 22,35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ os}^{-1}$$

kde:

V	...potřebné množství vzduchu pro udržení max. koncentrace CO ₂	$[\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ os}^{-1}]$
m	...produkce CO ₂ dýcháním 19 l.h ⁻¹ os ⁻¹	$[\text{l.h}^{-1} \text{ os}^{-1}]$
ρ	...koncentrace CO ₂ v interiéru - 1200 ppm	$[\text{g.m}^{-3}]$
$\rho_{\min}$	...koncentrace CO ₂ v exteriéru – 350 ppm	$[\text{g.m}^{-3}]$

Zhodnocení

Z předchozích vztahů vyplývá, že největší potřebné množství vzduchu je potřeba pro udržení hladiny koncentrace CO₂ a to v objektech s převážným zatížením lidmi, z toho také vyplývají normové hodnoty $V_{\min} = 20$ až $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ os}^{-1}$.

3.2 Způsoby přenosu

3.2.1 Větrání s přirozeným oběhem vzduchu

Výměnu vzduchu zajišťují rozdíly způsobené vlivem tlakového rozdílu, který je vyvolán účinkem přírodních sil vznikajících rozdílem teplot a dynamickým účinkem větru – obecně tlakovými rozdíly mezi vnějším a vnitřním prostředím. Ve vytápěném prostoru je účinek vznikající rozdílem teplot trvalý po celou dobu vytápění. Účinek větru je však náhodný a to jak silou, tak i směrem působení. Z toho vyplývá, že účinky větru často neuvažujeme do výpočtu.

Tlak vyvozený účinkem rozdílu teplot

Teplota vzduchu v uzavřených místnostech se obvykle liší od teploty vzduchu venkovního. Nejčastěji bývá teplota vnitřní t_i vyšší než teplota venkovní t_e , méně často pak $t_i < t_e$ a jen zcela výjimečně $t_i = t_e$.

Kromě toho se také mohou lišit teploty v jednotlivých místnostech téže budovy. Z rozdílu teplot vyplývá rozdíl měrných tíh vzduchu a tím pak vzniká rozdíl tlaku při charakteristickém rozdělení tlaku v budově ve vertikálním směru. [1]

Díky rozdílu teplot dochází i k rozdílu hustot vnějšího a vnitřního vzduchu a následnému tlakovému rozdílu:

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}]$$

Tato rovnice rozdělí hodnoty na dvě části. Tlak Δp_1 v přiváděcím větracím otvoru S1 a Δp_2 v odváděcím otvoru S2. Poloha neutrální roviny se určí v takové výši, aby byla splněna podmínka rovnováhy při větrání. Hmotnostní průtok do místnosti se rovná průtoku z místnosti:

$$\mu_1 S_1 w_1 \rho_1 = \mu_2 S_2 w_2 \rho_2 \quad \text{kde } w = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

$$\text{z toho} \quad \mu_1 S_1 \sqrt{2 \Delta p_1 \rho_1} = \mu_2 S_2 \sqrt{2 \Delta p_2 \rho_2}$$

Dosadíme-li za $\Delta p_2 = \Delta p_1 - \Delta p_1$ a využijeme-li poměru $h_1 : h = \Delta p_1 : \Delta p$, potom po úpravách a za předpokladu, že $\mu_1 = \mu_2$ je výška neutrální roviny nad osou spodního otvoru.

$$h_1 = h \frac{\rho_2 S_2^2}{\rho_1 S_1^2 + \rho_2 S_2^2} = \frac{h}{1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2}$$

Určit výšku neutrální roviny ve vícepodlažní budově s přihlédnutím k nevyváženosti nuceného větrání je komplikovaným úkolem, k jehož řešení je vhodné postupovat iterační metodou s využitím výpočetní techniky.

Tlak vyvozený účinkem větru

Při působení větru w [m/s] na objekt vzniká na návětrné straně přetlak p_n a na závětrné straně podtlak p_z .

$$p_n = \frac{A_n \rho_e w^2}{2} \quad p_z = \frac{A_z \rho_e w^2}{2}$$

kde:

A	<i>tlakový součinitel větru</i>	$[-]$
w	<i>rychlost větru</i>	$[m \cdot s^{-1}]$

Velikost tlakových rozdílů vztahujeme v dynamickém tlaku větru. Tlakový součinitel větru zjišťujeme v aerodynamických tunelech a závisí na průvzdušnosti a tvaru budovy. Obvykle se hodnoty pohybují při kolmém směru vůči objektu $A_n \approx 0,9$ a $A_z \approx -0,4$.

Jsou-li v protilehlých stěnách větrací otvory nebo je-li průtok vzduchu umožněn spárami oken a dveří, pak účinným tlakem je rozdíl tlaků:

$$\Delta p = p_n - p_z = \frac{(A_n - A_z) \rho_v w^2}{2} \approx \frac{1,3 \rho_v w^2}{2}$$

Účinný tlak přirozeného větrání se postupně spotřebuje na překonání tlakových ztrát při průtoku vzduchu větracími otvory a vzduchovými cestami (spárami ve dveřích spojující místnosti, šachtami apod.) [3]

Pro stanovení tlaku účinkem větru je nejdůležitějším faktorem samotný vítr, který má jednoznačný vliv na výsledek. Nejnížší rychlosti jsou v létě (i pod 7 km/h) a nejvyšší v zimě.

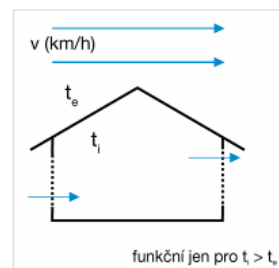
Na následujícím obrázku jsou znázorněny průměrné hodnoty rychlosti větru na našem území. V dřívějších dobách tento systém znamenitě fungoval díky netěsným rámcům oken. V dnešní době je nutno pamatovat na vytvoření potřebného prostupu vzduchu přes obvodový plášť budovy. Typickým prvkem přirozeného větrání v obytných budovách jsou větrací šachty a světlíky. Nejběžnější využití přirozeného větrání je infiltrace okenními spárami, další možnosti použití přirozeného větrání je provětrávání, šachtové větrání a aerace. Nevýhodou přirozeného větrání je, že venkovní přiváděný vzduch nelze filtrovat a do přívodního systému nelze, v obvyklých případech, zařadit ohřivač vzduchu – účinný tlak je relativně malý a nepostačuje k překonání tlakových ztrát těchto prvků.

3.2.2 Přirozené větrání – dělení

Infiltrace

Je způsobena výměnou vzduchu vlivem netěsnostmi konstrukcí obálky budovy. Nejvyšší měrou se na infiltraci podílí netěsnost okenních a dveřních spár. Při bezvětrí je infiltrace iniciována pouze teplotním rozdílem vnitřního a vnějšího prostředí. V zimním období dochází k neřízenému intenzivnímu větrání a velkým tepelným ztrátám (v rozporu s energetickými požadavky).

Při instalaci moderních těsných oken je princip nefunkční. Jedná se o nejlevnější a bezúdržbová metoda na výměnu vzduchu.



Obrázek 9: Schéma průběhu infiltrace [<http://www.tzb-info.cz/5969-rekonstrukce-ventracich-systemu-bytovych-domu>]

Objemový průtok se určí dle rovnice: $V = i \cdot l \cdot \Delta p^n$

Kde:

- | | | |
|------------|--|-------------------------|
| i | ...součinitel průvzdušnosti spáry | $[m^3 s^{-1} / m Pa^n]$ |
| Δp | ...rozdíl tlaku vyvolaný rozdílem teplot Δp_t a působením větru Δp_w | |
| l | ...délka spáry ($l = 2 \cdot (a + b)$) | $[m]$ |
| n | ...exponent charakterizující proudění vzduchu spárou. Běžně $n = 0,67$ | |

Exfiltrace:

Představuje samovolné unikání vzduchu z budovy únikem přetlaku v budově spárami. Zdrojem přetlaku je nucený přívod vzduchu do místnosti vzduchotechnickým zařízením.

Provětrávání

Provádí se občasným otevíráním oken a dveří. Je to běžný způsob větrání většiny obytných místností i školních učeben. Provětrávání se připouští normami i pro výrobní haly. Ve velmi teplém období mohou být otevřena okna trvale a celkovým větráním se vymění vzduch v místnosti vícekrát, čímž se místnost částečně ochladí. V chladnějším období vede trvalé provětrávání ke vzniku nadbytečného ochlazování a chladného průvanu, který může mít za příčinu vznik zdravotních problémů. Provětrávání přivřenými okny vyloučí vznik průvanu, ale k výměně vzduchu dochází jen v oblastech kolem oken.

Energeticky úsporný je tento způsob větrání jen tehdy, dodržují-li se zásady: větrat krátce, často a velkými průřezy, aby nedošlo k velkým tepelným ztrátám a k nadměrnému ochlazení stěn. Je-li otevřené okno jediný větrací otvor, stanoví se průtok větracího vzduchu z podmínky větrací rovnováhy prostoru. Hmotnostní průtok částí (polovinou) otvoru do místnosti se musí rovnat průtoku vzduchu ven. [3]

Za předpokladu rovinného proudění je střední rychlost průtoku jedním směrem w :

$$w_s = \frac{2}{3} w_{max} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{max}} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{\rho} g \frac{h}{2} \Delta \rho}$$

kde:

h	... výška okna	[m]
$\Delta \rho$	... rozdíl hustot vzduchu vně a uvnitř budovy	[kg.m ⁻³]
g	... gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]

Hmotnostní průtok je pak (pro venkovní vzduch):

$$\dot{M}_e = \rho_e \dot{V}_e = \rho_e \mu_e S_e w_s = \mu_e \frac{1}{3} b \sqrt{g \Delta \rho h^3 \rho_e}$$

kde:

b	... šířka okna	[m]
μ_e	... průtokový součinitel	[-]
ρ_e	... hustota venkovního vzduchu	[kg.m ⁻³]
S_e	... plocha okna využitá k přívodu venkovního vzduchu	[m ²]

$$S_e = \frac{bh}{2}$$

Aerace

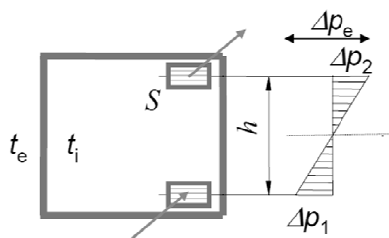
Je způsob větrání pomocí výměny vzduchu přes dva otvory umístěné nad sebou v obvodové zdi. Otvory jsou umístěny v různých výškách v místnosti, tím je definován a zvětšen průtočný průřez. Při bezvětrí je aerace iniciována pouze teplotním rozdílem vnitřního a vnějšího prostředí, při vyrovnání teplot je větrání neúčinné. V zimním období dochází k neřízenému intenzivnímu větrání a velkým tepelným ztrátám (v rozporu s energetickými požadavky). Při instalaci moderních těsných oken je princip nefunkční. V případě dvou otvorů a ploše S_1 a S_2 vznikne při rozdílné teplotě ($t_i > t_e$) rozdíl tlaku Δp_e . Hmotnostní průtok m je pak dán rovnicí.

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}]$$

$$m = \mu_1 S_1 \sqrt{2 \Delta p_1 \rho_1} = \mu_2 S_2 \sqrt{2 \Delta p_2 \rho_2}$$

kde

S_1, S_2	... plocha průřezu větracích otvorů [m ²]
μ_1, μ_2	... výtokový součinitel pro přiváděný a odváděný otvor, obvykle $\mu = 0,6 \approx 0,7$
ρ_1, ρ_2	... hustoty vnitřního a venkovního vzduchu



Obrázek 10: Schéma větrání aerací

Větrání tohoto typu je často užíváno v teplých průmyslových provozech (měrná tepelná zátěž od vnitřních zdrojů $> 25 \text{ W/m}^3$) hutních, strojírenských a sklářských závodů.

Šachtové větrání

Šachtové větrání je druh přirozeného větrání, při kterém je vzduch do místnosti přiváděn (přívodní sací šachtou), odváděn (odváděcí sací šachtou), nebo přiváděn i odváděn otvory zaústěnými do svislých proudů a umožňuje tak přirozený odtah škodlivin.

Principiální schéma je na obrázku č.12 Sací šachta pro přívod vzduchu je napojena na vnější prostředí, výtlačná šachta odvádí vzduch nad střechu budovy. Cílem návrhu tohoto větrání je průtok vzduchu nebo průřez šachty. Výchozí pro řešení je reálný předpoklad, že rychlosti v místnosti jsou malé, $w = 0 \text{ m/s}$. Teplota v sacím potrubí je rovna teplotě vnějšího prostředí a teplota ve výtlačné šachtě je rovna teplotě interiéru.

Při působení jen rozdílu teplot je rozdíl tlaku dán vztahem:

$$\Delta p = (h_2 + h_3) \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i)$$

Hmotnostní průtok vzduchu $M = V \cdot \rho = S \cdot w \cdot \rho$

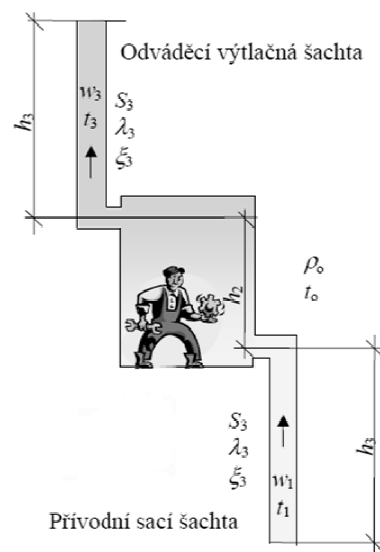
Objemový průtok vzduchu $V = S \cdot w$

Plocha šachty $S = V/w$

Tlakové ztráty šachty $\Delta p = \left(1 + \lambda \frac{1}{d_e} + \sum \xi\right) \cdot \frac{w^2}{2} \rho$

Rychlost proudění vzduchu šachtou lze vyjádřit vztahem

$$w = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (t_i \cdot t_e)}{273 + t_e}}$$



Obrázek 11: Princip šachtového větrání Zdroj: cit. [10.11.2012] Dostupné na internetu: http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/A_VZT%2007_09.pdf

kde:

λ ...součinitel tření

l ...délka šachet pro přívod či odvod vzduchu

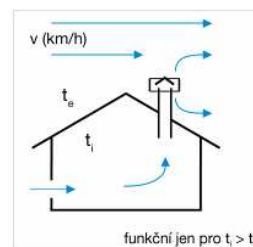
d_e ...průměr šachty

ξ ...součinitel místních odporů [20]

Šachty mohou být podobné komínům, světlíkům, zděné nebo potrubní. Výhodou systému je levná a bezúdržbová varianta. Nevýhodou je pak pronikání hluku přívodním otvorem z venkovního prostoru, poruchy funkce šachtového větrání působením větru v přechodných obdobích, kdy dochází k vyrovnání vnější a vnitřní teploty je větrání nefunkční.

Šachtové větrání využívající dynamický účinek větru

Ke zvýšení tlakového rozdílu a tím i průtoku vzduchu V_o a zvětšení efektu výměny lze využít dynamický účinek větru či termodynamický vztlak. K tomuto účelu lze využít samotahovou hlavici nebo lépe větrací turbínu. Oba prvky se osadí na vyústění odváděcí šachty v exteriéru.



Samotahová hlavice je prvkem využívající podtlak v šachtě vlivem účinku větru. Předběžný průměr hlavice lze určit z rovnice:

$$d_p = 1,8\sqrt{V_o/w} \quad [\text{m}]$$

Ventilační turbína je typem větrací hlavice, která využívá působení větru k vytvoření sacího účinku. V době bezvětrí vzniká sací efekt vlivem termodynamického vztlaku teplého vzduchu, který otáčí rotorem turbíny a vytváří ve větrací šachtě trvalý podtlak. Konstrukce zabraňuje vnikání srážek do šachty. (vzduchotechnika v příkaldech)



Obrázek 12: Ukázka samotahových hlavic pro možnosti šachtového větrání

Zdroj: <http://www.vase-stavba.cz/p/16839/lomanco-ventilacni-turbina.html>

Tento systém je levný a bezúdržbový. Nelze však regulovat pronikání hluku z exteriéru. Tlumiče hluku nejdou v systému umístit z důvodu nízkého vztlaku. Systém se často využívá pro odvětrání hygienických zařízení v bytových domech.

Pro zvýšení účinnosti se přirozený systém doplňuje malým mechanickým ventilátorem v každém patře a to hlavně z důvodu přechodového období a kontroly průtoku odvětraného vzduchu. V letním období může někdy díky nižším interním teplotám dojít k proudění v obráceném směru do interiérů. Při instalaci moderních těsných oken je princip nefunkční

3.2.3 Nucené větrání

Nucené celkové větrání se navrhuje tam, kde nelze předem určit místa vzniku škodlivin, nebo kde jsou zdroje škodlivin rovnoměrně rozmístěny. Nucené větrání zajišťuje výměnu vzduchu nezávisle na vnějších klimatických podmínkách a proti přirozenému větrání má řadu dalších předností:

- umožňuje regulaci intenzity větrání podle potřeb větraného prostoru,
- umožňuje vzduch filtrovat a také teplotně upravovat,
- umožňuje zpětné využití tepla z odpadního vzduchu,
- umožňuje upravit tlakové poměry v budově a vytvořit vhodné obrazy proudění ve větraném prostoru.

Soustavy nuceného větrání jsou podle tlaku ve větraném prostoru vzhledem k tlaku v okolních prostorech přetlakové, podtlakové, nebo rovnotlaké. Větrací zařízení jsou buď jednotková, nebo ústřední. Jednotková zařízení se instalují převážně přímo do větraného prostoru a jsou svým provedením nejčastěji podokenní nebo skříňová. Používají se jednotky pro přívod a odvod vzduchu.

Jednotka pro přívod vzduchu má směšovací komoru, filtr, ohřívač, ventilátor a výfukovou komoru s vyústkou. Větrací jednotku pro odvod vzduchu tvoří ventilátor. Ústřední větrací zařízení se vyrábí většinou jako sestavná, umísťují se do strojovny a spojují se s větranými místnostmi vzduchovody. Slouží obvykle k větrání více místností.

Větrací zařízení jsou energeticky náročná. Úsporu provozních nákladů lze dosáhnout především odstraňováním škodlivin v místě jejich vzniku, navrhováním větracích zařízení s cirkulací vzduchu a využíváním různých systémů zpětného získávání tepla ze vzduchu odpadního odváděného do venkovního ovzduší. Používáním zařízení s cirkulací vzduchu (část odváděného vzduchu se vrací po filtraci do větraného prostoru) lze dosáhnout úsporu provozních nákladů především v zimním období, kdy venkovní vzduch, kterým se odváděný vzduch nahrazuje, musí být ohříván až o 30 K i více.

4 Možnosti úpravy média během přenosu (výměny)

Celý objem průtoku vzduchu je veden přes větrací otvory, spáry či „umělou“ cestu z pozinkovaného potrubí vzduchotechnické jednotky. U přirozeného větrání není možnost jak kontrolovat kvalitu vzduchu, protože výměna probíhá přirozeně a místy, které neovlivníme (spáry oken). U nuceného větrání při průchodu sacím potrubím, všemi částmi jednoty a výfukovým potrubím se dá částečně nasávaný vzduch čistit – filtrovat. V běžných dnes užívaných jednotkách se montuje jako běžná součást vzduchotechnických jednotek filtrace. U čistých a zvláště citlivých prostor na čistotu se užívá filtrace dvou až třístupňová. Vstupní filtr se používá hrubý (G), na výstupu z klimatizační jednotky se užívá jemný filtr (F) a před vstupem do klimatizovaného prostoru se potrubí usazuje filtry hepa (H).

Filtrace atmosférického vzduchu

Filtry atmosférického vzduchu slouží převážně k ochraně vnitřního prostředí, protože kvalita vnější atmosféry představuje v některých částech republiky (Ostravsko) vážné zdravotní problémy a vzduch, který dýcháme, má zásadní vliv na lidské zdraví. Obzvláště, když člověk tráví převážnou dobu života uzavřený v budovách a je odkázaný na jediný možný zdroj a jeho kvalitu. Ve zvláštních případech jako je jaderná energetika se filtruje i odpadní vzduch.

Pro filtraci atmosférického vzduchu se využívá nejen filtrace podobné filtraci průmyslové, která je založena na principu zadržení částic na filtrační vláknité vrstvě ale i na filtraci pomocí elektrofiltrů a sorpčních filtrů. Sorpční filtry se využívají pro zachycení plynných látek a oděrů. Elektrofiltry a dielektrické filtry se užívají pro zachycení jemných částic.

Teoretické základy filtrace atmosférického vzduchu jsou podobné jako u filtrace průmyslové, nicméně liší se provedením, vstupními parametry či koncentrací částic (u filtrace atmosférické je koncentrace o několik řádů nižší než u filtrace průmyslové).

4.1 Základní odlučovací principy

Cílem je separace tuhých či kapalných částic z proudu vzduchu na odlučovacích plochách. Tyto plochy mohou tvořit přímo stěny odlučovačů, vlákna, zrnitý materiál či kapalné částice proudu plynu. Přenosový dej, který se podílí na separaci částic vzduchu je dán odlučovacími principy.

Gravitační princip

Tento princip je založen na působení gravitační síly působící na částice ve vzduchu. Princip lze použít pouze pro extrémně velké částice. Vlivem gravitačního principu klesají částice, (které byly vneseny do klidného plynu) ustálenou - pádovou rychlostí, která je dána rovnováhou vztlaku, aerodynamického odporu prostředí a tíhy částice. Pádová rychlost se zvyšuje s rostoucí velikostí částice i s rostoucí hustotou materiálu částice. [8]

Setrvačný princip

Setrvačný princip využívá toho, že částice unášené proudem plynu nesledují při změnách směru proudění přesně proudnice, ale vlivem své setrvačnosti se od nich odchyľují. Tím se vyděľují a vylučují na odlučovacích plochách. Odlučivost se zvyšuje s rostoucí velikostí částic, hustotou materiálu částic a rychlostí plynu před odlučovacími plochami. [8]

Odstředivý princip

Je zvláštní případ setrvačného principu užívaný při proudění ve válcových (kuželových) komorách, kde na částice působí odstředivá síla.

Elektrický princip

Elektrostatický princip je založen na působení nehomogenního elektrostatického pole na elektricky nabitě částice. Pole mezi elektrodami ionizuje nosný plyn - záporně nabitě ionty předávají náboj částicím, které se pohybují ke sběrací elektrodě s kladnou polaritou a na ni se usazují.[8]

Difúzní princip

Difúzní princip se uplatňuje u malých částic (méně než 1 mm).

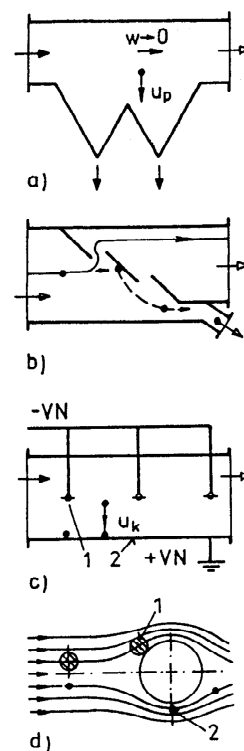
Tyto částice v plynu podléhají Brownovu pohybu (molekulární tepelný pohyb) a vliv vnějších a setrvačných sil je velmi malý. Výsledkem je tok částic z oblasti vyšších koncentrací do oblasti s koncentrací nižší. Odlučivost difúzního principu klesá s rostoucí velikostí součástí a s rostoucí rychlostí plynu. [8]

Intercepční princip

Intercepční princip (přímé zachycení) umožňuje odlučovat i malé částice, které plně sledují pohyb proudnic v blízkosti odlučovacích ploch.

Sítový princip

Uplatňuje se při průchodu plynu přes hustou vláknitou nebo zrnitou vrstvu.



Obrázek 13: Princip odlučování:

- a) gravitační,
- b) setrvačný,
- c) elektrostatický,
- d) intercepční

Zdroj:

<http://tzs.kmm.zcu.cz/ETPcelk.pdf>

4.2 Parametry filtračních materiálů

Účinnost filtru

Při výběru je účinnost jedním nejvíce ovlivňujících faktorů. Uživatele nejvíce zajímají odlučovací schopnosti. Účinnost záleží převážně na frakční odlučivosti a charakteru znečištění atmosférického vzduchu pevnými a kapalnými částicemi.

Účinnost filtrace se v praxi podobně jako u filtrace průmyslové vyjadřuje celkovou odlučivostí O_c (%), kterou lze s použitím koncentrací příměsí před filtrem C_p a koncentrací na výstupu z filtru C_v definovat jako

$$O_c = \frac{C_p - C_v}{C_p} 100$$

Opakem celkové odlučivosti O_c je celkový průnik P_c (%), definovaný vztahem

$$P_c = \frac{C_v}{C_p} 100$$

Koncentrace příměsí se uvádějí buď jako hmotnostní, např. v (mg/m³) nebo (μg/m³), nebo početní (1/m³). Použití rozdílných koncentrací dává u shodného filtru až řádově rozdílné výsledky ve vyjádření O_c , resp. P_c . [15]

Tlaková ztráta filtru

Udává údaj od výrobce, který popisuje tlakovou ztrátu čistého filtru. Při užívání se filtrační materiál zanáší a tlaková ztráta filtru se zvyšuje až na hladinu, při které můžeme filtr užívat.

Životnost

Udává množství hodin, po kterých můžeme filtraci užívat, než se zanesou a filtr začne vykazovat max. možnou tlakovou ztrátu, kterou udává výrobce. Někdy je pro zjednodušení uvedena jako maximální tlaková ztráta, hodnota dvojnásobná oproti čistému, novému filtru.

Průnik

Hodnota, která udává poměr aerosolových částic před a za filtrem. Hodnota je uvedena v procentech. Je-li hodnota průniku 0,5% pak filtr vykazuje celkovou účinnost (odlučivost) 99,5%.

4.3 Třídění a použití filtrů

Dle současné mezinárodní normalizace v Evropě a ČSN se vzduchové filtry dělí na filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání, které se zkouší a třídí dle převzaté evropské normy ČSN EN 779 a na filtry s vysokou účinností (vysoce účinné filtry), které se zkouší a třídí dle převzaté normy ČSN EN 1822.

Tabulka 1: Zatřídění vybraných filtrů dle oblasti použití a tříd filtrace

PŘÍKLADY POUŽITÍ	TŘÍDA FILTRACE dle			ODLUČIVOST na			FILTRAČNÍ VLOŽKY	FILTRAČNÍ ZAŘÍZENÍ
	ČSN EN 779 ČSN EN 1822-1	DIN 24184 DIN 24185	EUROVENT	syntetický prach	atmosférický prach	pro nejvíce pronik. částice - MPPS		
Předfiltr pro velmi hrubé prachy v zařízeních s nepatrnými požadavky na čistotu vzduchu. Hrubý zachyt tukových par.	G1	EU 1	EU 1	65,00%			KOFIL	FVB FVC
Předfiltr pro vysoké koncentrace prachu a filtrace hrubých prachů. Klimatizace a odsávání v zařízeních s nižšími požadavky na čistotu vzduchu. Sání kompresorů, chlazení velkých strojů a spínacích zařízení.	G2 G3	EU 2 EU 3	EU 2 EU 3	80,00%			VBA VCK	FVB FVC
Předfiltry pro filtry s velmi jemnou filtrace. Odlučování velmi jemného prachu v klimatizačních a větracích systémech. II. stupeň filtrace ve středně náročných klimatizačních systémech.	F4 F5	EU 4 EU 5	EU 4 EU 5	90,00%	40,00%		vložka FVS, VCK, KS 2/3	FVB, FVC FPC, FVS
	F6	EU 6	EU 6				VFT 4	FVB, FVC FPC, FVS
	F7	EU 7	EU 7		60,00%		VFT 7	FVB FVC
	F8	EU 8	EU 8		80,00%		VFT 9	FVB FVC
	F9	EU 9	EU 9		90,00%	85,00%		
II. stupeň filtrace ve velmi náročných filtračních systémech. Zařízení pro úplnou a částečnou klimatizaci s vysokou čistotou vzduchu. Laboratoře, počítačové sály.	H10 H11	Q	EU 10		95,00%	95,00%	VTA	FVB FVC
Předfiltry pro zařízení čistých prostorů. Klimatizace a ventilace prostorů s vysokými nároky na čistotu vzduchu. Laboratoře, běžné operační sály.	H12 H13	R	EU 11			99,95%	VUA	FVB FVC
Koncové prvky filtrace pro prostory s nejvyššími nároky na čistotu prostředí, flow-boxy, čisté prostory, farmacie, elektronika, operační sály, zachyt radioaktivních aerosolů.	H14	S	EU 12			99,995%	MACROPUR, VVD, VVC, WELFIL	FCC
Medicínální rozvody plynů. Pivovary, konzervárny, mikrobiální filtrace.	U15 U16	S _{med}	EU 13			99,9995%	ABSOFIL	FCC

Zdroj: <http://www.vzduchotechnik.cz/domain/vzt/files/explanatory/Filtracni%20prvky.pdf>

Filtry atmosférického vzduchu se používají ve větracích a klimatizačních zařízeních k odstranění nečistot, které se v atmosférickém vzduchu vyskytují. Třída filtrů se volí podle výskytu nečistot ve vzduchu a požadavku na čistotu prostoru, do kterého je vzduch přiváděn. Požadavky na čistotu prostoru závisí na činnosti osob nebo na požadavcích výrob a technologií.

Filtrace musí rovněž zajistit ochranu vlastního větracího a klimatizačního zařízení před znečištěním a u speciálních technologií (např. zdravotnictví, farmacie, biotechnologie) i ochranu před kontaminací.

Pevné a kapalné příměsi jsou součástí venkovního vzduchu a jejich koncentrace a složení kolísá podle místních podmínek, ročního období i v průběhu dne. Největší znečištění vzduchu je ve velkých městech a v okolí průmyslových podniků, kde může dosahovat až 1 mg/m³, nejmenší na venkově, < 0,1 mg/m³. Příměsi jsou různého chemického složení a jsou způsobené lidskou činností (doprava, průmysl) i přírodního původu (eroze hornin, sopečná činnost, příměsi rostlinného a živočišného původu). Částice větší než 20 µm rychle sedimentují a vyskytují se pouze v blízkosti jejich zdrojů. Částice menší než 0,1 µm (např. viry) snadno koagulují a vyskytují se často jako shluky o větších rozměrech 0,1 - 0,5 µm.

Běžně se za atmosférický prach považují částice v rozsahu velikostí 0,01 - 20 µm. Přibližně 99 % celkového počtu jsou částice menší než 1 µm, ale u hmotnostního rozdělení tyto částice představují pouze okolo 10 % celkové hmotnosti částic.

4.3.1 Filtry pro běžné větrání

Při volbě filtrů pro běžné větrání (G1 - F9) je se vychází z praktických zkušeností a je nutno respektovat i diagram frakčních odlučivostí uvedený na **obr. XXX**.

Rozdělení do jednotlivých tříd je provedeno dle dosažené odlučivosti na syntetický a atmosférický prach a filtry se dělí na hrubé a jemné.

Filtry pro hrubou filtraci G1 – G4 se zařídují dle výsledků odlučivosti na syntetický prach A (anglicky arrestance). Odlučivost na syntetický prach A se zjišťuje vážením (gravimetricky). Filtry mají odlučivost cca do 75%. Požaduje se na nich minimální tlaková ztráta při maximální jímavosti. Používají se jako předfiltry nebo do prostor, kde není kladen důraz na stupeň vyčištění. Filtrační rychlost bývá obvykle mezi 1 až 3 m/s.

G1 – G2

Všeobecně:

- účinné pro vláknitý prach
- poměrně účinné pro částice větší než 10µm
- systémy s nejnižšími požadavky na filtraci
- předfiltry pro vyšší koncentraci prachu

Typické příklady použití:

- první stupeň filtrace u vícestupňových zařízení
- filtry pro klimatizaci a větrání v textilních provozech
- jednoduché okenní a podokenní klimatizátory
- ochrana výměníků, zvlhčovačů a ventilačních systémů
- systémy větrání v těžkých provozech

G3 – G4

Všeobecně:

- účinné proti pylu a zvířenému prachu

Typické příklady použití:

- ochrana výměníků, zvlhčovačů a ventilačních systémů
- vytápěcí a větrací systémy průmyslových podniků
- filtrace v dopravních prostředcích
- filtrace garáží, obchodních domů
- vzduchové clony, sportovní haly
- předfiltry pro klimatizační zařízení

Filtry pro jemnou filtraci F5 – F9 se zatřídí dle výsledků odlučivosti na atmosférický prach E. Celková odlučivost se pohybuje okolo 95 %. Požaduje se malá tlaková ztráta a schopnost zachytit velmi jemné částice. Používá se nejčastěji za předfiltry jako druhý stupeň filtrace. Filtrační rychlosti bývají mezi 0,1 až 0,01 m/s.

F5 – F6

Všeobecně:

- málo účinné proti sazím, olejové mlze a tabákovému kouři a kouři z technologických procesů
- částečně účinné proti výtrusům a bakteriím

Typické příklady použití:

- větrací a klimatizační systémy pro školy, shromažďovací místnosti, restaurace, sportovní haly, kancelářské budovy
- v průmyslu pro větrání provozů s vyššími nároky na čistotu (chemický, papírenský, výroba synt. hmot, méně náročné výroby přesné mechaniky a optiky)

F7

Všeobecně:

- účinné proti bakteriím, výtrusům
- částečně účinné proti sazím, olejové mlze, tabákovému kouři, kouři z technolog. provozů

Typické příklady použití:

- větrací a klimatizační zařízení pro laboratoře, nemocniční pokoje, kancelářské budovy, divadla, kuchyně, obchody s potravinami
- v průmyslu pro telefonní ústředny, výrobu potravin, dílny přesné mechaniky a optiky, rozhlasová a televizní studia, přívod vzduchu do stříkacích boxů

F8 – F9

Všeobecně:

- velmi účinné proti sazím, olejové mlze, tabákovému kouři, kouři z technologických procesů, bakteriím

Typické příklady použití:

- větrací a klimatizační zařízení pro
- operační sály, výzk. zkušebny a laboratoře
- provozy chemické a farmaceutické výroby
- pomocné prostory sterilizačních pracovišť a operačních sálů
- 2. stupeň filtrace pro vysoceúčinnou filtraci

4.3.2 Vysoce účinné filtry

Filtry se používají jako druhý nebo třetí stupeň filtrace, je nutné předřadit filtry tříd G a F. Měření a třídění filtrů je v zásadě založené na zjišťování odlučivosti pro částice, které filtračním materiálem i vlastním filtrem nejvíce pronikají, tzv. MPPS (Most Penetrating Particle Size). Nejprve se zkouší filtrační materiál při jmenovité filtrační rychlosti a stanoví velikost částice MPPS. Stanovení MPPS se provádí měřením odlučivosti, resp. průniku pro nejméně šest monodisperzních aerosolů s různou velikostí částic nebo s použitím jednoho zkušebního polydisperzního aerosolu a vyhodnocením frakční odlučivosti pro nejméně šest velikostních intervalů aerosolu.

Po stanovení velikosti částice MPPS následuje zkouška filtru s aerosolem, jehož střední velikost odpovídá zjištěné velikosti MPPS. Filtr se zkouší jednak jako celek - celková hodnota odlučivosti, jednak od třídy H 13 se sondováním napříč celým průřezem filtru zjišťuje místní hodnota odlučivosti. Toto je nutné zajišťovat z důvodu, že netěsnosti způsobené vadou materiálu nebo jeho manipulací bývají řádově velmi malé (jednotky μm^2) a vůči celé ploše filtračního materiálu (jednotky m^2) jsou zanedbatelné a nemohou být tedy identifikovány při měření celkové odlučivosti.

Zařazení filtru do některé z tříd se provádí porovnáním zjištěných hodnot s příslušnými mezními hodnotami uvedenými v tab. 2. K zařazení filtru do dané třídy musí být splněny obě podmínky. Filtry se v zásadě dělí na "HEPA" (High Efficiency Particulate Air Filter), označené H 10 - H 14 a "ULPA" (Ultra Low Penetrating Air Filter), označené U 15 - U 17. Velikost částice MPPS, podle které se vysoceúčinné filtry zařadí, se u většiny filtrů pohybuje v rozsahu 0,2 - 0,5 μm a přibližně pokrývá rozsah charakteristických velikostí zkušebních aerosolů, které se dříve u nás i ve světě používaly při zkoušení a třídění filtrů. [16]

H 10

Všeobecně:

- dobře účinné proti všem druhům prachů a aerosolů

Typické příklady použití:

- metrologické laboratoře pro kalibraci
 - laboratoře pro optiku, elektroniku a biologii
 - operační sály
 - dodávka vzduchu pro jaderné elektrárny
-

H 11

Všeobecně:

- velmi účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů

Typické příklady použití:

- shodné jako pro použití filtrů H 10, pouze pro náročnější aplikace

H 12 – H 13

Všeobecně:

- velmi účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů

Typické příklady použití:

- základní filtr pro všechny čisté prostory třídy 100 - 100 000 (dle FED-STD-209e) a s tím související aplikace v různých oblastech průmyslu, zdravotnictví a výroby léků
- odsávací systémy pracující s nebezpečnými aerosoly (jaderná energetika, zdravotnictví, biologické prostory)

H 14 a vyšší

Všeobecně:

- velmi účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů, včetně virů

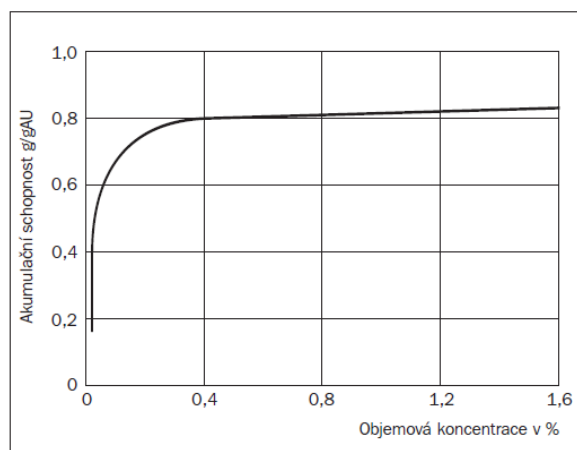
Typické příklady použití:

- filtrace čistých prostorů tříd 10 a lepších
- dodávka vzduchu pro biotechnologie

4.3.3 Filtry s aktivním uhlím

Tyto filtry mají po vhodné úpravě impregnací vysokou absorpční schopnost. Aby bylo dosaženo co nejlepší adsorpce, musí být doba kontaktu molekul plynu ve vrstvě aktivního uhlí co nejdelší.

Při návrhu adsorpčního zařízení pro přívod nebo odvod vzduchu se volí rychlost proudění od 0,09 do 0,5 m/sec. Přepočteno to znamená, že pro 1 m³/hod. vzduchu, který se má vyčistit, je potřeba nejméně 0,028 l (12,6 g) aktivního uhlí. Čím delší je doba kontaktu a čím specifitější aktivní uhlí je nasazeno, tím lepší je adsorpce škodlivin a využití aktivního uhlí. Sorpční schopnost a sorpční stupeň filtru s aktivním uhlím závisí především na kvalitě uhlí. Filtrační systémy KS KOPA, KS BD a další jsou osazeny aktivním uhlím s vynikající sorpční schopností, tzn. mohou přijmout na svůj povrch velké množství škodlivých a zápachových molekul.



Obrázek 14: Sorpční izoterma aktivního uhlí

Zdroj: <http://www.ksklimaservice.cz/?download=auhli.pdf>

V uvedeném diagramu je znázorněna tzv. sorpční izoterma, která ukazuje, že adsorpční schopnost je lepší při vysoké koncentraci škodlivých látek.

Pro stanovení efektivní schopnosti a akumulace (pohlcování) na filtračním systému je nutné znát koncentraci a složení znečištěného vzduchu.

Při dostatečné tloušťce filtry zachycují tělesné pachy, VOC, pachy dezinfekčních prostředků, hniloby, rozpouštědel, čpavek, formaldehyd a jiné. Používají se v prostorech s velkým pohybem osob – letiště, hotely, nemocnice či prostory pro čistý prostor s mikroelektronikou – počítače. Odstraňují současně také škodlivé plyny z odvodního a cirkulačního vzduchu.

4.4 Konstrukce filtrů

Základní dělení je, jak už je výše uvedeno, je na filtry prachové a aerosolové. Prachové filtry se vyrábí jako filtry vložkové a pásové, filtry aerosolové pak vesměs vložkové.

Vláknité filtrační materiály, které tvoří převážnou část filtračních materiálů, se podle technologie výroby dělí na:

- rohože ze syntetických nebo skleněných vláken jsou pro zlepšení vzájemné soudržnosti spojena impregnační látkou. Na výstupní straně rohože bývá často na vrstvu nanášena tenká pevnější pojená vrstva, která slouží ke zlepšení mechanických vlastností materiálu a rovněž zabraňuje průniku větších částic vrstvou,
- rouna z jemnějších minerálních (např. skleněných), syntetických nebo organických (např. celulóзовých) vláken, která jsou nanášena na nosný pojený podkladový materiál, který zároveň slouží na čisté straně jako ochrana proti průniku úlomků vláken do vzduchu. U některých výrobců je tenká pojená zpevňující vrstva nanášena i na vstupní straně vrstvy,
- vpichované textilie, kde zpravidla syntetická (polyesterová) vlákna jsou pro zlepšení soudržnosti ve vrstvě vzájemně propojena tzv. vpichovací technologií,
- filtrační papíry z jemných skleněných nebo organických vláken, vyráběné papírenskou technologií. [3]

4.4.1 Vložkové filtry

Vložkové filtry se podle provedení v zásadě dělí na deskové (rámečkové), kapsové a skládané (kompaktní, kazetové a patronové).

Deskové filtry

Filtry jsou tvořeny obdélníkovými plochými deskami, které jsou zasunuty čelně či bočně ve skříních. Deskové filtry se obvykle vyrábí do třídy F5.

U filtrů nižších tříd se užívají silnější rohože ze syntetických vláken, které vyplňují prostor celé tloušťky. U filtrů vyšších tříd, u kterých se předpokládá nižší filtrační rychlost, je vyšší třída tvořena zvětšením plochy filtračního materiálu (rouno ze skelných vláken či vpichovaný filtrační materiál), která je tvořena mělkými a ne příliš hustými sklady. Při výměně po zanesení či překročení životnosti či pravidelné údržbě se obvykle vyměňuje pouze filtrační materiál. U filtrů skládaných je možno vyměnit i celý filtr. Z důvodu ekologické likvidace použitých filtrů jsou i rámečky, na kterých je filtrační materiál napnut z kartonu.

Kapsové filtry

Název tohoto typu o mnohém vypovídá. Filtry jsou tvořeny určitým počtem kapes, které jsou ušity z filtračního materiálu. Šířka a hloubka či počet kapes jsou voleny dle potřeby pro objemový průtok a filtrační rychlost. Tento typ filtrů se užívá a vyrábí pro filtrační třídy G2 až F9. Filtry se nejčastěji vkládají přímo do vzduchotechnických jednotek, ale je možné vložení jako předfiltru přímo do sacího potrubí. Pro snazší likvidaci použitých filtrů jsou rámečky provedeny ze dřeva nebo plastu. Ukázka provedení kapsového filtru je zobrazena na následujícím obrázku 16.



Obrázek 15:Kapsový filtr

Zdroj: <http://www.kapsove-filtry.cz/kapsovy-filtr-f7.html>

Skládané filtry

S těmito filtry se můžeme setkat u filtru s vyšší třídou filtrace. Jako filtrační medium se používá filtrační papír se skelnými vlákny. Pro získání nízké filtrační rychlosti je papír složen do hlubokých skladů. Malá rozteč mezi skládaným papírem zajišťují vložené hliníkové nebo plastové proužky či svazky příze.

Často se pak skládané filtry vyrábí ve formě válcových patron, které jsou namontovány na dělicí desce, a filtrace probíhá z vnějšku dovnitř.

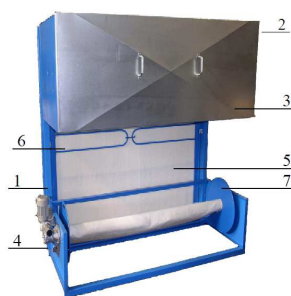
4.4.2 Pásové (odvíjecí) filtry

Základní částí pásového filtru FPC je masivní rám vyrobený z ocelových plechů, tvarované oceli a trubek. V horní části rámu je přišroubována uzavřená skříň s odnímatelným víkem, ve které je na dutince navinut pás filtračního rouna. Rouno je vedeno po filtrační ploše vymezené válečky, opěrným roštem a vodíci lištami. Po zanesení je navíjeno na dutinku navíjecí cívky. K pohonu filtračního pásu/ dle provedení / je použit trojfázový elektromotor s rozvodnicí. Pro měření stupně zanesení filtru je použit rozdílový manometr pro automatický posuv filtračního rouna - u FPC 11. [21]

Filtrační materiál bývá obvykle silnější a tlustší, protože musí odolávat tahu a být pružný, aby na cívce zaujímal co nejméně prostoru a po odvinutí získal svou obvyklou tloušťku. Používají se filtrační rohože ze syntetických materiálů nebo rouno ze skleněných vláken. S ohledem na strukturu materiálu a vyšší filtrační rychlosti se tyto filtry zpravidla používají pouze pro nižší třídy filtrace do třídy G3.

Pásový filtr FPC – popis:

- 1 – rám filtru
- 2 – skříň s pásem filtračního rouna
- 3 – odnímatelné víko stříně
- 4 – elektromotor
- 5 – filtrační rouno EU3
- 6 – vodící lišty
- 7 – dolní navíjecí cívka



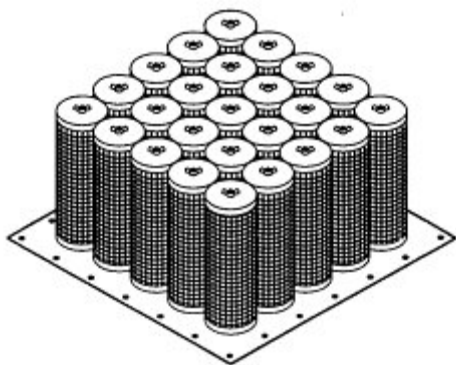
Obrázek 16: Pásový filtr Zdroj:
<http://www.vzduchotechnik.cz/domain/vzt/f/iles/prumyslove-normy/fpc.pdf>

Při provozu filtru dochází k postupnému zanášení filtračního pásu a tím k růstu jeho tlakové ztráty. Po jejím nárůstu na 2-3 násobek proti čistému stavu (cca na 300 Pa) se filtrační pás posune, eventuálně vymění za nový. Tlaková ztráta v čistém stavu je 100 až 120 Pa.

4.4.3 Sorpční filtry

Pro filtraci přiváděného nebo cirkulovaného vzduchu se často užívají filtry na principu adsorpce. K zachycení plynných látek a pachů se užívají látky s velkým měrným povrchem, který je dán členitou strukturou póry a trhlinami. Jako tyto látky se nejčastěji používá aktivní uhlí, aktivní koks, saze a jiné. U aktivního uhlí se měrný povrch datuje okolo 1250 m²/g. Sorpční schopnost závisí na látce a pohybuje se do 30 % hmotnosti náplně. Uhlí je velmi citlivé na zanesení prachem, proto je nutné předřadit filtry min. třídy F7.

Uhlí zachycuje nejenom oděry a pachy ale i organické látky jako jsou toluen, benzen, benzín, zápachy z udiřen, škodliviny od svařování či jiné. Sorpční filtry se vyrábějí v podobě válcových patron na nosné desce (viz obr. 18) nebo v podobě deskových filtračních vložek.



Obrázek 17: Sorpční patronový filtr

Zdroj: <http://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5877-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-iii>

4.4.4 Dielektrické filtry a elektrofiltry

Tyto filtry se užívají pro odloučení jemných částic v atmosféře pomocí elektrických sil. Příkladem jsou dielektrické filtry, kde k filtraci dochází v nevodivé vláknité vrstvě, která je umístěna v elektrickém poli mezi elektrodami. K odlučování pak působí elektrické síly. Tyto filtry se používají nejčastěji u recirkulačních filtrů v interiéru. Pro účinné odloučení jemných částic s minimální tlakovou ztrátou slouží elektrofiltry. Dá se říci, že se jedná o dvouzónový elektrický odlučovač.

Částice se nabijí kladnými ionty při průchodu ionizační částí. Poté nabité částice vstupují do odlučovací části, kde jsou záporné elektrody. Mezi elektrodami tak vzniká elektrické pole o vysoké intenzitě, které kladně nabité částice odlučují na elektrody záporné polarity.

Výhodou elektrofiltrů je nízká tlaková ztráta i nízký elektrický příkon. Elektrofiltry účinně odlučují jemné částice a lze je srovnat s filtry třídy F7 - F9. Elektrofiltry se většinou používají u odsávacích zařízení pro čištění vzduchu v pracovním prostředí (svarovery, obrobny).

5 Vnitřní prostředí- Interní mikroklima

Kvalita vnitřního vzduchu závisí hlavně na kvalitě venkovního ovzduší, protože do budov přivádíme venkovní vzduch větráním. Větrání venkovním vzduchem sice odvádí škodliviny vzniklé v budově, ale přináší s sebou do interiéru škodliviny z venkovního ovzduší. Zhoršená kvalita vnějšího ovzduší je především výsledek spotřeby energie v dopravě, průmyslu a užívání budov.

Význam má nejen množství přiváděného venkovního vzduchu, ale také jeho kvalita. Ve většině městských prostředí je kvalita vzduchu horší než v prostředí na venkově. Pro stejnou kvalitu vnitřního vzduchu je tedy ve městě potřeba přivést více vzduchu a lépe ho čistit. I přes tento známý fakt toto neberou požadavky na větrání v úvahu a nestanovují různé množství větracího vzduchu pro znečištěné a neznečištěné vnější ovzduší.

Stav vnitřního prostředí neboli interní mikroklima, na které má významným podílem vliv nejen vnější okolí ale i provoz budovy či podmínky provozu a kvalita stavby. V dnešní době, kdy lidé tráví 90% času v uzavřeném prostředí budov (dle ČSÚ) je nutné klást velký důraz na kvalitu prostředí a typy agencí, které na lidi působí.

Podle výsledků dotazníkové studie, která se prováděla v rámci České republiky, tráví dnes většina dětí 14 až 15 hodin v bytě a přibližně 6 až 7 hodin ve škole. [5]

Agencie je homogenní složka fyzické reality, která vytváří toky a bezprostředně exponuje, nebo může exponovat. Mnohdy si jim také říká škodliviny, nicméně ne všechny složky jsou škodlivé. Agencie jsou látky hmotnostního a energetického charakteru. Podrobný výčet je zobrazen v tabulce 2. Na vliv vzniku či utváření agencí vnitřního prostředí mají vliv vnější (klimatické podmínky, kvalita vzduchu), vnitřní (člověk, technické zařízení instalované do budovy, vytápění a vzduchotechnika) a stavební konstrukce (prostředí či využití budovy). Významně se podílí na tvorbě IM vytápění a vzduchotechnika, při jejíž činnosti se zásadně ovlivňují složky prostředí.

Tabulka 2: Dělení škodlivých složek působících v IM

Hmotnostní agencie	Toxické plynné látky	TOXICKÉ
	Pevný aerosol	
	Toxické plyny	
	Mikroby	MIKROBIÁLNÍ
	Toxické kapaliny	AEROSOLOVÉ
	Kapalný aerosol	
	Oděry	ODÉROVÉ
	Pohyb vzduchu	TEPELNĚ VLHKOSTNÍ
	Vodní pára	
Energetické agencie	Teplo: konvekční kondukční evaporační respirační radiační	
	Světlo	SVĚTELNÉ
	UV záření	ELEKTROMAGNETICKÉ
	Laserové záření	
	Mikrovlnné záření	
	Ionizující záření	IONIZAČNÍ
	Ionty v ovzduší	ELEKTROIONTOVÉ
	Statická elektřina	ELEKTROSTATICKÉ
	Zvuk	AKUSTICKÉ
	Vibrace	

5.1 Mikroklima budov a lidské zdraví

Prostředí interiérů je nesporně nejdůležitějším prostředím z hlediska možného vlivu na lidský organismus vzhledem k tomu, že většinu svého života strávíme v uzavřených prostorách. S kvalitou prostředí v interiérech je spojován výskyt alergií i některých jiných obtíží spojených s hyperreaktivitou dýchacích cest, SBS (syndrom nemocí budov), infekce dýchacích cest atd.. Je dobře známo a v řadě skandinávských studií i potvrzeno, že pokud interiér nejeví známky „vlhkosti“ v jakékoliv formě a pokud je interiér dostatečně větrán, respektive pokud je zajištěn přívod dostatečného množství kvalitního čerstvého vzduchu, pak je riziko vzniku problémů spojených s kvalitou prostředí v interiérech relativně nízké.

Odborná literatura obsahuje velmi málo informací nebo dokonce vzájemně si protiřečící informace o významu např. elektromagnetického pole, světla a architektonického řešení staveb pro zdraví člověka, ačkoli je nesporné, že většina těchto faktorů může být v určitém směru významná. Z hlediska zdraví se zdá, že nejdůležitějším faktorem, soudě podle současných znalostí, je v prostředí interiérů kvalita vzduchu. [19]

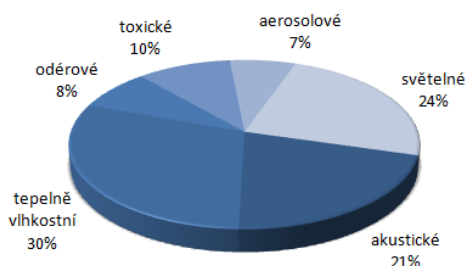
Syndrom nemocných budov

Při nevhodných podmínkách užívání budov dochází často k jevu, který je odborně nazýván „Syndrom nemocných budov“ (zkr. SBS – Sick Building Syndrome). Tento termín popisuje a přibližuje následky a zdravotní problémy, které lidé v budovách pociťují, aniž by tyto jevy měli zjevné příčiny. Tento jev snižuje kvalitativní a kvantitativní proces pracovní činnosti nejen u samotných osob ale i u celých skupin. Může se vyskytovat ve všech budovách a příčina tohoto syndromu není dosud objasněna. Při opuštění budovy syndrom mizí. SBS psychicky působí na člověka, narušuje pohodu a zhoršuje zdravotní stav. Není ovšem důvodem pro nemoc.

5.1.1 Kvalita vnitřního prostředí (IM) – charakteristika

Lidé tráví v budovách podstatnou část svého života. Cílem tvorby IM je optimální stav prostředí s konstantní úrovní, při minimálních energetických nárocích v celém spektru vyskytujících se proměnných, zejména vnějších klimatických podmínek v průběhu ročního období. Výchozí pro klasifikaci a identifikaci stavu IM jsou tzv. agencie, které představují látky hmotnostního či energetického charakteru.

V technické praxi je pro agencie stále užívaný termín škodliviny, ač všechny agencie nemusí mít efekt projevující se na stav IM škodlivě. Agencie mají charakter energetický (teplo, chlad, hluk, chvění, záření) či látkový (oděry, vodní pára, prach, plyny, aerosoly, jež tvoří dým, kouř, apod.).



Obrázek 18: Podíly složek působících na Interní mikroklima

Podle povahy působících agencií lze IM klasifikovat do prvotních složek, jež tvoří tepelné a tepelně vlhkostní mikroklima, oděrové, aerosolové, akustické, mikrobiální, elektrostatické iontové a světelné mikroklima. V budovách pro pobyt osob je zásadní tepelně vlhkostní, oděrové a akustické mikroklima. Podíly dílčích složek uvádí obrázek č. 19.

5.1.2 Základní druhy mikroklimatu:

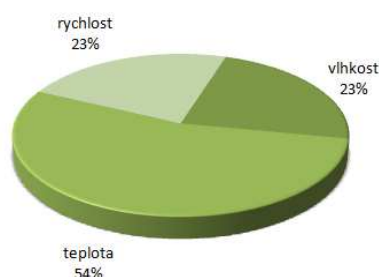
Tepelně vlhkostní mikroklima

Tepelně vlhkostní mikroklima je složka prostředí tvořena tepelnými a vlhkostními toky. Vnější klima, oddělené od interiéru vnějším pláštěm budovy, spolu se zdroji tepla a vodní páry v interiéru vytvářejí základní mikroklima prostředí, jež je upraveno prostředky technického zařízení budov na výsledný (požadovaný) tepelně vlhkostní stav vnitřního prostředí. Na ten mají vliv složky v označené v obrázku č. 20.

Ve většině obytných domů či prostor pro shromažďování je zdrojem tepelných toků člověk, umělé osvětlení, počítače a případně kopírovací stroje. Hodnota metabolismu člověka při práci ve studovnách je 1,2 met (1 met = 58,2 W.m⁻²). Pokud vezmeme v úvahu průměrný povrch člověka 1,8 m², pak představuje ve vnitřních prostředích zdroj tepla o výkonu 105 W. Toto teplo musí být odvedeno z prostoru, aby byla splněna podmínka tepelné rovnováhy a člověk pociťoval tepelnou pohodu. Odvod tepla je závislý na parametrech vnitřního prostředí (teplota vzduchu, střední radiační teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu) a na odporu oblečení. V interiéru chodí lidé s odloženými svršky v šatně většinou lehce oblečení (spodní prádlo, kalhoty, tričko), což představuje izolaci 0,7 clo (1 clo odpovídá tepelnému odporu R = 0,155 m².K.W⁻¹).

Veličiny :

- teplota vzduchu a radiační teplota
- vlhkost vzduchu
- rychlost proudění vzduchu



Obrázek 19: Podíl složek tepelně vlhkostního mikroklima

Optimální tepelně vlhkostní mikroklima je takové, při kterém dojde k tepelné rovnováze bez pocení, při optimální teplotě povrchu těla, při optimálním poměru konvenčního a radiačního tepla, při optimálním toku vodní páry z organismu a při rovnoměrné tepelné zátěži v čase. [4]

Odérové mikroklima

Představuje složku odérů, které jsou přítomny v ovzduší. Pachy mohou všeobecně působit jako vůně či zápachy, které mají organický či anorganický charakter.

Odéry (kouř, spaliny, pachy organických rozkládajících částí) se ve velké většině dostávají z exteriéru do interiéru či jsou tvořeny osobami a činnostmi. Další látky se mohou odpařovat z nábytku a vnitřního vybavení.

Odéry přímo neohrožují lidské zdraví, nicméně ve vyšších koncentracích jsou škodlivé a mohou způsobovat na organismus negativně (pokles aktivity, soustředění, únava, nevolnost).

Obsah složek ve vzduchu se dá hodnotit dle subjektivního hodnocení (pachy) a dle hodnocení objektivního (hygienické požadavky). Může předpokládat, že kvalita ve vnějším prostředí je lepší než v interiéru a to hlavně z důvodu vnitřních zdrojů, kterými jsou nejčastěji osoby. Z toho také vycházíme při hodnocení kvality. Nejčastěji kontrolovanou a určující škodlivinou je oxid uhličitý (CO_2). Dodržením hodnot CO_2 je tak současně i docíleno maximálních možných hodnot ostatních toxických látek, které se hůře a obtížněji zjišťují.

Toxické mikroklima

Jsou to převážně odérové látky, které se stejně jako u odérů dostávají do interiéru z vnějšího prostředí nebo vlivem zdroje (osob) jsou tvořeny ve vnitřním prostředí s tím rozdílem, že tyto plyny jsou toxické.

Z hlediska důsledků na osoby jsou zajímavé některé látky, jejichž výčet je uveden níže. Hlavní látky znečišťující ovzduší jsou popsány v předchozích kapitolách, jedná se hlavně o oxid uhelnatý, oxidy síry, oxidy dusíku, smog, ozon. Dalšími látkami, které se řadí do této kategorie je formaldehyd a amoniak.

Formaldehyd se uvolňuje převážně ze stavebních konstrukcí (lepidla, laky, nátěrové hmoty). Je obsažen v cigaretovém kouři a užívá se jako sterilizační prostředek ve zdravotnictví. Amoniak je bezbarvý pach obsažený např. v dřevotřískce a betonu. Má dráždivé účinky a způsobuje podráždění sliznic, očí a kůže.

Mezi tyto škodliviny se řadí i cigaretový a tabákový kouř přijímaný aktivním i pasivním kouřením.

Akustické mikroklima

Ve vnitřním prostředí je hluk nepříznivým jevem, který narušuje či negativně působí na lidské zdraví. Zdroj může být přímo v interiéru, či ve vnějším prostředí. Častým zdrojem je špatně navržená vzduchotechnika, jež v prostředí působí nadměrný hluk. Všechny zařízení užívané při provozu, jemuž je prostor určen nesmí překročit danou maximální hladinu akustického tlaku. Tyto hodnoty jsou stanoveny zákonem č. 502/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a související předpisy.

Aerosolové mikroklima

Aerosoly se v ovzduší vyskytují ve formě buď pevných částic (prachů), nebo kapalných částic (mlhy). Pevné aerosoly jsou původu organického, anorganického, popř. smíšeného, s elektrickým nábojem kladným či záporným, s velikostí 0,1 až 100 mikrometrů, která zároveň limituje rychlost jejich gravitačního usazování v ovzduší v rozsahu 30 dnů až 4 sec. Velikost částic menší než 10 mikrometrů je hranicí jejich respirability.

Ve venkovním ovzduší velkoměst se spad prachu pohybuje v hodnotách až 1100 t/km²/rok, při běžné koncentraci 1 až 3 mg/m³. V čistém horském prostředí se vyskytují koncentrace od 0,05 do 0,5 mg/m³. Domovní prach, zvláště biologické částice pod 1 mikrometr jsou hlavní příčinou postižení astmatem. Jako přípustná hodnota v běžných budovách se uvádí koncentrace inertních pevných aerosolů 10 mg/m³. [17]

Mikrobiální mikroklima

Tvoří jej mikroorganismy ovlivňující lidské zdraví ve vnitřním prostředí budov. Sledujeme biologické ukazatele výskytu bakterií, plísní (mikroskopických vláknitých hub) a alergenů roztočů. Kontrolu kvality prostředí provádíme za podmínek vyhláškou stanovených, ze dvou aeroskopem provedených odběrů vzduchu, kultivací na živné půdě. Pak jsou počítány vykultivované kolonie. Požadavky na kvalitu prostředí u běžných staveb jsou splněny, pokud nepřekročí koncentrace bakterií nebo plísní 500 KTJ.m⁻³ vzduchu (kolonie tvořících jednotek). Plísňe lze očekávat všude tam, kde je vysoká vlhkost vzduchu. Ta totiž způsobuje vlhkost stavebních konstrukcí, které jsou pak pro plísňe živnou půdou. Vzhledem k masové výměně oken v minulých letech, která nebyla spojena se změnou jejich užívání, tj. nová okna nevětrají infiltrací, je nutno je otvírat – došlo v mnoha bytech k nárůstu vlhkosti a tím rozvoji plísní. Dalším zdrojem vlhkosti, jak ukázalo šetření Státního zdravotního ústavu, je také zatékání střechou nebo vzlínání spodní vody. Tyto závady nejsou pouze estetické, neboť většina těchto plísní je pro člověka alergizující. [9]

Ionizační mikroklima

Je charakterizováno toky ionizujícího záření z přírodních radionuklidů a umělých zdrojů. Ve stavbách bytových se jedná především o vnikání radioaktivních plynů z podloží a ze stavebních hmot. Limitní hodnotou je takzvaná ekvivalentní objemová aktivita radonu (EOAR) v interiéru. U novostaveb činí 100 Bq.m⁻³ vzduchu. Dominantním zdrojem radonu je geologické podloží, takže se kumuluje zejména ve sklepech. Větší koncentrace byly zjištěny u budov s narušenou hydroizolací, která umožňuje průnik plynu. Radon lze odstraňovat větráním. [9]

Stejně jako se liší skutečná sensitivita k některým chemickým látkám, tak se liší i subjektivní hodnocení kvality vnitřního. I přes všechny tyto skutečnosti nejsou ve světě doposud stanoveny jednotné limity, které hodnotí míru rizika nebo podíl složek vnitřního prostředí. Z toho plyne, že je nutný individuální přístup při hodnocení a tvorbě interního mikroklimatu.

5.2 Kvalita vzduchu uvnitř budovy

Existuje mnoho faktorů, podle kterých se řídí a které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí. Velkou zásluhu má na kvalitě vnitřního vzduchu *kvalita vzduchu vnějšího*. Ve vnitřním vzduchu jsou obsaženy látky (plyny) stejného složení a stejné koncentrace jako ve vnějším prostředí. Tyto hodnoty jsou sledovány a kontrolovány ČHMÚ.

Dalším významnou vlastností je *průtok vzduchu*, který je přiváděn do objektu (místnosti) pro každou z osob (nebo dle účelu budovy). Dle Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. a č. 523/2002 Sb. se pro pracovní prostředí stanovuje minimální množství větracího vzduchu:

50 m³.h⁻¹ na osobu pro práci převážně v sedě,
70 m³.h⁻¹ na osobu pro práci převážně vestoje a v chůzi,
90 m³.h⁻¹ na osobu při těžké fyzické práci.

V místnostech, kde je kouření povoleno, se množství vzduchu zvyšuje o 10 m³.h⁻¹ na osobu. Dle Vyhlášky 6/2003 Sb., která stanovuje dávky vzduchu v budovách pro vzdělávání je min. dávka stanovena na 20-30 m³.h⁻¹.

S návrhem průtoku vzduchu je současně spjata i *intenzita výměny vzduchu*. Tyto hodnoty stanovuje ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov. V současné době se dbá při návrhu i realizaci díla na úsporu energie. Nejčastějším způsobem jak toho docílit je zlepšit tepelnou ztrátu pomocí dodatečného zateplení obálky budovy. Současně s tím se objekty osazují i novými těsnými okny. Tímto sice dochází k výrazné úspoře energií na vytápění, nicméně kvalita vnitřního vzduchu je výrazně degradována. Při zlepšení spárové průvzdušnosti u nových oken dochází k ponížení přirozeného větrání a tím i k nárůstu škodlivin a nedostatečné výměny vzduchu.

Podstatnou složkou vnitřního vzduchu, která má velký vliv na kvalitu je zdroj a *množství vzdušných škodlivin* produkované obyvateli. Sledovanou škodlivinou je nejčastěji v interiéru oxid uhličitý (CO₂). V exteriéru se koncentrace CO₂ pohybuje v rozmezí 350 až 600 ppm v závislosti na vnějších podmínkách. Koncentraci ovlivňuje především prostředí, kde koncentraci hodnotíme. V městských částech bude koncentrace výrazně vyšší než v prostředí přírody. Ve vnějším prostředí je zdrojem převážně znečištění od automobilové dopravy. Škodliviny vzniklé od osob jsou v tomto případě zanedbatelné.

Mezi další vlivy kvality patří *aktivita obyvatel* či účel, ke kterému je objekt (prostor) určen. Při zvyšování fyzické aktivity dochází ke zvýšení množství CO₂ a tím i ke zvyšování koncentrace v místnosti. Dále pak ke zvyšování teploty a vzniku pachů. Pachy pak může zapříčinit i *úklid a čištění prostor*.

Neméně důležitou složkou je pak *budova, konstrukce či vybavení*, které prostor obklopuje. Při použití nevhodných materiálů do interiérů, které jsou hůře větratelné, může dojít k odparu těkavých látek např. lepidel či laků do prostředí a zhoršuje se tím kvalita a čistota. Tento jev často nastává u některých dřevovláknitých desek či desek OSB, jež jsou vyrobeny lisováním štěpek a třísek v požadovaný tvar.

Hodnocení úrovně vnitřního prostředí

Hodnocení vnitřního prostředí je možno posuzovat dle subjektivního a objektivního hodnocení. Subjektivní hodnocení je založeno na pocitu člověka. Objektivní hodnocení je založeno na splnění skutečných fyzikálních zákonitostí.

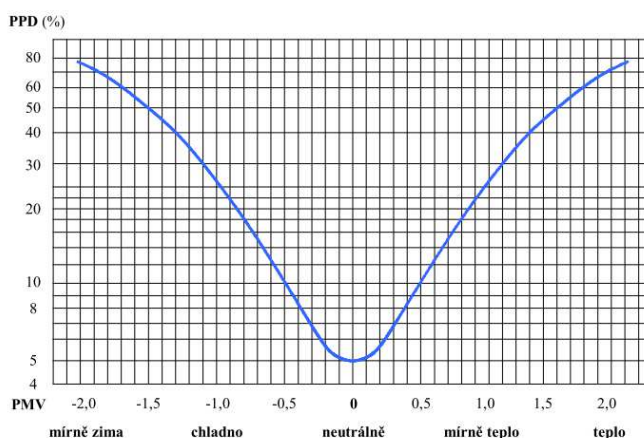
Ukazatele pro hodnocení úrovně stanovil prof. Fanger na základě pokusů a statických zpracování. Tyto ukazatele jsou kombinací subjektivního (PPD) a objektivního (PMV) hodnocení.

Toto hodnocení je převzato i v normě ČSN EN ISO 7730, která není závazná ale doporučená. Hodnocení je vyjádřeno ukazateli *PMV* a *PPD*, které vyjadřují předpověď tepelného pocitu a procentem osob s ním nespokojených.

Ukazatel *PMV* (Predicted Mean Vote) předpovídá střední tepelný pocit. Hodnota $PMV = 0$ představuje tepelnou pohodu (neutrálně) a pro odchylku od těchto komfortních podmínek je použita šestistupňová stupnice: +3 horko, +2 teplo, +1 mírně teplo, -1 mírně chladno, -2 chladno, -3 zima. Každá osoba však hodnotí komfortní podmínky jinak, a tak i při $PMV = 0$ je předpokládán počet nespokojených 5 %. *PMV* je možné stanovit výpočtem z energetického výdeje, tepelného odporu oděvu a ze změřených parametrů prostředí (např.: teplota vzduchu, střední radiační teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu). Parametry prostředí stanovujeme experimentálně v již provozovaných prostorech nebo představují určitý předpoklad stavu budoucího stavu interiéru zjištěný například modelováním za určitých předpokládaných podmínek.

Ukazatel *PPD* (Predicted Percentage of Dissatisfied) vyjadřuje předpokládané procento nespokojených se stavem interního mikroklimatu a byl stanoven na základě pokusů a statistického zpracování. Každé hodnotě *PMV* přísluší hodnota *PPD*.

Jejich vzájemná závislost je na grafu 3. V normě ČSN EN ISO 7730 je doporučeno, aby předpokládané procento nespokojených, v prostorách určených pro pobyt lidí, bylo menší než 10 %. [4]



Graf 3: Předpokládané procento nespokojených jakou funkce předpokládaného stupně pohody.

Zdroj: BABÁK, L. *Interní mikroklima studoven a jeho hodnocení podle ukazatelů PMV a PPD*. [online]. [cit. 28. 12. 2012]. Dostupné na internetu: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Babak_Libor.pdf

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

6 Analýza objektu z hlediska zadaného tématu, výchozí požadavky a hodnoty

6.1 Analýza objektu

Koncepční řešení aplikované dle experimentální části je poukázáno na budově základní školy v Boskovicích na ulici Sušilova. Škola byla vystavěna v 70. letech 20. století. Celý objekt byl vystavěn v železobetonovém sloupovém systému. Zdivo je provedeno z pálených plných cihel zděných na železobetonovém trámovém stropu. V roce 2009 byla díky dotacím programu Zelená úsporám provedena celková rekonstrukce objektu. Převážně se jednalo o úpravy a zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy. Bylo provedeno zateplení vnějších stěn a ploché střechy včetně hydroizolačních vrstev a výměna starých dřevěných oken za nová plastová. Byly provedeny i další práce, jež se ale netýkají a neovlivňují nijak zjištěné či navrhované možnosti úpravy.



Obrázek 20: ZŠ Sušilova Boskovice – experiment aplikován na jedné z částí budovy

Varianty popsané v následujících bodech této práce byly modelovány na jedné ze tříd této školy. Jedná se o učebnu na severovýchodní straně budovy ve 2.NP. Orientace oken je na sever a východ. Učebna je připravena pro max. 30 studentů. Rozměry učebny jsou 6,80 x 8,45 m a světlá výška je 2,95 m, což udává objem místnosti $O = 169,5 \text{ m}^3$.

V závěru práce je na zjištěný průtok vzduchu či variantu větrání navržena vzduchotechnická jednotka. Škola tvoří objekt o velké rozloze převážně se dvěma až třemi patry po celé ploše, v níž se nachází přes 20 učeben, 35 kanceláří, 20 hygienických místností, 2 tělocvičny a školní jídelna s kuchyní a vše s potřebným zázemím. Bylo by tedy z důvodu velké dopravní vzdálenosti, tlakové ztráty, velkém rozměru rozvodů a VZT jednotky nemožné navrhnout centrální vzduchotechnickou jednotku. Pro větrání decentrálními jednotkami určenými pro každou třídu by bylo asi dosaženo nejspokojenějších výsledků čistoty prostředí, ale pořizovací cena a nutnost údržby a provozu by mnohé školy od tohoto řešení odradila a mnohé instituce by si z ekonomického hlediska nemohli dovolit tento systém provozovat.

Proto jsem zvolil variantu návrhu VZT systému někde mezi centrálním a decentrálním systémem. Škola je šikovně řešena na různé bloky, které jsou obsazeny různými pracovišti, učebnami, ředitelstvím, zázemím či jinými. Pro názorný příklad jsem vybral blok, který slouží pro výuku. Ten je složen ze tří podlaží kde, v 1. S jsou dvě učebny s hygienickým zázemím a schodištěm, v 1.NP je hlavní vstup, šatny pro přezouvání studentů, průchozí chodba mezi okolními bloky a schodiště a ve 2. NP jsou místnosti seřazeny jako v 1. S. Podrobná dispozice je zobrazena na výkresech, jež jsou součástí této práce.

6.2 Výchozí požadavky a hodnoty

Při řešení problému byla zásadním kritériem dodržení legislativa, která předepisuje podmínky a kvalitu prostředí v objektech či místnostech pro vzdělávání. Jedná se především o tyto vyhlášky:

- Vyhláška č. 343/2009 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých,
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb,
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby,
- Vyhláška č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací,
- Vyhláška č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.

6.3 Aktuální technická řešení v praxi

V současné době u staveb pro vzdělávání (školky, školy) nedochází k velkému rozvoji výstavby, ale spíše k rekonstrukcím převážně vedoucím k energetickým úsporám. Velká většina základních škol je vystavěna ve stejném období a stejném či podobném stylu. V této práci řeším působení škodlivin na osoby, vznik a možnosti omezení a ochrany před látkami, které běžně vdechujeme a vystavujeme se tak jejich účinkům. K největším koncentracím některých častých látek jsme převážně vystaveni v interiérech objektů. Jde o budovy s častým výskytem osob. Když uvážím, že potřebuji uvést příklad, kde kvalita vnitřního prostředí hraje důležitou roli, není lepší stavba než budova pro vzdělávání – škola, kde se denně pohybuje velké procento osob (bez ohledu na čas prochází tímto místem každý a to minimálně po dobu 12 let). Pro takové prostředí je zásadní kvalita vnitřního vzduchu, která je ovlivněna dvěma zdroji, vnějším a vnitřním. U vnějších zdrojů se především jedná o průmyslové a výrobní závody a dopravu. U vnitřních zdrojů je kromě strojů a technického vybavení hlavním zdrojem škodlivin v převážné většině objektů člověk. Koncentrace škodlivin je ve vnitřním prostoru mnohdy vyšší než v otevřeném prostředí. Z toho důvodu je nutno řešit hlavně výměnu vzduchu. V době výstavby byly kladeny nároky na stavbu převážně z pohledu architekta. Výměna vzduchu byla řešena u naprosté většiny staveb z tohoto období přirozenou cestou – infiltrací a větráním otevřenými okny. V období zimních měsíců se pak spoléhalo na funkčnost infiltrace a krátkodobé větrání okny (dle potřeby uživatelů), což se dá říci, že bylo zachováno až do dnes. Velký rozdíl je ale ve vlastnostech dřevěných zdvojených oken vyrobených před 20 – 30 lety a dnes tolik používaných plastových oken.

Hlavním důvodem rozdílu mezi okny vyráběnými před 30 lety a dnes je z pohledu větrání těsnost, která je stanovena součinitelem spárové průvzdušnosti. Součinitel spárové průvzdušnosti vyjadřuje objemový tok vzduchu v m³ za 1 sekundu, proudícím přes 1 m spáry při tlakovém rozdílu 1 Pa. U starých oken se hodnota spárové průvzdušnosti pohybuje $i_{LV} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$. V dnešní době norma požaduje hodnoty v řádech 0,8 až $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$ což významně snižuje průtok vzduchu a mění pohled na možnost přirozeného větrání v objektech pro shromažďování osob.

7 Experimentální řešení

V části C – Experimentální řešení a zpracování výsledků této práce jsem provedl experimentální měření ve vnějším prostoru měřené na ulicích v různě zatíženém prostředí a ve vnitřním prostředí učebny střední školy. Díky tomuto měření bylo možné porovnat a zhodnotit koncentraci CO₂ a zatížení hlukem ve vnějším prostředí.

Dále pak navrhnout algoritmus, který s relativně přesnými výslednými hodnotami určí vnitřní koncentraci oxidu uhličitého při různých modelových případech. Pomocí těchto experimentálních měření a vyhodnocení jsou pak navrženy různé varianty úprav při rozdílných zatížení od vnějších i vnitřních zdrojů škodlivin. Dle výchozích platných vyhlášek pro tento typ staveb, jsou pak varianty hodnoceny.

8 Varianty řešení pro rozdílné podmínky

Z hlediska užívání staveb pro výchovu a vzdělání hraje v dnešní době významnou roli obor TZB. Při snaze vytvoření kvalitního interního mikroklimatu (prostředí) vycházíme z tabulkových hodnot, které jsou jistou formou upravovány, průměrovány a ne vždy odpovídají skutečnému stavu. V experimentální části byly ověřeny např. hodnoty koncentrací oxidu uhličitého (CO₂) v různém prostředí a ukázalo se, že oproti předpokládaným hodnotám může být realita rozdílná a to i o 40% oproti udávané hodnotě. Proto jsem se v této části rozhodl upřesnit a poukázat na problémy, které se týkají nejen naprosté většiny budov pro vzdělávání ale i některých objektů pro shromažďování osob.

Hlavním cílem je poukázat, že i přes platnou legislativu a normy, které jsou jednotné pro celé území ČR je možné při dodržení těchto vyhlášek navrhnout a vytvořit prostředí nevhodné a nefunkční. Výsledek a prostředí je pak zásadně rozdílné oproti požadované kvalitě.

Zásadní pro člověka je dostatečná výměna znečištěného vzduchu za čistý. Hlavním ukazatelem v interním prostředí je pak hladina škodlivin, odérů a pachů, které jsou produkovány osobami, nejsou dopraveny výměnou vzduchu z vnější expozice.

Variantami je myšlen hlavně průtok vzduchu, o který se v budovách dělíme, jeho vliv na kvalitu a potřeba. Nejlepším hodnocením pak bude vzájemná interakce mezi průtokem vzduchu a koncentrací škodlivin.

Škodlivin, které vdechujeme nebo na nás nepříznivě působí je mnohem větší výčet. Nemá ale smysl řešit látky, jejichž měřená hladina se pohybuje dlouhodobě pod limitními hodnotami.

Naopak složky, které jsou výše řešeny nás a okolí ovlivňují denně a jejich limitní koncentrace se pohybují na hranicích či mnohdy je překračují. Dle těchto složek pak jsou navrženy úpravy, v podobě např. instalace nuceného větracího systému či jiných.

8.1 Varianty výměny vzduchu

U naprosté většiny budov určených pro vzdělávání můžeme větrání dělit do dvou kategorií, přirozené a nucené.

Přirozené větrání je dnes obvyklejší (používá se u naprosté většiny škol), výjimkou jsou nová vzdělávací soukromá centra, nově budované školy či některé přednáškové sály vysokých škol, ve kterých již je systém nuceného větrání řešen. U přirozeného větrání je možno větrat infiltrací či přímo otevřenými okny (teoretická řešení jsou popsána v části A). Každý způsob má své kladné a záporné stránky. U větrání infiltrací se jedná převážně o nedostatečné výměny vzduchu. U větrání přímého otevřenými okny pak v době hlavně zimních měsíců dochází ke značně rozdílným teplotám v prostoru. Teplota mezi kotníky a hlavou by přitom neměla přesáhnout rozdíl 3 K.

8.1.1 Přirozené větrání

Nejčastěji užívané větrání, které se dnes stále užívá (pokud to dovolují vyhlášky a normy) je větrání přirozené, které se dá rozdělit na větrání kontrolované a nekontrolované. Tím kontrolovaným myslím větrání přímé otevřeným oknem. Větrání nekontrolovatelné je pak myšleno větrání infiltrací, které ovlivňuje kvalita okenních a dveřních konstrukcí. Sledovanou hodnotou je pak hlavně součinitel spárové průvzdušnosti. Tato hodnota je dále přiblížena v normě ČSN EN 12 207.

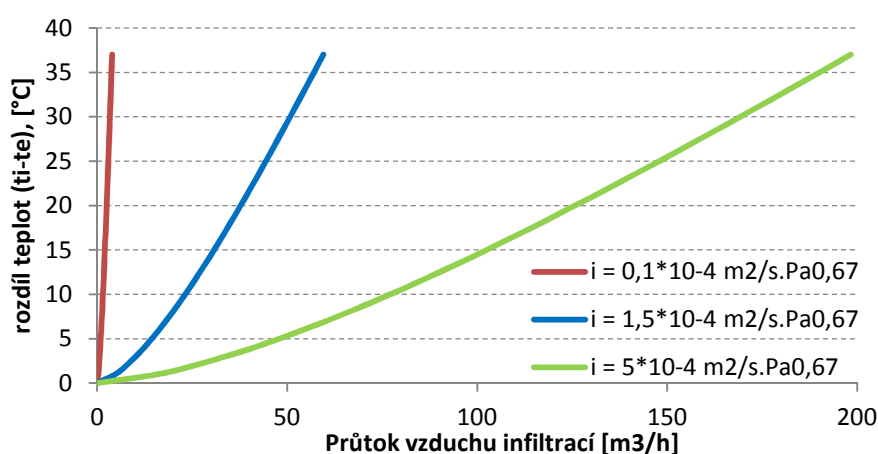
Tabulka 3: Požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti i_{LV} .

Funkční spára ve výplni otvoru	Požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti $i_{LV,N}$ [$\text{m}^3/\text{s.m.Pa}^{0,67}$]	
	Budova s větráním přirozeným a kombinovaným	Budova s větráním pouze nuceným nebo s klimatizací
Vstupní dveře do zádveří budovy při celkové výšce nadzemní části budovy do 8 m včetně	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vstupní dveře do budovy Dveře oddělující ucelené části budovy	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,30 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů při celkové výšce nadzemní části budovy	- do 8 m včetně - nad 8 m, do 20 m včetně - nad 20 m, do 30 m včetně - nad 30 m včetně	$0,87 \cdot 10^{-4}$ $0,60 \cdot 10^{-4}$ $0,30 \cdot 10^{-4}$ $0,10 \cdot 10^{-4}$
Lehký obvodový plášť včetně oken a dveří	$0,05 \cdot 10^{-4}$	$0,05 \cdot 10^{-4}$

Pro přiblížení důležitosti hodnoty spárové průvzdušnosti z pohledu vnikání přiváděného vzduchu přes netěsnosti v konstrukci oken či okolo rámu okna jsem zanesl hodnoty průtoku vzduchu do grafu. Graf přímo odpovídá infiltraci v zadané místnosti – třídě školy. Průtok vzduchu, který je dán infiltrací, je přímo ovlivněn teplotou. Dalším faktorem, který ovlivňuje průtok vzduchu je rychlost větru.

Z důvodu nestálého zatížení a rozdílných povětrnostních vlivů se však na působení nemůžeme spolehnout. V případě, že bychom hodnoty průtoků vzduchu započítávali k infiltraci od rozdílu teplot, pohybovaly by se průtoky do 180 m³/h (při rychlostech větru do 2 m/s) u oken třídy 1 (méně těsná okna a vstupní dveře).

U těsných oken s hodnotou spárové průvzdušnosti $i = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$ (4. Třída – těsná okna s víceúhlovým těsněním) by se pak průtoky vzduchu infiltrací pohybovaly v hodnotách $V = 30 - 60 \text{ m}^3/\text{h}$ (dle rychlosti větru). Na grafu č. 4 je pak znázorněn vliv součinitele spárové průvzdušnosti. U nových plastových oken můžeme očekávat hodnoty pro třídu těsnosti 1 (hnědá křivka). U oken které dnes dosluhují a jsou vyměňována, pak můžeme očekávat hodnoty blíží se i trojnásobku dnešních požadovaných hodnot (znázorňuje zelená křivka). Učebna, na které jsou přiblíženy varianty, má objem místnosti 169,5 m³.



Graf 4: Vliv součinitele spárové průvzdušnosti na průtok vzduchu infiltrací (od rozdílu teplot)

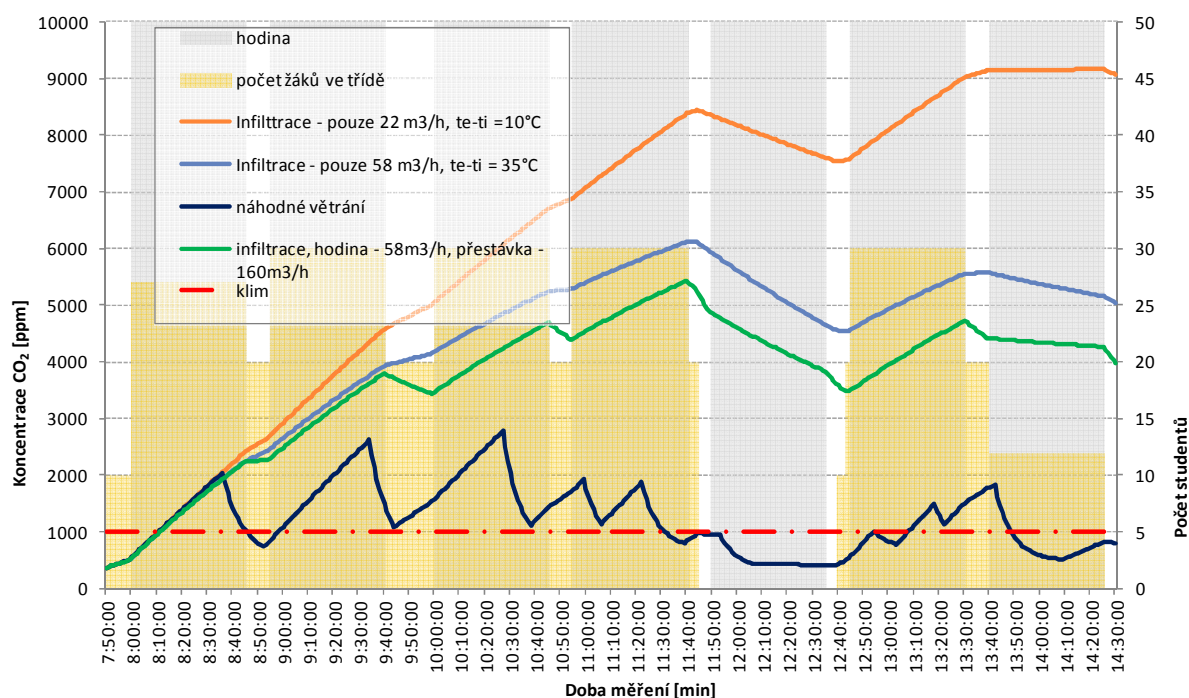
Uvážíme-li, že maximální rozdíl teplot mezi interiérem a vnějším prostředím je $\Delta t = 35 \text{ K}$, průtok vzduchu infiltrací pouze od rozdílu teplot pak vnáší hodnotu $V \leq 10 \text{ m}^3/\text{h}$, z čehož vyplývá hodnota výměny vzduchu $0,06 \text{ h}^{-1}$. Při stejné úvaze u oken starých je hodnota průtoku $V =$ cca 190 m³/h, výměna $1,1 \text{ h}^{-1}$. Pro jednotlivé osoby v závislosti na počtu by pak připadlo cca 6 m³/h. Tuto hodnotu ovšem nemůžeme brát jako směrodatnou, protože ve všech prostorách učebny má vzduch stejnou kvalitu. Z tohoto dokazování můžeme tedy odvodit fakt, že průtok vzduchu od přirozeného větrání infiltrací, nemůžeme dnes při užívání těsných konstrukcí považovat za způsob větrání a výměny vzduchu v místnosti.

Další možností jak učebnu větrat je přímé otevřením okna, V převážné části roku není žádný důvod proč tímto způsobem nevětrat. Nevýhodou je pak možné vnikání hluku od vnějších zdrojů což může působit zdravotní potíže a to hlavně v případech, kdy např. pod okny objektu vede více zatížená komunikace. U budov pro vzdělání je to mnohdy jediný způsob jak si zlepšit prostředí v místnostech. Je třeba se ale zamyslet nad otázkou, zda je tento způsob efektivní. Během výuky nesmí teplota v místnosti měřená mezi hlavou a kotníky překročit rozdíl 3 K, což u studentů sedících u otevřených oken jistě nebude dodrženo v období zimních měsíců. Existují i případy, kdy je vedením školy vyhlášen zákaz otvírání oken během přestávek a to z důvodu bezpečnosti.

V experimentální části jsem na základě změřených dat sestavil program, který při zadání okrajových podmínek dokáže s relativně přesnými hodnotami určit koncentraci oxidu uhličitého v závislosti na větrání. Tento program využiji k upřesnění a názornému zdůvodnění předností a kvalit pro různé typy zadání.

Prvním hodnoceným typem je přirozené větrání. Na grafu č. 5 jsou zaneseny některé varianty možností, které mohou nastat u tohoto typu větrání. Pro zvolení okrajových podmínek do výpočtu byla vzata konkrétní data a místo. Na grafu je vymezena doba přestávek a výuky, dále pak množství osob, které se v danou dobu v místnosti pohybují. Počet osob byl stanoven odhadem. Maximální počet osob je 30 v přestávkách pak počty klesají z důvodů odchodů studentů na chodbu či hygienické zázemí. Na základní škole je k přestávka na oběd využita jedna volná hodina. V této době předpokládám, že třída bude prázdná. V odpoledním vyučování se pak studenti vrací do tříd mnohdy i rozdělení na praktickou výuku, z tohoto důvodu pak je snížení počtu osob ve třídě na 12. V předchozím grafu je patrné, jak souvisí a ovlivňuje kvalita těsnosti oken možnou výměnu vzduchu infiltrací. Oranžová křivka popisuje hladinu koncentrace oxidu uhličitého u větrání infiltrací novými okny při rozdílu teplot $t_i - t_e = 10\text{K}$. Je patrné, že křivka nabírá největší strmosti, což značí rychlý nárůst CO_2 . Po dvou hodinách v takovémto prostoru může docházet k nevolnostem a či bolestem hlavy. Další je pak zhodnocené větrání pro např. zimní měsíce, kdy je větší rozdíl teplot vzduchu ve vnějším prostředí a učebnou školy. Na grafu je hodnota znázorněna modrou křivkou. V tomto výstupu je ale úmyslně zanesena chyba aby bylo patrné, jakým způsobem a přesností ovlivňují vstupní hodnoty výsledek. Po celou dobu dne je ve výpočtu zanesena hodnota průtoku a výměny vzduchu konstantní, což při pohybu během přestávek není možné. Přesnější zhodnocení udává křivka zelená, u které je změna průtoku vzduchu v době přestávek patrná nenápadným poklesem koncentrace.

I přes všechny úpravy a zpřesňování je patrné, že koncentrace se pohybují vysoko nad limitem, místy i pětinasobně tyto hodnoty překračují. Poslední, běžně užívaná varianta řeší jediný možný způsob přirozeného větrání vhodný pro budovu školy, který odpovídá a částečně splňuje minimální dávky vzduchu pro každou z osob. Poslední křivka na grafu (tmavě modrá) značí možnost náhodného větrání otevřeným oknem. Toto větrání je vždy řízeno podle subjektivního pocitu osob v místnosti. Při otevření okna můžeme získat průtok vzduchu až $1400\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ (v našem případě), což udává hodnotu více jak osminásobné výměny. Na grafu je průběh znázorněn nad limitní koncentrací, protože kontrola je pouze subjektivní a málo kdo pociťuje zatížení při limitních hodnotách. Při měření na experimentální části si zúčastnění studenti několikrát během dne stěžovali ale vždy až při hodnotách nad 2000 ppm. Při pohled na graf je ale nepatrný na první pohled fakt, že k dosažení těchto řekněme uspokojujících koncentrací muselo být otevřeno okno po dobu necelých dvou hodin (115 min) z celkových 6 hodin a 40 minut.

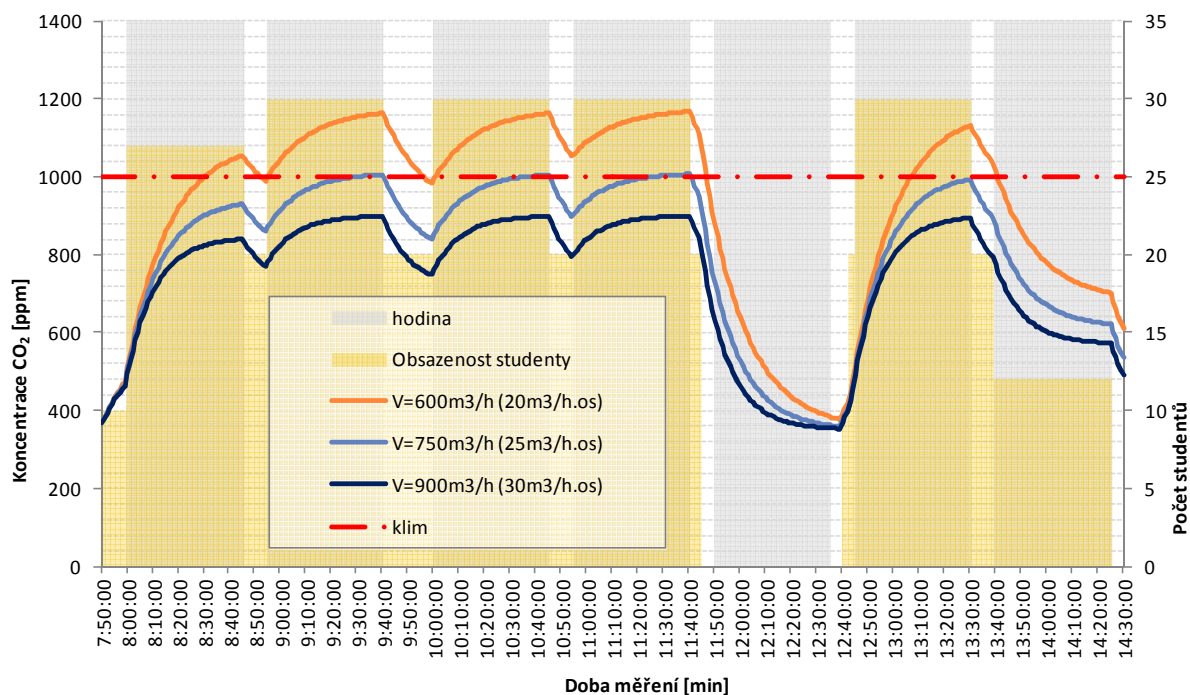


Graf 5: Průběh koncentrace oxidu uhličitého při větrání pouze přirozeným větráním

8.1.2 Nucené větrání

Druhým typem, kterým je pak možno realizovat větrání po dobu výuky je nuceně pomocí vzduchotechnické jednotky. Tento systém je zaváděn do praxe čím dál častěji a to z jediného důvodu. Přímo nám dovoluje sledovat kvalitu vnitřního vzduchu a udržovat ji na úrovni, kterou potřebujeme. Návrh systému pro mnou řešený systém na základní škole se řídí stejnými pravidly jako při kterémkoliv návrhu VZT. Předními jsou vyhlášky a normy. Vyhláškou jsou pak i stanoveny hodnoty výměny vzduchu či přesněji konkrétní dávky pro dané osoby. Pro školní zařízení je stanovena potřeba 20 až 30 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na 1 žáka. Při návrhu systému jsem volil průtok vzduchu 25 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Při sledování koncentrací u nuceného větrání na hodnocené místnosti si můžeme povšimnout, že při zadaných a vyhláškami stanovených dávkách vzduchu se koncentrace nepohybují nějak výrazně nad limitní koncentraci. Vstupní hodnota v podobě koncentrace ve vnějším prostředí nehraje nijak významnou roli. Z provedeného měření víme, že hodnoty měřené ve vnější expozici se pohybují mezi 350 až 600 ppm, což vzhledem k množství zdrojů ve vnějším prostoru nehraje nijak výjimečnou roli. Graf č. 6 je volen pro konstantní průtok vzduchu přiváděného do třídy. V dnešní době je ale tento postup nahrazen a užívá se systému MaR, který prostředí pomocí čidel teploty, vlhkosti koncentrace oxidu uhličitého zhodnotí, a nastaví výkon jednotky na požadované hodnoty.



Graf 6: Koncentrace oxidu uhličitého při využití nuceného větrání

9 Hodnocení navržených variant z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí a jiné

Z hlediska vnitřního prostředí jsou systémy jasně rozděleny. Přirozené větrání, které působí sice neustále ale s různým omezením výměny vzduchu, se na řešeném případě ukázalo jako naprosto nevhodné. Dávky vzduchu, které jsou přírodními silami dodány do místnosti jsou malé a velmi závislé na aktuálních klimatických podmínkách. Při větrání okny jsou naopak dávky dostačující a škodliviny vzniklé ve vnitřním prostoru učebny jsou odvedeny. Kvalita vzduchu pak má hodnoty koncentrací látek podobné jako jsou ve vnějším prostředí. Ideálním řešením v mnohých stavbách je kombinace těchto dvou způsobů větrání, kdy neustále působí infiltrace a nárazově si větráme pouze v období, kdy subjektivně pocítíme zhoršení. Myslím si ale, že budovy, ve kterých se pohybuje denně spousta mladých lidí a ve kterých ne nutně vytvoření kvalitního prostředí je dnes už nutnou součástí systém vzduchotechniky. Hodnoty koncentrace nejsou při správném a vhodném využití nuceného větrání vysoké. Díky systému řízení a sledování dokáže systém aktuálně sledovat pomocí různých čidel stav prostředí a reagovat na něj. Z hlediska prostorových nároků je systém náročný na prostor, kde bude vedeno vzduchotechnické potrubí a hlavně vzduchotechnická jednotka, která navíc potřebuje prostor pro manipulaci a revizi. Z pohledu ekonomiky, který je asi tím nejsledovanějším je přirozené větrání tzv. „již součástí stavby“ a tak nic nestojí pořízení.

Když ale uvážíme kolik tepla vypustíme do prostoru větráním, je položka na provoz a pořízení rázem přijatelnější.

Ovšem ekonomická stránka je mění dle řešené stavby a instalovaných systémů, proto je nutné řešit a hodnotit přímo danou situaci.

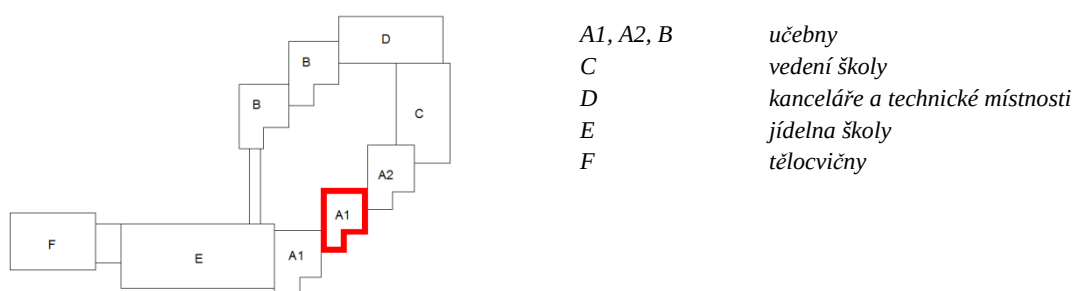
Zřízením systému nuceného větrání je výrazně zlepšují podmínky a kvalita vnitřního prostoru.

10 Ideové řešení profesí TZB v zadané budově, výkresová dokumentace

Dle předchozích variant je patrné, že v prostorách pro shromažďování osob, kde zdroje škodlivin jsou součástí interiéru je nutná zvýšená potřeba větrání a výměny vnějšího (neznečištěného) za vnitřní (škodlivý) vzduch. Řešením je aplikace nuceného větracího systému v objektu.

10.1 Hlavní účel budovy a požadavky na VZT zařízení

VZT systém je navržen na budově sloužící pro vzdělání jako základní škola. Budova je bohatě členěná se dvěma až třemi patry v celé ploše zástavby. Na budově je řešena plochá střecha. Obálka budovy je po rekonstrukci zateplena. V současné době je celý objekt vytápěn teplovodním systémem. VZT systém by měl pokrývat celoročně dostatečnou výměnu vzduchu v části budovy, ve které jsou umístěny učebny, hygienické zázemí a šatny. Řešená část je zobrazena na schematickém popisu budovy.



Obrázek 21: Členění budovy, na které je aplikován experiment (řešená část je označena červeně)

Okrajové podmínky

Stavba se nachází ve městě Boskovice. Zimní výpočtová teplota exteriéru je tabulkově stanovena $t_e = -15^\circ\text{C}$ (Blansko). Vnitřní návrhové teploty pro zimní období jsou stanoveny na 22°C , hygienické zázemí a šatny na 20°C .

Průtoky vzduchu, tlakové poměry

Průtok vzduchu závisí na množství potřebného vzduchu a typu nuceného větrání.

Byla zvolena varianta rovnotlakého systém, přiváděný průtok vzduchu je roven odváděnému.

Navržené průtoky byly převážně voleny dle vyhlášky č. 343/2009 Sb.

Student: 20-30 m^3/h (voleno 25 m^3/h)

Umyvadlo: 30 m^3/h

Pisoár: 25 m^3/h

WC: 50 m^3/h

Chodby a haly: $n = 2$

V objektu je volen rovnotlaký systém.

10.2 Distribuční prvky

Přívodní a odvodní elementy byly navrženy dle podkladů firmy Mandík, a.s.

10.2.1 Přívodní koncové elementy

Na čtyřhranné přívodní potrubí jsou osazeny dvouřadé obdélníkové vyústky s regulací R1

Koncové přívodní elementy ve třídách V = 375 m^3/h :

Místnost: 0.01, 0.04, 2.01, 2.04 - učebny

- objemový průtok ventilem	$V_o = 375 \text{ m}^3\text{h}^{-1} = 0,104 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
- rozměry	400/140mm, obrysový průřez 380/120 mm
- volná výtoková plocha	$S = 0,038 \text{ m}^2$
- tlaková ztráta	$\Delta p_c = 22 \text{ Pa}$
- hladina akustického výkonu	$L_{WA} = 33 \text{ dB}$
- efektivní rychlost	$w = 2,1 \text{ m.s}^{-1}$
- otevření regulace	$c = 75 \%$

Navrženo: Obdélníková dvouřadá vyústka 400 x 140 mm (2 ks /třída)



Obrázek 22: Obdélníková vyústka

Zdroj: http://www.mandik.cz/images/stories/soubory/mrizky_a_vyustky/vnm/015_01cz_Z2_VNM.pdf

10.2.2 Odvodní koncové elementy

Z hygienických prostor bude znečištěný vzduch odveden talířovými ventily.

Koncové elementy do 90 m³/h:

Místnost číslo: 0.06 – Umývárna (3x umyvadlo) 0.12 -umývárna, 0.13 – WC, 2.06, 2.12, 2.13

- | | |
|--|--|
| - objemový průtok ventilem | $V_o = 90 \text{ m}^3\text{h}^{-1} = 0,025 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ |
| - zvolen ventil Ø 100 mm | $V_{\max} = 90 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ |
| - vzdálenost talířového ventilu od nulové polohy | $s = +5 \text{ mm}$ |
| - tlaková ztráta | $\Delta p_c = 85 \text{ Pa}$ |
| - hladina akustického výkonu | $L_{WA} = 28 \text{ dB}$ |

Navrženo:

Talířový ventil TVOM 100

Koncové elementy do 50 m³/h:

Místnost číslo: 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.14, 0.15, 2.08, 2.09, 2.10, 2.11, 2.14, 2.15

- | | |
|--|---|
| - objemový průtok ventilem | $V_o = 50 \text{ m}^3\text{h}^{-1} = 0,0139 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ |
| - zvolen ventil Ø 100 mm | $V_{\max} = 60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ |
| - vzd. talířového ventilu od nulové polohy | $s = 0 \text{ mm}$ |
| - tlaková ztráta | $\Delta p_c = 45 \text{ Pa}$ |
| - hladina akustického výkonu | $L_{WA} = 25 \text{ dB}$ |

Navrženo:

Talířový ventil TVOM 80

10.2.3 Stěnové mřížky:

U hygienických místností budou nadedvěřmi osazeny stěnové mřížky, z důvodu cirkulace odváděného vzduchu. Mřížky jsou hliníkové s krytým uchycením. Velikost mřížek je navržena 300/150 mm, obrysový průřez 280/130 mm.



Obrázek 23: Stěnová mřížka [<http://www.mandik.cz/cs/distribucni-elementy/mrizky-a-vyustky>]

10.3 Dimenzování potrubí a tlaková ztráta

Vstupní hodnoty, volené předběžné rychlosti w' i průměr d' , navržený průměr čtyřhranného potrubí $A \times B$, skutečná rychlost w v potrubí pro rovnocenný průměr d_r a tlakové ztráty jsou uvedeny z tabulek.[2] Ostatní potrubí bude navrženo obdobným způsobem. Dimenzování základního okruhu je navrženo metodou zvyšování rychlosti.

Tabulka 4: Dimenzování hlavní větve přírodního vzduchu

číslo úseku	Průtok vzduchu v úseku		Délka úseku	Předběžná rychlost	Průtočná plocha	Odpovídající průměr	Rozměry potrubí		Skutečný průměr	Skutečná rychlost	Měrná tlaková ztráta	Součinitel vřazených odporů tvarovek		Tlaková ztráta místními odpory v úseku	Tlakové ztráty třením a vřazenými odpory
úsek	V		l	w'	S	d'	A x B		d_r	w	R	ξ	I . R	Z	I . R+Z
	$m^3 \cdot h^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$													
1	375	0,104	4,5	2	0,052	257,6	400	200	260	1,30	0,11	1,2	0,50	1,2	1,71
2	750	0,208	6,0	2,5	0,083	325,8	400	250	300	2,08	0,15	0,9	0,90	2,3	3,24
3	1500	0,417	8,5	3	0,139	420,6	400	400	400	2,6	0,3	1,5	2,55	6,1	8,63
4	1700	0,472	4,0	3,2	0,148	433,6	400	400	400	2,95	0,135	0,6	0,54	3,1	3,67
5	3200	0,889	6,0	4	0,222	532,1	500	400	450	4,44	0,45	0,3	2,70	3,5	6,25
													7,2	16,3	23,5
Tlaková ztráta posledního koncového elementu															28,0
Celkem															51,5 Pa

Tabulka 5: Dimenzování hlavní větve odváděného vzduchu

číslo úseku	Průtok vzduchu v úseku		Délka úseku	Předběžná rychlost	Průtočná plocha	Odpovídající průměr	Rozměry potrubí		Skutečný průměr	Skutečná rychlost	Měrná tlaková ztráta	Součinitel vřazených odporů tvarovek		Tlaková ztráta místními odpory v úseku	Tlakové ztráty třením a vřazenými odpory
úsek	V		l	w'	S	d'	A x B		d_r	w	R	ξ	I . R	Z	I . R+Z
	$m^3 \cdot h^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$													
1	100	0,028	2,0	2	0,014	133,0	125	125	122	1,78	0,25	1,5	0,50	2,9	3,35
2	290	0,081	2,0	2,5	0,032	202,6	250	160	165	2,01	0,039	0,65	0,08	1,6	1,65
3	460	0,128	1,5	3	0,043	232,9	250	200	220	2,56	0,45	0,3	0,68	1,2	1,85
4	540	0,150	1,5	3,3	0,045	240,6	250	200	220	3	0,5	0,3	0,75	1,6	2,37
5	600	0,167	3,0	3,8	0,044	236,4	250	200	220	3,33	0,85	1,5	2,55	10,0	12,53
6	2600	0,722	3,0	4,1	0,176	473,7	500	400	450	3,61	0,37	0,33	1,11	2,6	3,69
7	3200	0,889	7,0	4,5	0,198	501,6	500	400	450	4,44	0,56	1,2	3,92	14,2	18,11
													9,6	34,0	43,6
Tlaková ztráta posledního koncového elementu															45,0
Celkem															88,56 Pa

10.4 Izolace potrubí

VZT jednotka bude umístěna na střeše školy, kde můžeme očekávat teplotu až $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hlavní kritická místa pak vznikají při přechodu mezi vytápěným prostorem a připojením na VZT jednotku. Posouzení a návrh izolace byl proveden pomocí výpočtového programu na webu. [13]

Na vnějším potrubí je navržena izolace Isover Klimafix tl. 40 mm.

10.5 Úprava vzduchu, návrh VZT jednotky

Jednotka je dimenzována dle požadavků dané zóny a distribuční sítě. Pro dimenzování jsou zásadní vstupní hodnoty, okrajové podmínky a požadavky. Pro dimenzování ventilátorů jsou důležité průtoky odváděného a přiváděného vzduchu a tlaková ztráta sítě. K sestavení jednotek jsem použil software AeroCAD firmy Remak, a.s.

Vstupní hodnoty a požadavky

Teplota interiéru v zimním období:	22 °C
Teplota přiváděného vzduchu do místnosti:	22 °C
Výpočtová teplota v zimním období:	-15 °C
Požadovaná relativní vlhkost v interiéru	50 (30)%
Objemový průtok přírodního vzduchu:	3200 m ³ /h
Objemový průtok odvodního vzduchu:	3200 m ³ /h
Tlaková ztráta přírodního potrubí:	52 Pa
Tlaková ztráta odvodního potrubí:	89 Pa

Úpravy vzduchu v zimním období

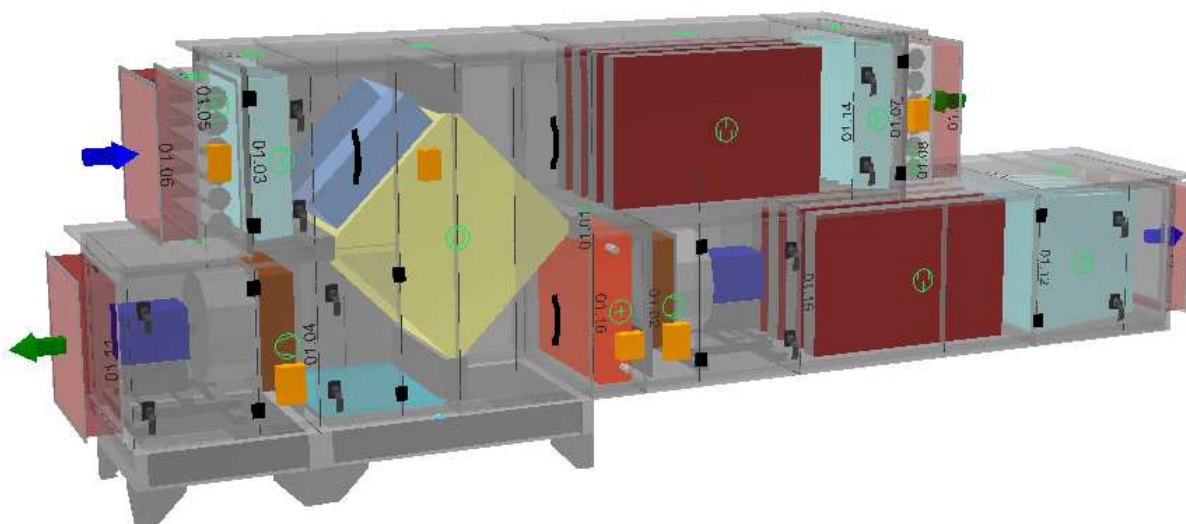
Součástí VZT jednotky je deskový výměník, který předeřívá vzduch z teploty -15°C na 3°C . Ohřívač pak ohřeje vzduch na potřebných 22°C . Teplotní spát otopné vody je volen $75/55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při vstupu vzduchu z exteriéru je před jednotkou umístěn filtr G3 a za jednotkou filtr F9. Na odvodu je pak v jednotce umístěn filtr G3.

Úpravy vzduchu v letním období

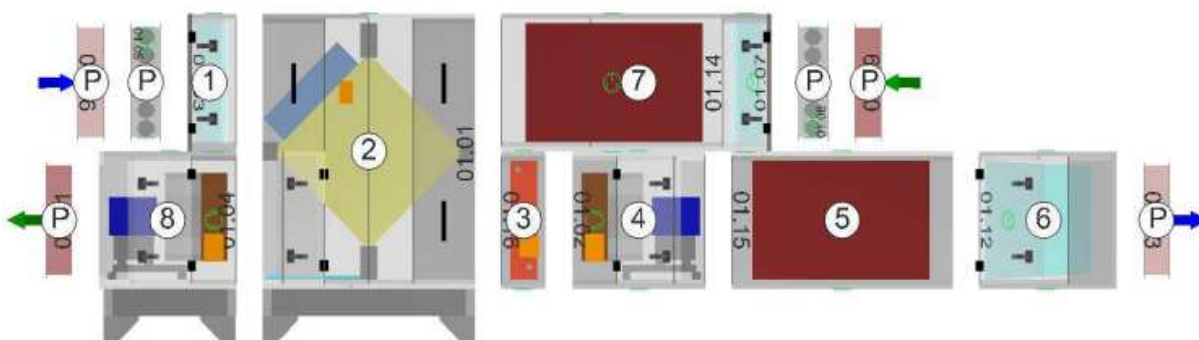
V letním období bude jednotka sloužit pouze pro filtraci a výměnu vzduchu.

Navržená jednotka

Byla navržena jednotka firmy Remak: Aero Master XP 06, model boxu AMXP3.



Obrázek 24: Schéma jednotky Aero Master XP 06 [software AeroCAD]



Obrázek 25: Popis částí jednotky[software AeroCAD]

10.5.1 Popis součástí zařízení

Tabulka 6: Popis součástí přívodní části užitých v navržené jednotce

Ozn.	Prvek	Popis
P	Tlumičí vložka čtyřhranná	Prvek je určen k zamezení přenosu chvění a vibrací klimatizační jednotky na potrubí. Slouží také k částečné kompenzaci pnutí a zátěže od teplotních dilatací v potrubní trase. Umísťuje se tedy před a za klimatizační jednotku (před resp. za koncový panel prvního resp. posledního komponentu ve větvi).
P	Uzavírací klapka	slouží k uzavírání čtyřhranného vzduchotechnického potrubí. Oblast jejího nasazení je determinována především použitým servopohonem.

1	Sekce filtru	Filtrační vložka (pouze třída filtrace G3) se používá především jako předfiltr pro odloučení hrubších prachových částic, případně jako jediný stupeň filtrace v méně náročných aplikacích nebo k ochraně prostředí ve větraných místnostech a k ochraně teplosměnných ploch výměníků. Filtrační vložku je doporučeno umístit na vstup do jednotlivých větví.
2	Sekce deskového rekuperátoru - protiproud (bez eliminátoru kapek)	je jako jeden kompaktní celek osazen: - teplosměnnou vložkou - bypassem - volitelným INTEGROVANÝM SMĚŠOVÁNÍM - volitelnými vanami odvodu kondenzátu (s trubicí zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu) TEPLOSMĚNNÁ VLOŽKA z tenkých AL plechů je určena k přenosu tepla mezi vzduchem v přívodní a odvodní větví. Proud vzduchu jsou dokonale odděleny. BYPASS slouží jako ochrana proti namrzání teplosměnné vložky v odvodní části, dále pak k zamezení nechtěné rekuperace (především v letním období). Je standardně osazen klapkou, která je protiběžně spřažena s klapkou v průřezu teplosměnné vložky.
3	Ohřívač	Jednotka je osazena vodním ohřívačem. Počet řad výměníku bude určen automatizovaně při výpočtu. Plášť výměníku je vyroben z pozinkovaného plechu. Teplosměnnou plochu tvoří hliníkové lamely, které jsou s přesahem nataženy na měděných trubicích.
4	Sekce ventilátoru	- vestavným ventilátorem s volným oběžným kolem a přímým pohonem - jednotáčkovým motorem. Díky své délce a od ní odvozených osazených prvků je sekce vhodná pro nižší průtoky vzduchu v rámci zvolené rozměrové řady. VESTAVNÝ VENTILÁTOR je tvořen volným oběžným kolem s dozadu zahnutými lopatkami, které je umístěno přímo na hřídeli motoru. Použití přímého pohonu přináší řadu výhod: - velkou spolehlivost zařízení - zmenšení délky a hmotnosti celých sekcí - úsporu elektrické energie - možnost vyloučení druhého stupně filtrace - zmenšení nákladů na servis MOTOR je jednotáčkový trojfázový asynchronní s kotvou nakrátko.. REGULACE VÝKONU přináší další energetické úspory a je umožněna volbou vhodného regulátoru výkonu - frekvenčního měniče. U většiny ventilátorů je pro dosažení deklarovaných parametrů použití frekvenčního měniče povinné. Ventilátor lze poté provozovat standardně v 5-ti výkonových stupních, případně i plynule.

5	Sekce tlumiče hluku (délka 1250 mm)	je určena pro tlumení hluku šířícího se vzduchotechnickým potrubím od ventilátorů ve směru sání i výtaku. Před tlumič je doporučeno přidat prázdnou komoru délky cca 1m pro částečné vyrovnání rychlostního profilu proudu vzduchu. Sekce je standardně osazena kulisami, které jsou tvořeny profilovaným rámem z pozinkovaného plechu a absorpční výplní z nehořlavého zvukoizolačního materiálu, který je po stranách pokryt netkanou sklotextilií (deska z kamenné vlny pojená organickou pryskyřicí). Materiál odpovídá třídě hořlavosti A2 (nehořlavé) dle DIN 4102.
6	Sekce filtru	- filtrační vložka (třída filtrace F9) Filtrační vložka slouží k filtraci a ochraně vnitřního prostředí. Materiál filtrační vložky je z progresivně konstruované netkané textilie ze 100% syntetických vláken.
P	Tlumící vložka čtyřhranná	Prvek je určen k zamezení přenosu chvění a vibrací klimatizační jednotky na potrubí. Slouží také k částečné kompenzaci pnutí a zátěže od teplotních dilatací v potrubní trase. Umísťuje se tedy před a za klimatizační jednotku (před resp. za koncový panel prvního resp. posledního komponentu ve větvi).

*Sekce jsou vybaveny servisními dvířky s klikami pro snadný přístup k filtrační vložce.

*Informace v předchozí tabulce jsou výčtem informací z návrhového softwaru AeroCAD společnosti REMAK, a.s.

*Přívod vzduchu označují modré šipky při vstupu a výstupu vzduchu z jednotky.

Tabulka 7: Popis součástí odváděcí části užitých v navržené jednotce

Ozn.	Prvek	Popis
P	Tlumící vložka čtyřhranná	Prvek je určen k zamezení přenosu chvění a vibrací klimatizační jednotky na potrubí. Slouží také k částečné kompenzaci pnutí a zátěže od teplotních dilatací v potrubní trase. Umísťuje se tedy před a za klimatizační jednotku (před resp. za koncový panel prvního resp. posledního komponentu ve větvi).
P	Uzavírací klapka	slouží k uzavírání čtyřhranného vzduchotechnického potrubí. Oblast jejího nasazení je determinována především použitým servopohonem.
-	Sekce filtru	Filtrační vložka (pouze třída filtrace G3) se používá především jako předfiltr pro odloučení hrubších prachových částic, případně jako jediný stupeň filtrace v méně náročných aplikacích nebo k ochraně prostředí ve větraných místnostech a k ochraně teplosměnných ploch výměníků. Filtrační vložku je doporučeno umístit na vstup do jednotlivých větví.

7	Sekce tlumiče hluku (délka 1250 mm)	je určena pro tlumení hluku šířícího se vzduchotechnickým potrubím od ventilátorů ve směru sání i výtaku. Před tlumič je doporučeno přidat prázdnou komoru délky cca 1m pro částečné vyrovnaní rychlostního profilu proudu vzduchu. Sekce je standardně osazena kulisami, které jsou tvořeny profilovaným rámem z pozinkovaného plechu a absorpční výplní z nehořlavého zvukoizolačního materiálu, který je po stranách pokryt netkanou sklotextilií (deska z kamenné vlny pojená organickou pryskyřicí). Materiál odpovídá třídě hořlavosti A2 (nehořlavé) dle DIN 4102.
2	Sekce deskového rekuperátoru - protiproud (bez eliminátoru kapek)	je jako jeden kompaktní celek osazen: - teplosměnnou vložkou - bypassem - volitelným INTEGROVANÝM SMĚŠOVÁNÍM - volitelnými vanami odvodu kondenzátu (s trůbkou zakončenou šroubením pro odvod kondenzátu) TEPLOSMĚNNÁ VLOŽKA z tenkých AL plechů je určena k přenosu tepla mezi vzduchem v přívodní a odvodní větvi. Proud vzduchu jsou dokonale odděleny. BYPASS slouží jako ochrana proti namrzání teplosměnné vložky v odvodní části, dále pak k zamezení nechtěné rekuperace (především v letním období). Je standardně osazen klapkou, která je protiběžně spřažena s klapkou v průřezu teplosměnné vložky.
8	Sekce ventilátoru	- vestavným ventilátorem s volným oběžným kolem a přímým pohonem - jednootáčkovým motorem. Díky své délce a od ní odvozených osazených prvků je sekce vhodná pro nižší průtoky vzduchu v rámci zvolené rozměrové řady. VESTAVNÝ VENTILÁTOR je tvořen volným oběžným kolem s dozadu zahnutými lopatkami, které je umístěno přímo na hřídeli motoru. Použití přímého pohonu přináší řadu výhod: - velkou spolehlivost zařízení - zmenšení délky a hmotnosti celých sekcí - úsporu elektrické energie - možnost vyloučení druhého stupně filtrace - zmenšení nákladů na servis MOTOR je jednootáčkový trojfázový asynchronní s kotvou nakrátko. Motory jsou standardně vybaveny ochrannými termokontakty zabudovanými ve vinutí. REGULACE VÝKONU přináší další energetické úspory a je umožněna volbou vhodného regulátoru výkonu - frekvenčního měniče. U většiny ventilátorů je pro dosažení deklarovaných parametrů použití frekvenčního měniče povinné. Ventilátor lze poté provozovat standardně v 5-ti výkonových stupních, případně i plynule.

P	Tlumicí vložka čtyřhranná	Prvek je určen k zamezení přenosu chvění a vibrací klimatizační jednotky na potrubí. Slouží také k částečné kompenzaci pnutí a zátěže od teplotních dilatací v potrubní trase. Umísťuje se tedy před a za klimatizační jednotku (před resp. za koncový panel prvního resp. posledního komponentu ve větvi).
----------	---------------------------	--

*Sekce jsou vybaveny servisními dvířky s klikami pro snadný přístup k filtrační vložce.

*Informace v předchozí tabulce jsou výčtem informací z návrhového softwaru AeroCAD společnosti REMAK, a.s.

*Přívod vzduchu označují modré šipky při vstupu a výstupu vzduchu z jednotky.

10.6 Útlum hluku

Součástí vzduchotechnické jednotky jsou hlukové tlumiče, které jsou osazeny v jednotce. Z důvodu možnosti odvádění přiváděného vzduchu z učeben je u každé učebny osazeno čtyřhranné potrubí s tlumičem hluku, které je vyústěno na chodbách před třídou v podhledu, který tvoří plastová kazetové mřížky. Tlumiče slouží hlavně jako hluková ochrana proti pronikání hluku z chodeb do tříd.

Vyhláška č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, udává limit maximální hladiny akustického tlaku $L_{Amax} = 45$ dB pro prostory učeben v době užívání.

10.7 Technická zpráva

10.7.1 Úvod

Hlavní účel budovy

Hlavní cílem VZT systému je zajistit stálé větrání ve třídách a zázemí školní budovy. Jedná se o budovu se dvěma až třemi nadzemními podlažími. Mnou řešený úsek má 3 nadzemní podlaží. V prvním a třetím podlaží jsou umístěny třídy, schodiště a hygienické prostory. Ve druhém podlaží je pak umístěn vstup, šatny pro studenty a chodba spojující celou budovu. Projekt je zpracován v rozsahu stavebního povolení.

Výchozí podklady

Výchozími podklady pro zpracování a návrh dokumentace byly stavební výkresy, předpisy, normy a požadavky investora. Součástí projektu nejsou projekty jednotlivých profesí.

Použité předpisy/ a obecné technické normy

Nařízení vlády č.148/2006 Sb.

Nařízení vlády č. 343/2009 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých

Nařízení vlády č.361/2007 Sb., které stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, ČSN EN 13 3454 – Výkresy vzduchotechnického zařízení,

ČSN EN 13 779 – Větrání budov – Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení,

ČSN EN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty,

Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Stavba se nachází v Boskovicích. Klimatické podmínky jsou podobné s nedalekým městem Blansko (tabulkově zařazeno).

Místo:	Boskovice (Blansko)
Nadmořská výška:	273 m n. m.
Normální tlak vzduchu:	98 kPa
Výpočtové teploty vzduchu :	léto 27°C
	zima - 15°C
Entalpie vzduchu (léto):	+ 51,2 kJ.kg-1

Mikroklimatické podmínky, zadávací parametry a dimenzování

Ve třídách je dána výměna vzduchu dle počtu osob. Dle vyhlášky č. 343/2009 Sb. je výměna učebny stanovena 20-30 m³.h⁻¹ na osobu. Uvažuji 30 osob ve třídě a výměnu vzduchu 25 m³.h⁻¹.os⁻¹. Pro jednu třídu je tedy stanovena výměna 750 m³.h⁻¹.

Průtoky a výměny vzduchu:

Umyvadlo:	30	m ³ /h
Pisoár:	25	m ³ /h
WC:	50	m ³ /h
Chodby a haly:	n = 2	

Uvažované hodnoty vnitřního mikroklimatu

	zima	léto
Učebny		
Teplota interiéru, ti [°C]	22	26
Relativní vlhkost, φi [%]	30	50
Chodby, ti [°C]	18	-
Hygienické zařízení, ti [°C]	20	-

Hlukové limity

Pro daný účel budovy by neměl hluk přesahovat 45dB(A) v době užívání.

Umístění

Potrubí bude umístěno pod stropem. Ve třídách a hygienických zařízení bude kryto podhledem. Vzduchotechnická jednotka bude umístěna na ploché střeše budovy.

10.7.2 Koncepce VZT zařízení

Vzduchotechnický systém bude sloužit jako centrální ventilační rovnotlaký systém, který bude zajišťovat výměnu vzduchu ve třídách a zázemí v řešené části budovy školy. Distribuční síť bude vedena v místnostech, které jsou systémem ovlivněny a u kterých je přiváděn nebo obváděn vzduch. Jednotka je umístěna na rámové ocelové konstrukci na ploché střeše budovy přímo nad řešenou částí.

Byla navržena jednotka firmy Remak, a.s.: Aero Master XP 06, model boxu AMXP3

Jednotky AeroMaster XP jsou určeny pro komfortní vzduchotechniku a klimatizaci v rozsahu průtoků cca 3.000 až 28.000 m³/h při zvýšení tlakové difference ventilátoru do cca 1500 Pa. Jednotky AeroMaster XP jsou určeny pro montáž na podlahu, dodávají se s pevným základovým rámem montovaným již ve výrobě a jsou vyráběny se shodnou konstrukcí do vnitřního nebo do venkovního prostředí. Rozsah pracovních teplot standardního provedení je - 40°C až + 40°C. Standardně dodávané příslušenství jednotek AeroMaster XP je vždy integrováno do sekcí. [11]

Jednotka je sestavena v přírodní části z filtru, deskového rekuperátoru, vodního ohříváče, ventilátoru, tlumiče hluku a filtru. V části jednotky, která odvádí vzduch z interiéru je pak umístěn filtr, hlukový tlumič, deskový rekuperátor a ventilátor. Na vstupu do jednotky jsou umístěny uzavírací klapky a pro připojení na potrubí je jednotka osazena tlumícími vložkami.

Součástí jednotky jsou také měřicí a regulační součásti.

Manipulace jednotky bude provedena mechanicky jeřábem. Do stropu bude vyřezán otvor pro vedení potrubí VZT a vodotěsně izolován po osazení potrubí. Od výrobce je vzduchotechnická jednotka sestavena na ocelovém rámu.

Tento rám pak bude pomocí pryžových podložek usazen na nový ocelový rám zabudovaný do nosné konstrukce stavby. Z jednotky bude vzduch rozváděn čtyřhranným potrubím po celém objektu. Nad střechou bude potrubí izolováno tepelnou izolací proti vzniku kondenzace v potrubí. Pro odvod vzduchu budou v hygienických místnostech sloužit talířové ventily. Ve třídách budou na potrubí osazeny dvouřadé obdélníkové vyústky s regulací R1. Z důvodu dodržení podmínek rovnotlakého systému budou třídy s chodbami propojeny odvětrávacím potrubím, v němž budou osazeny tlumiče hluku, které budou bránit průniku hluku z chodeb do tříd.

Ve vnějším prostředí bude výfukové potrubí opatřeno ukončovací tvarovkou s pletivem proti hmyzu.

Řízení systému a ovládání bude zajišťovat profese MaR. Přívod a zapojení ventilátorů bude zajišťovat profese EL. Připojení ohříváče na otopnou vodu zajišťuje profese UT a ZTI zajistí napojení na odvod kondenzátu z jednotky.

10.7.3 Popis společných prvků a opatření

Potrubí VZT

Vzduch do místností bude dopravován nebo odváděn čtyřhranným pozinkovaným potrubím vedeným pod stropem, kde bude potrubí připevněno závěsy. Některé části potrubí (odbočky, rozbočky) jsou opatřeny regulací. V hygienických místnostech jsou koncové elementy (talířové ventily) připojeny na potrubí ohebnými flexi hadicemi.

Protihluková opatření

Součástí systému jsou prvky, které brání šíření hluku do vnějšího i vnitřního prostředí. Rozvody potrubí budou od jednotky odděleny pryžovými vložkami.

Samotná jednotka bude uložena na ocelovém rámu a podložena pružnými podložkami. Rychlost proudění vzduchu v potrubí je navrženo, tak aby nevznikal nadměrný hluk. V jednotce jsou vloženy kulisové tlumiče, které brání přenosu hluku z ventilátoru do místností.

Protipožární opatření

VZT systém je navržen dle normy ČSN 73 0872. Rozdělení objektu na jednotlivé požární úseky je řešeno v samostatném projektu požární ochrany, jež byl součástí stavební dokumentace. Návrh protipožárních klapek a izolací bude do projektu doplněn dle projektu požární ochrany.

Izolace, nátěry

Tepelné izolace jsou navrženy proti vznikaní kondenzace na stěnách. Místa prostupu přes obvodové konstrukce je nutné utěsnit a tepelně izolovat (vč. tvarovek).

Všechny vnitřní rozvody a protidešťové žaluzie jsou provedeny z pozinkovaného plechu. Nátěry nejsou uvažovány.

10.7.4 Navazující profese

Požadavky na EL

Profese EL zajišťuje připojení ventilátorů na síť elektrické energie. Všechna el. zařízení musí být opatřena ochranou před nebezpečným dotykovým napětím a ochranou před účinky statické elektřiny. Napojení EL je souběžně řešeno s profesí MaR.

Požadavky na tepelnou energii

Propojení potrubí s topnou vodou a její cirkulaci řeší profese ÚT. Regulace bude řízena trojcestným ventilem. Dimenzování potrubí, rychlostí, tlakových ztrát je součástí profese ÚT.

Požadavky na ZTI

Odvod kondenzátu od jednotky je řešen vyústěním potrubí na střechu, kde kondenzát steče podešťové kanalizace.

Požadavky na měření a regulaci

Předpokladem správného chodu a ovládání je správné propojení a funkčnost regulace. Jedná se především po požadavky na spuštění a vypnutí jednotek a to z důvodu, že jednotka pracuje převážně v době výuky. Dále pak udržování správného chodu jednotky (řízení teploty, průtoku či např. signalizace chyby či automatické vypnutí). Dále by mělo zařízení MaR monitorovat celý systém.

10.7.5 Montáž, provoz, údržba a obsluha

Po ukončení montáže celého zařízení bude provedena funkční zkouška, při které se budou měřit výkonové parametry, a provede se správné nastavení regulačních elementů pro požadovanou distribuci vzduchu.

Projekt byl zpracován podle platných předpisů a ČSN za předpokladu montáže odbornými pracovníky.

10.7.6 Závěr

VZT zařízení je dnes již nedílnou součástí mnoha staveb. Jednotka i její součásti splňují veškeré návrhové parametry. Při zpracování projektové dokumentace byly dodrženy všechny platné normy a směrnice.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

11 Všeobecně

Cílem této části je reálné měření škodlivin v daných podmínkách vnějšího prostředí. Hlavním cílem je zhodnocení průběhu koncentrace oxidu uhličitého (CO₂) a hluku v blízkosti možných zdrojů v různém prostředí městských ulic. Výsledkem je pak zhodnocení součinnosti těchto „škodlivin“, jejich působení a zdroje. V druhé části je pak důsledek nárůstu koncentrace oxidu uhličitého řešen v prostředí, v němž hraje tvorba a kvalita interního mikroklimatu a vnitřního vzduchu hlavní roli. Součástí měření je i zhodnocení výsledků s legislativou a platnými normami ČSN a EN v ČR.

12 Hodnocení vnějšího prostoru

Při měření kvality vnějšího vzduchu byla hodnocena koncentrace oxidu uhličitého v různých typech prostředí dle předpokládaných hodnot koncentrací. V těchto místech byla současně měřena i ekvivalentní hladina akustického tlaku L_A, teplota, relativní vlhkost a absolutní tlak. Hlavním zdrojem v exteriéru při hodnocení hluku a CO₂ jsou lidé, kteří dýcháním vyprodukují cca 19 l.hod⁻¹.os⁻¹ a při komunikaci vzniká hluk o intenzitě cca 30 až 50 dB. U motorových vozidel se hladina akustického tlaku pohybuje v mezích 50 až 70 dB což je ovšem ovlivněno výkonem a typ vozidla. U osobních a nákladních automobilů je hladina akustického tlaku hodnocena v mezích 60 až 90 dB. Předpokládám, že se změnou prostředí a intenzity dopravy bude výsledky měření kolísat a odpovídat danému zatížení.

12.1 Využité přístroje při měření

Testo 435-4

Multifunkční měřicí přístroj Testo 435-4 pro posuzování kvality okolního vzduchu. Součástí je i sonda IAQ měří obsah CO₂, teplotu a vlhkost vzduchu, tedy kvalitu vzduchu v místnosti či exteriéru. Velký rozsah využití má přístroj Testo hlavně díky možnosti výměny sondy. Součástí přístroje je i připojovací kabel USB pro přenos dat a Software pro diagnostiku a grafické vyhodnocení výsledků. Součástí je interní paměť až pro 10000 naměřených hodnot.

Tabulka 8: Měřicí rozsah přístroje Testo 435 -4

Hodnocená veličina	Rozsah měření	Přesnost měření
Teplota	0 až +50 °C	± 0.3 °C
Relativní vlhkost	0 až +100 %	± 2 % rH (2 až 98 %rv)
Koncentrace CO ₂	0 až +10 000 ppm CO ₂	± 50 ppm CO ₂ ± 2% (0 až 5000 ppm) ±100 ppm CO ₂ ± 3% (5001 až 10 000 ppm)
Absolutní tlak	+600 až +1150 hPa	±5 hPa

Technická data:

Skladovací teplota	-30 až +70 °C
Provozní teplota	-20 až +50 °C
Typ baterie	alkalické, mikrotužkové, typ AA
Životnost baterie	200 h (typické měření pomocí vrtulky)
Hmotnost	450 g
Rozměry	225 x 74 x 46 mm
Materiál pláště	ABS/TPE/kov [14]



Obrázek 26: Přístroj Testo 435-4 se sondou IAQ

Mediator 2238, Brüel & Kjaer

Přístroj na měření a analýzu zvuku. Je přenosný snadno ovladatelný přístroj provádějící kmitočtovou analýzu ve slyšitelném kmitočtovém rozsahu v reálném čase. Poskytuje účinnou analýzu nestacionárních zdrojů hluku a jiných časově proměnlivých jevů, jako například dozvuku. Kalibrace přístroje se provádí pomocí přesného kalibračního vzorku.

Technické parametry:

- Pro měření v oblasti životního prostředí,
- Pro měření v pracovním prostředí,
- Frekvenční analýzy zvuku,
- Hodnocení pro použití chráničů sluchu,
- Snižování hluku,
- Hodnocení hluku výrobků,
- Obecné měření zvuku ve třídě 1,
- Splňuje normy IEC 60651 typ 1, IEC 60804, IEC/EN 61672 třída 1,
- Dynamický rozsah 80 dB,
- Dva RMS detektory, jeden špičkový detektor ,
- Sériové rozhraní pro spojení s PC (RS232),
- Možnost změny funkcí pomocí interních programů,
- Vnitřní hodiny,
- Poloautomatická kalibrace se záznamem 20 kalibrací,
- Základní SLM software BZ 7126.



Obrázek 27: Hlukoměr
Mediator 2238
Zdroj:
http://www.enviorentals.com/PDF/3120_print.pdf

Měřicí rozsah:

Frekvenční rozsah:	8 Hz - 16 kHz
Měřicí rozsahy:	25 až 140 dB, C: 27 - 140 dB Lineární: 33 - 140 dB
Ukazatel rozsahu:	80 dB, nastavitelná, aby v plném rozsahu měření od 100 do 140 dB v 10 krocích
Paměť:	2 Mbytes, až do 500 měření
Napájení:	4 x 1,5 V "AA" baterie
Životnost baterie:	6-8 hod.
Rozměry:	25,7 cm x 9,7 cm x 4,1 cm
Hmotnost:	460 g

12.2 Prostředí hodnocení

Pro měření bylo vybráno prostředí ve kterém by mohly být výrazné rozdíly mezi naměřenými hodnotami koncentrace CO₂ a ekvivalentním akustickým tlakem L_A. Při přihlédnutí ke hlavním zdrojům CO₂ a hluku byly vybrány místa rozdílným zatížením a prostory, ve kterých jsem se při měření pohyboval:

- ulice Koněvova, Praha – Žižkov, ulice spojující pražský Vítkov a Jarov, silnice pro automobilovou a tramvajovou dopravu,
- ulice Veveří, Brno, rušné prostředí centra, Silnice pro automobilovou a tramvajovou dopravu,
- ulice Komenského, Boskovice, křižovatka ul. Komenského a Mánesova je jedinou křižovatkou se světelnou signalizací, současně nejvytíženějším místem města,
- ulice Na Pískách, Boskovice, málo využívaná přístupová komunikace pro řadové RD,
- Obec Kořenec, cca 15 km severně od Boskovic, periférie oblasti Malé Hané. Konstantní zatížení dopravou během týdne, přes víkend zvýšená doprava z důvodu golfového hřiště (měřeno přes víkend).

12.3 Postup měření

Na předem domluvených místech bylo provedeno měření pomocí hlukoměru a přístroje na měření kvalitu vzduchu. Vždy byly hodnoty měřeny cca 1,5 m od komunikace (tj. od zdroje) ve výšce 1m nad zemí.

Naměřené hodnoty byly získány průběžně měřením na daných místech během dne a to po cca 5 hod. V době okolo 7:00, 12:00, 17:00 a 22:00 hodiny. Vždy bylo provedeno měření po dobu 15 min a s datovým záznamem po 5 sekundách. Během této doby bylo získáno 181 hodnot od každé měřené veličiny. Celé měření bylo z důvodu malého rozptylu hodnot provedeno během jednoho týdne.



Obrázek 28: Měření

Po příchodu na místo bylo nutné, aby se oba přístroje spustily delší dobu před započítáním měření a to z důvodu aktualizace stavu a kalibrování na odpovídající hodnoty. U obou přístrojů bylo měření zapnuto současně, aby posléze při grafickém srovnání naměřené hodnoty odpovídaly relativní časové ose. V průběhu měření bylo nutné dávat pozor, abych neovlivnil měření např. hlasitým rozhovorem či vydechnutým vzduchem s vyšší koncentrací CO_2 v blízkosti sondy IAQ. Při ukončení záznamu se zařízení Testo automaticky vypne dle zadaného programu a zvukoměr bylo nutné ukončit manuálně. Při měření v nočních hodinách bylo využito místního pouličního osvětlení nebo byl displej fotoaparátu přisvícen svítilnou.

Součástí přístroje Testo je software, který dokáže naměřené hodnoty analyzovat a graficky zpracovat. Nicméně tento výstup nejde nijak kombinovat s výstupem ze zvukoměru.

Základní software zvukoměru BZ 7126 je sice součástí přístroje, nicméně propojení jsem si musel vytvořit sám pomocí konektoru LPT a datového kabelu. Při analýze dat jsem dále zjistil, že software umožní instalaci pouze v operačním systému Windows 98. Další překážkou bylo připojení na PC, který má potřebný konektor LPT. Na dnešních počítačích, obzvláště u notebooků se tento konektor neinstaluje.

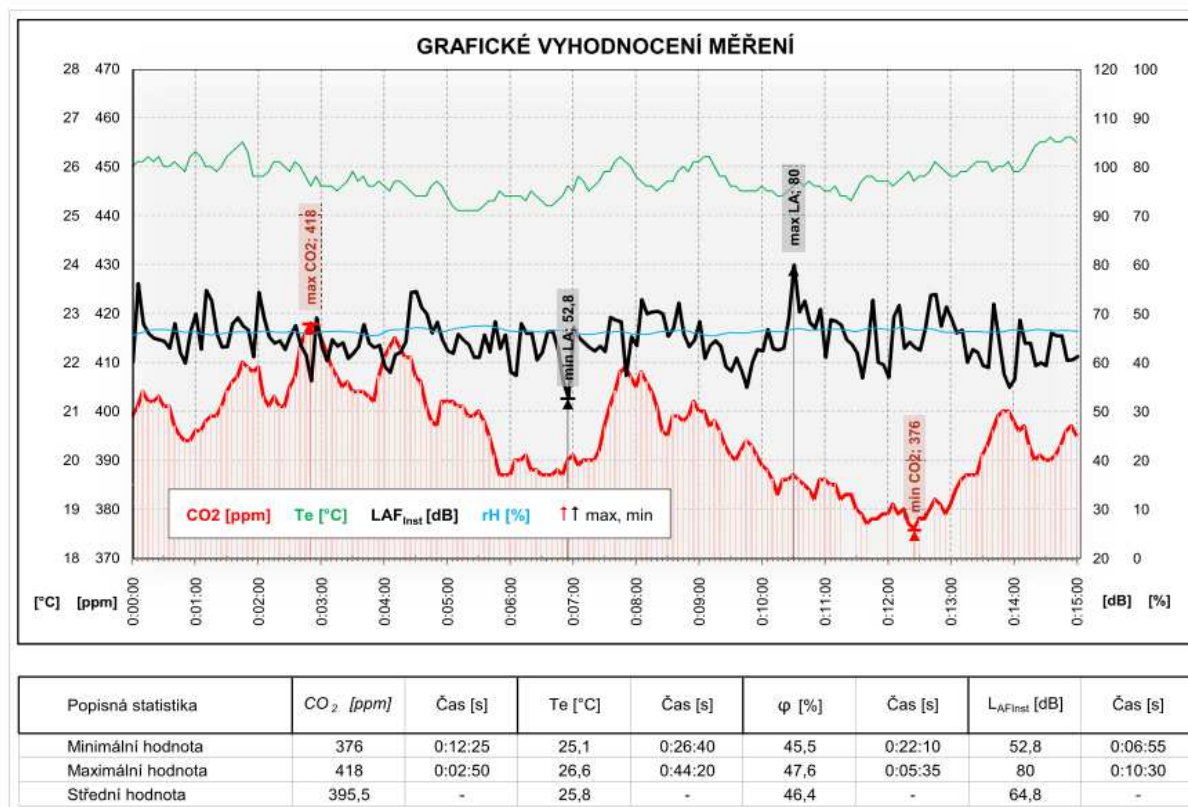
Při překonání všech „drobných“ překážek a aktivaci softwaru jsem zjistil, že program komunikuje s přístrojem ale výstup je pouze výčtem finálních průměrných či extrémních dat za celou dobu měření. Pro řešení analýzy ovšem potřebuji hlavně průběhy a okamžité měřené hodnoty.

Proto jsem při měření odečítal hodnoty pomocí videozáznamu pořízeného přes fotoaparát, který snímal data z displeje zvukoměru a následně je přepsal do tabulky a grafu, jež jsou součástí této práce v části Přílohy.

Po zapsání dat do vytvořeného programu Excel byl pro každé měření zpracován grafický výstup a v části hodnocení je přehledné tabulce zobrazena střední hodnota z každého měření.

Pro příklad je znázorněna tabulka a graf vytvořený z naměřených dat v Boskovicích u Slávie. Grafické zobrazení obsahuje spojnicový graf s pěti osami, každou osu s jiným měřítkem. Na vodorovné ose x je znázorněna časová přímka v minutách.

Na svislé pak přímky koncentrace CO_2 (červená křivka) a teploty (zelená) vlevo a relativní vlhkosti (modrá) a ekvivalentní hladina akustického tlaku (černá křivka) na pravé straně grafu. Pod grafem je zobrazena zjednodušená tabulka nejdůležitějších statistických hodnot (minimum, maximum a střední hodnota každé veličiny).



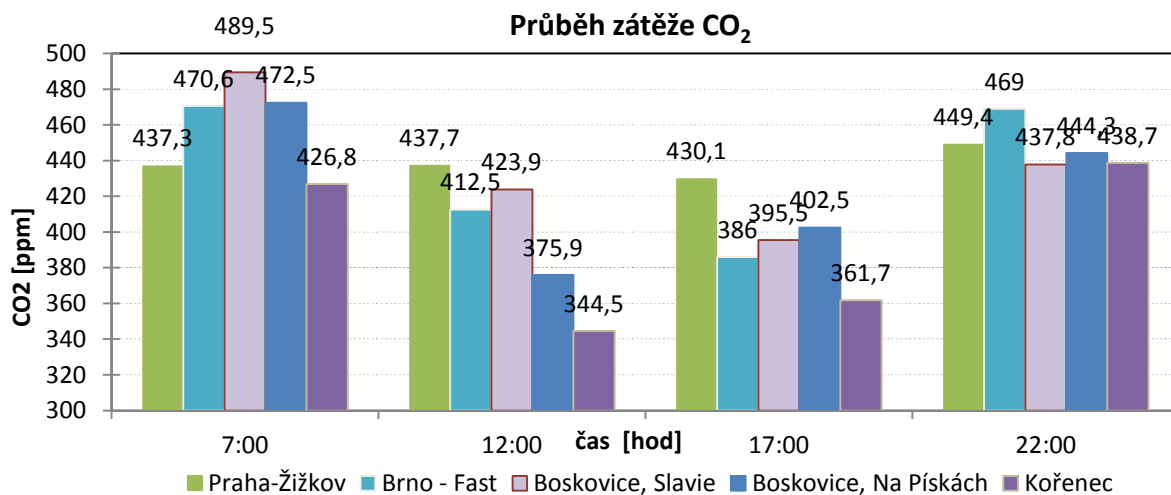
Graf 7: Vyhodnocení dat měření, Boskovice – Slávie, doba měření 17:00 hod

12.4 Výsledky měření:

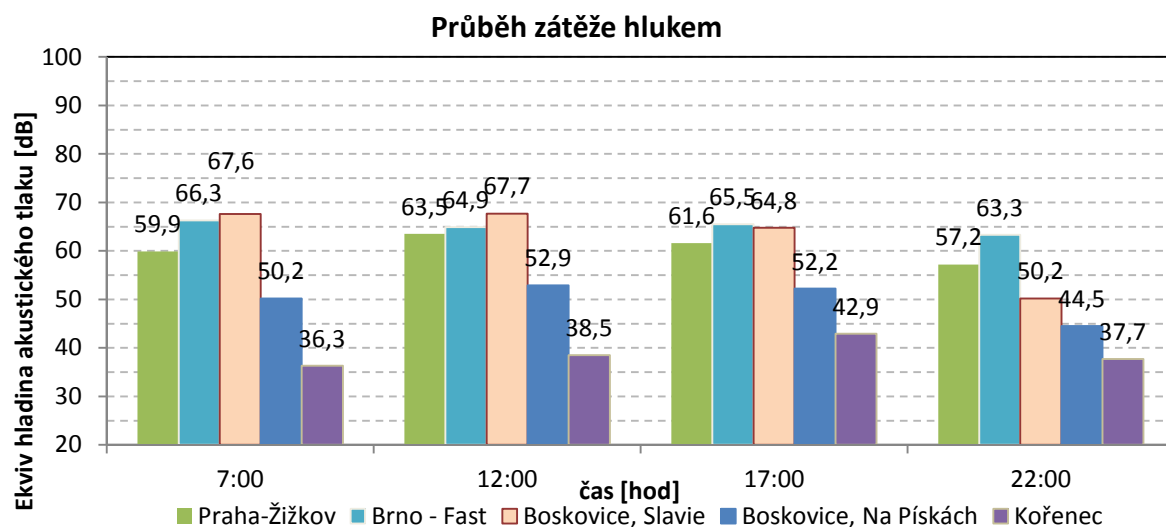
V následující tabulce jsou uvedeny střední hodnoty ekvivalentního akustického tlaku (hluku) a střední hodnoty koncentrace CO_2 pro všechna místní a časové měření. Místa měření jsou řazena od nejfrekventovanějších po méně zatížené. Z důvodu lepší orientace jsou hodnoty tabulky znázorněny v následujících grafech.

Tabulka 9: Výsledné zhodnocení změřených hodnot

Vyhodnocení:	Čas [hod]	7:00	12:00	17:00	22:00	$\bar{x}$
Praha-Žižkov	CO ₂ [ppm]	437,3	437,7	430,1	449,4	438,6
	L _A Finst [dB]	59,9	63,5	61,6	57,2	60,6
Brno - Fast	CO ₂ [ppm]	470,6	412,5	386	469	434,5
	L _A Finst [dB]	66,3	64,9	65,5	63,3	65,0
Boskovice - Slavie	CO ₂ [ppm]	489,5	423,9	395,5	437,8	436,7
	L _A Finst [dB]	67,6	67,7	64,8	50,2	62,6
Boskovice, Na Pískách	CO ₂ [ppm]	472,5	375,9	402,5	444,3	423,8
	L _A Finst [dB]	50,2	52,9	52,2	44,5	50,0
Kořenec	CO ₂ [ppm]	426,8	344,5	361,7	438,7	392,9
	L _A Finst [dB]	36,3	38,5	42,9	37,7	38,9



Graf 8: Výsledky měření koncentrace oxidu uhličitého

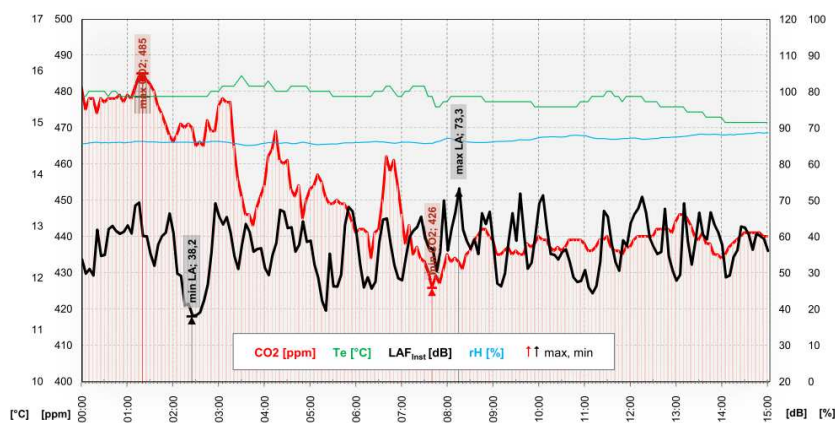


Graf 9: Výsledky měření hladiny ekvivalentního akustického tlaku

12.5 Hodnocení

12.5.1 Měření koncentrace CO₂

Hlavním zdrojem oxidu uhličitého v ovzduší jsou bezesporu zplodiny z automobilové dopravy. Proto koncentrace a hluk byl měřen v bezprostřední blízkosti silnic. Při některém měření bylo i přes počáteční ustálení měřících přístrojů změřeno neustálené zatížení. V některých případech hladina CO₂ kolísala a to až o 50 ppm a to na obě strany (klesala i rostla). Před samotným měřením jsem provedl několik měření „nanečisto“ a to z důvodu reakce a zjištění doby ustálení přístrojů. Ve všech případech se pak hladina ustálila do 7 minut. Výrobce udává dobu okolo 5 minut. Při prvním měření a znázornění průběhu a poklesu jsem dobu ustálení prodloužil až na 15 min. I přes tyto úpravy opakovaně docházelo k velkému rozptylu. Při rozdílu hodnot se pak maximum a minimum zjišťované koncentrace pohybovalo běžně okolo 25 až 30 ppm. Extrémy rozdílu pak dosahovaly do 50 ppm. Ve vnitřním prostředí je koncentrace 50 ppm zanedbatelná a to hlavně z důvodu, že tuto hodnotu



Graf 10: Příklad poklesu koncentrace oxidu uhličitého při jednom z měření

„vyrobí“ pár lidí několik minut. Ve vnějším prostředí je pak nutno se nad tímto rozdílem zamyslet. Při delší úvaze a sledování měření z různých míst a doby jsem zjistil, že toto kolísání je naprosto běžné a ve velké míře závisí

na směru větru a pohybu

škodliviny od zdroje. Při

správném směru větru, od zdroje k měřící technice jsem pak zaregistroval i nadprůměrné zvýšení hodnot koncentrace po projetí větších nákladních aut. Důkaz však není na mnohých grafech tak patrný, protože absolutní čas měření provedl hlukoměr okamžitě, ale škodliviny byly nějakou dobu ve vzduchu, než se dostaly do okolí čidla a přístroj je byl schopen vyhodnotit.

V různých publikacích se udává různá hodnota koncentrace CO₂ v oblasti ČR. Hodnoty se obvykle pohybují v mezích od 360 do 400 ppm, nejčastěji pak 380 ppm. Tyto hodnoty jsou brány jako průměrné pro celou republiku a při srovnání s provedeným měřením pak není možné než souhlasit. Je nutno ale dodat, že hodnoty výrazně kolísají, právě dle vlivu povětrnostních podmínek a že s různou změnou krajiny a vytížeností automobilové dopravy se mění v řádu až 100 ppm. Na grafu č.10 jsou patrné hodnoty koncentrací a kolísání během dne. Hodnoty prvního sloupce v každou měřenou dobu byly získány v Praze. Je zde patrné, že díky frekventovanému místu jsou hodnoty po celý den prakticky konstantní a nemění se. Průměrně pak tyto hodnoty byly jasně nejvyšší. U dalších hodnot pak lze sledovat jistou logiku v poklesu či růstu během dne. Během ranního a nočního (večerního) měření jsou hodnoty vždy vyšší než hodnoty během poledne a odpoledne. Dále je na grafu i jasně patrná hladina koncentrací v závislosti na automobilové dopravě.

Ukázalo se ale, že hodnoty měřené v Brně a Boskovicích (u Slávie) mají zajímavé výsledky. Sloupce grafu jsou řazeny dle mé předpokládané zatíženosti. V Brně byly hodnoty měřeny na ulici před budovou A FAST – VUT. V Boskovicích pak byla využita nejfrekventovanější „hlavní“ světelná křižovatka. Je patrné, že hodnoty naměřené v Brně jsou až na dobu noci nižší než v Boskovicích. Je to možná pouze shoda náhod a doby měření. Pro důkladné a přesné výsledky by se měření mělo opakovat několikrát a sledovat všechny data. V posledním sloupci je pak zaznamenán stav měřený na vesnici a to v místě, kde vytíženost dopravy je minimální. Zde je patrné, že ve všech měřených časech je koncentrace nejnižší. Nicméně na to, že se pohybujeme skoro v přírodě, kde automobil projede jednou za dlouhou dobu, předpokládal bych, že výsledky budou nižší.

Při měření jsem mnohé záznamy nejednou opakoval, a i přes krátký časový interval byly průměrné hodnoty výrazně rozdílné (i 80 ppm v intervalu 35 min). Závěrem tedy mohu s jistotou říci, že vliv dopravy na stav CO₂ ve vnějším prostředí je velký a hodnoty se pohybují v mezích 350 až 580 ppm.

12.5.2 Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku

Současně s koncentrací oxidu uhličitého jsem sledoval po celou dobu měření i hodnoty ekvivalentního akustického tlaku. Záznamové přístroje byly vždy umístěny 1 metr od hranice komunikace a to z důvodu, že se hladina hluku se zvyšující vzdáleností od zdroje snižuje. Tudíž by i rozdílná vzdálenost při různých měření vykazovala nepřesnosti a rozdílné hodnoty. Na grafu č. 9 jsou znázorněny naměřené průměrné hodnoty. Dle tohoto grafu jsou hodnoty v Praze, Brně a Boskovicích (u Slávie) podobné a hodnota akustického tlaku se pohybuje v mezích okolo $L_A = 65$ dB. Vše je dáno zatížením od automobilové dopravy. V Praze a Brně jsou pak výsledky ovlivněny pravidelně projíždějícími tramvaji, které dokáží průměrné hodnoty ovlivnit krátkodobými výkyvy o hodnotách až 85 dB. Při průjezdu běžného osobního automobilu měřeny hodnoty okolo 60 dB. U automobilů nákladních pak cca 75 až 78 dB.

Ulice Na Pískách je soustředěna mimo hlavní komunikační tepnu což je i z výsledků patrné, hodnoty jsou průměrně nižší a to hlavně díky snížení četnosti provozu. Poslední sloup grafu stanovuje změřené hodnoty na vesnici. Tyto hodnoty jsou pak nejnižší měřené. Při úplném tichu v přírodě jsem naměřil hodnoty okolo 30 až 35 dB. Občasný průjezd auta pak tyto průměrné hodnoty lehce navyšuje.

Jednou z mnou položených otázek bylo, zda hluk přímo souvisí s hladinou koncentrace oxidu uhličitého. Při prvním zamyšlení jsem si byl jist, že souvislost je, protože při průjezdu auta se zvyšuje hladina koncentrace CO₂ a současně s tím i hladina hluku. Při podrobnějším zamyšlení jsem ale zjistil, že souvislost není přímá. Při pohybu a zjišťování hodnot ekvivalentního akustického tlaku od zdroje je hluk se vzdáleností snižován, až do vzdálenosti kde není slyšet a nikoho neovlivňuje. U koncentrace oxidu uhličitého je to podobné, ale koncentrace se nemění tak zásadně a rychle jako u hluku. Navíc do obou složek může zásadním způsobem vstupovat vliv větru. Z tohoto důvodu koncentrace CO₂ a hluku přímo nesouvisí.

13 Kvalita a tvorba vnitřního prostoru (interního mikroklimatu)

V předchozí části byla změřena a zhodnocena kvalita vnějšího prostředí a to s důsledkem na zjištění škodliviny, která se vyskytuje jak ve vnějším prostoru, tak i v interiéru. Jedná se o složku ve vzduchu, plyn oxid uhličitý. Je dokázáno, že se zvýšenou dopravou se zvyšuje i koncentrace oxidu uhličitého. Tento vnější vzduch s rozdílnou koncentrací a kvalitou je pak nasáván netěsnostmi konstrukce či nasávacími výústkami od nuceného větrání a distribuován v interiéru. V interiéru je pak hlavním zdrojem škodlivin vydechnutý vzduch od osob. Objekty, které slouží pro shromažďování osob, jsou pak více zatíženy a nutnost výměny vzduchu je pak násobně vyšší.

Pro zhodnocení a dokázání řešení jsem simuloval průběh koncentrace a kvalitu vzduchu v místnosti, která slouží pro shromažďování většího počtu osob. Pro tento případ jsem si vybral a provedl měření v budově školy v místnosti, která slouží jako učebna. Po změření a grafickém vyhodnocení průběhu koncentrace škodliviny ve vnitřním prostředí jsem sestavil algoritmus, který simuluje průběh výpočtové koncentrace a koncentraci měřenou. Posléze pak byl na tomto algoritmu simulován průběh koncentrace při různých exteriérových (startovacích) koncentracích a možnosti řízení nucené výměny větracího vzduchu. Praktickým řešením jsou pak návrhy možností nuceného větrání v místnosti učebny a ekonomické zhodnocení těchto návrhů.

13.1 Použité přístroje

Pro měření byly použity stejné přístroje, kterými jsem měřil vnější prostředí. Pro měření koncentrace CO₂, relativní vlhkosti a teploty byl použitý přístroj Testo 435-4 a pro změření akustického výkonu hluku přístroj Mediator 2238, Brüel & Kjaer.

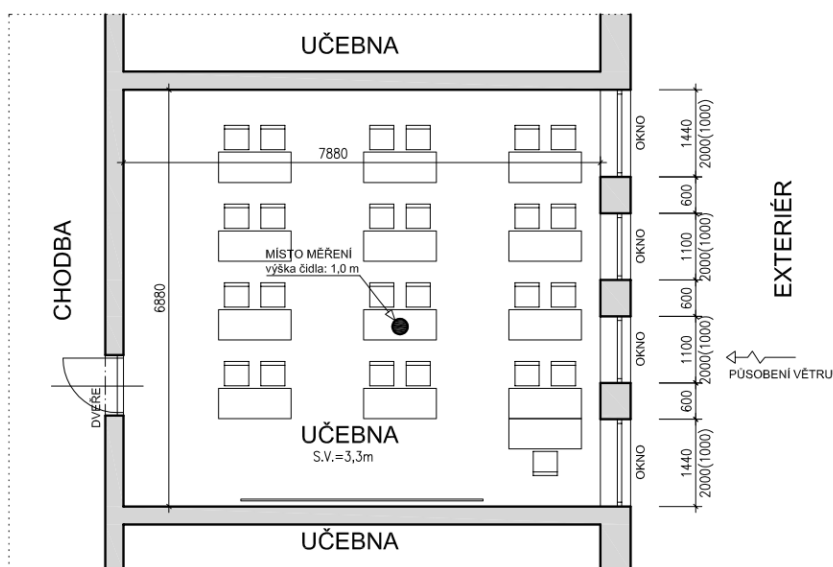
13.2 Místo měření

Pro účely zhodnocení průběhu koncentrace oxidu uhličitého jsem zvolil místnost školní učebny na střední škole v Letovicích, kde jsem absolvoval středoškolské vzdělání a prostory znám. Místnost byla vybrána z důvodu malých rozměrů a velké obsazenosti a to jak časové, tak prostorové. Učebna se nachází ve 2.NP s jižní orientací. Pro přiblížení je místnost zobrazena na obr. 30.



Obrázek 29: Třída, v níž byla měřena experimentální část

Místnost je připravena pro užívání max. 24 studenty a 1 vyučujícího. Místnost o rozměrech 7,88 x 6,88 x 3,3 m je umístěna ve středu budovy. Místnost má jednu vnější stěnu osazenou okenními otvory o ploše 10,16 m². Orientace vnější stěny je na jih. Na podlaze je PVC krytina a na stěně křídlová tabule. Dle požárních předpisů jsou požární dveře opatřeny samouzavíracím mechanismem. Pro sestavení algoritmu k předběžnému modelování koncentrace CO₂ jsou třeba vstupní hodnoty, které jsem změřil u budov ráno před měřením a odpoledne po měření. Před budovou vede hlavní Rychlostní silnice spojující Brno a Svitavy. Je tudíž pravděpodobné, že hladina koncentrace oxidu uhličitého a hluku bude vyšší. Při měření bylo čidlo a hlukoměr umístěno v centru zdroje škodlivin, tedy na volné lavici uprostřed místnosti ale tak, aby čidlo nebylo přímo ovlivňováno z bezprostřední blízkosti vydechnutým vzduchem. Čidlo je umístěno 1,0 m nad podlahou.



Obrázek 30: Půdorys třídy určené pro měření

13.3 Postup měření

Měření bylo provedeno dne 13.9.2012 (čtvrtek) ve výše popsané místnosti. Vyučování začíná každý den v 07:50 hod a v den měření byla výuka ukončena v 13:35 hod. Učebna byla zvolena z důvodu celodenní obsazenosti. V průběhu celého dne se počty studentů ve věku 16 až 18 let střídali dle rozvrhu. Před samotným započítáním měření byly změřeny sledované hodnoty před budovou a zaznamenány. Měření proběhlo přibližně v 7:30 hod. Poté bylo měření přesunuto do objektu. V učebně byly připraveny měřicí přístroje a před samotným příchodem studentů a započítáním výuky otevřeny všechny okna. To z důvodu vyrovnaní koncentrace škodlivin ve vnitřním prostoru a exteriéru. Při započítání výuky byly spuštěny přístroje a započato měření. Současně jsem se ve třídě pohyboval a zaznamenával počty studentů, časový harmonogram a typ větrání, jež jsou potřeba pro sestavení přesného algoritmu. Při ukončení výuky bylo měření zaznamenáváno po dobu, než se koncentrace ustálí na hodnotě exteriéru. Po ukončení výuky byly otevřeny všechny okna, aby hladina koncentrace rychleji klesla. Po ustálení hladiny koncentrace bylo měření ukončeno. Všechny naměřené hodnoty jsou přeneseny do tabulkového a grafického výstupu.

13.4 Legislativa

Měření bylo provedeno ve školní učebně. V současné době požadavky na kvalitu vnitřního prostředí vycházejí z vyhlášky č. 343/2009 Sb., vyhlášky č. 6/2003 Sb., vyhlášky 268/2009 Sb., vyhláška č. 361/2007 Sb. a vyhláška č. 272/2011 Sb. jejichž specifický výčet je popsán níže.

Základní parametry vnitřního klimatu školních zařízení stanovuje vyhláška č. 343/2009 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých. Tato vyhláška stanovuje požadovanou výměnu vzduchu na žáka a hygienické zařízení, mezní rozmezí výsledné teploty vzduchu a relativní vlhkosti.

Tabulka 10: Intenzita větrání čerstvým vzduchem v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních a provozovnách pro výchovu a vzdělávání (vyhláška č. 410/2005 Sb. - nahrazena vyhláškou č. 343/2009 Sb.)

Zařízení	Množství vzduchu V [m ³ .h ⁻¹]
Učebny	20 – 30 m ³ .h ⁻¹ na 1 žáka
Tělocvičny	20 m ³ .h ⁻¹ na 1 žáka
Šatny	20 m ³ .h ⁻¹ na 1 žáka
Umývárny	30 m ³ .h ⁻¹ na 1 umyvadlo
Sprchy	150–200 m ³ .h ⁻¹ na 1 sprchu
Záchody	50 m ³ .h ⁻¹ na kabinu, 25 m ³ .h ⁻¹ na pisoár

Tabulka 11: Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlost proudění a relativní vlhkosti vzduchu

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění [m.s-1]	Relativní vlhkost rh [%]
	t _{g,min} [°C]	t _{g,opt} [°C]	t _{g,max} [°C]		
Učebny, pracovny	20	22 ± 2	28	0,1 – 0,2	30 - 65
Tělocvičny	18	20 ± 2	28	0,1 – 0,2	30 - 65
Šatny	20	22 ± 2	28	0,1 – 0,2	30 - 65
Sprchy	24	-	-	-	-
Záchody	18	-	-	0,1 – 0,2	30 - 65
Chodby	18	-	-	0,1 – 0,2	30 - 65

Rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než 3 °C.

Ve vyhlášce vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, je uvedeno minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu pro osobu dle práce a třídy do které je činnost přiřazena (hodnoty 50, 70 a 90 m³/h)

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb uvádí parametry vnitřního mikroklimatu zasedacích místností staveb pro shromažďování většího počtu osob. Ve vyhlášce se stanoví množství vyměňovaného vzduchu ve větraném prostoru s ohledem na množství osob a vykonávanou činnost tak, aby byly dodrženy mikroklimatické podmínky a hygienické limity chemických látek a prachu. Dále upravuje parametry mikroklimatických podmínek.

Tabulka 12: Parametry vnitřního mikroklimatu pobytových místností dle vyhlášky 6/2003 Sb.

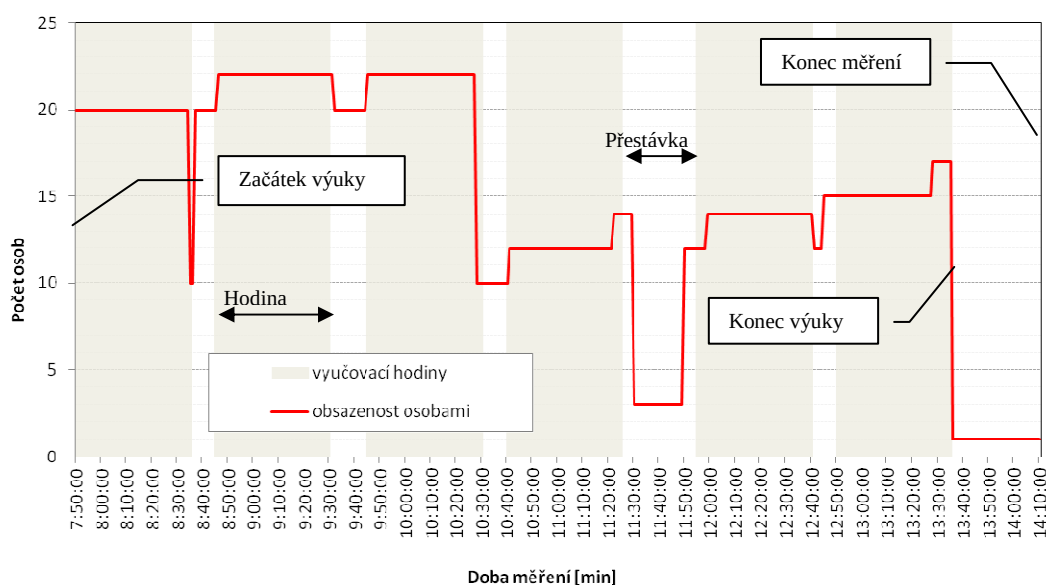
Teplé období roku	
Výsledná teplota tg [°C]	24,5 ± 1,5
Rychlost proudění vzduchu v [m/s]	0,16 - 0,25
Relativní vlhkost vzduchu [%]	nejvýše 65
Chladné období roku	
Výsledná teplota tg [°C]	22,0 ± 2,0
Rychlost proudění vzduchu v [m/s]	0,13 - 0,20
Relativní vlhkost vzduchu [%]	nejméně 30

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, stanovuje povinnost dodržení maximální přípustné koncentrace oxidu uhličitého do 1000 ppm.

Vyhláška č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, udává limit maximální hladiny akustického tlaku $L_{Amax} = 45$ dB a to u chráněného prostoru jako jsou učebny a místnosti pro vzdělávání v době užívání.

13.5 Vyhodnocení

Po ukončení měření v učebně byl výstup zpracován v tabulkovém editoru do tabulkové a grafické podoby. Na úvodním grafu je znázorněna denní obsazenost učebny, střídání osob během přestávek či započetí a ukončení výuky a doby měření.



Graf 11: Obsazenost studenty během měření v učebně

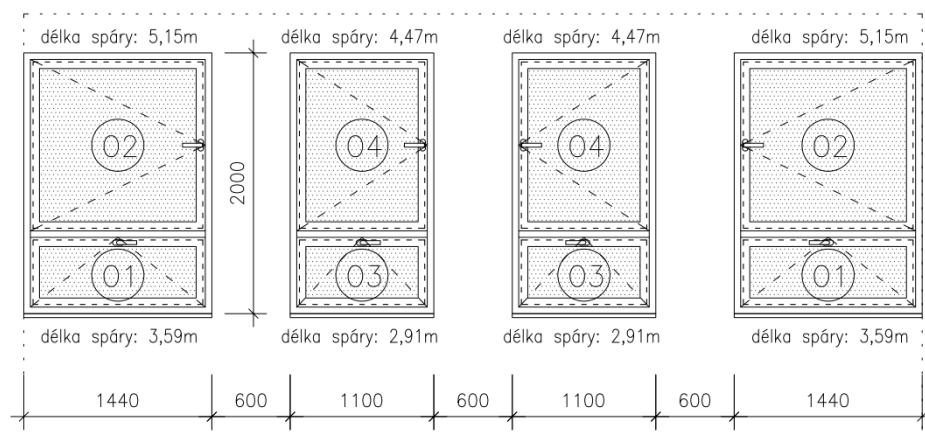
Na dalším grafu je pak znázorněn průběh koncentrace CO_2 získané změřením v místnosti po uvedení doby a průběh koncentrace modelovaný dle sestaveného algoritmu.

Na grafickém vyjádření je patrné, že při přirozeném větrání infiltrací koncentrace prudce stoupá. Ve chvíli otevření okna dochází ke zvýšení průtoku vzduchu a koncentrace klesá.

Koncentrace roste a klesá dle úměrnosti průtoku vzduchu.

13.5.1 Výpočet průtoku vzduchu při měření koncentrace

Pro sestavení algoritmu pro přibližné modelování koncentrace CO_2 v místnosti je důležité vědět co nejpřesněji hodnoty průtoku vzduchu. Při měření byl vzduch v místnosti řízen přirozenou výměnou infiltrací a výměnou při otevření oken. Otevření oken bylo manuálně řízeno a zaznamenáno. Velikost, umístění a způsob otvírání byl zaměřen a je zaznačen na obr. 32.



Působení větru

rozdíl tlaku: $\Delta p_{v1} = 0,5 \cdot A_v \cdot v_v^2 \cdot \rho_e = 0,5 \cdot 0,632 \cdot 1,1785 = 3,182 \text{ Pa}$

$\Delta p_{v2} = 0,5 \cdot A_v \cdot v_v^2 \cdot \rho_e = 0,5 \cdot 0,632 \cdot 1,3344 = 3,603 \text{ Pa}$

objemový průtok:

$V_{t,1} = i \cdot l \cdot \Delta p_{tm} = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 32,24 \cdot 3,182 = 0,0098 \text{ m}^3/\text{s} = 35,3 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_{t,2} = i \cdot l \cdot \Delta p_{tm} = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 32,24 \cdot 3,603 = 0,010 \text{ m}^3/\text{s} = 38,35 \text{ m}^3/\text{h}$

Zhodnocení infiltrace

V době měření, tj. při $t_i = 24,3 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází k infiltraci a průtoku vzduch $V_t = 15,4 \text{ m}^3/\text{h}$ od rozdílu teplot a od působení větru $V_v = 35,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Celkově pak působí při ideálních podmínkách na místnost průtok vzduchu $V = 50,7 \text{ m}^3/\text{h}$.

Výměna vzduch:
$$n = \frac{V}{O} = \frac{50,7}{178,64} = 0,28 \text{ h}^{-1}$$

při níž není dosažena hygienická výměna, a nezajišťuje ani potřebnou dávku čerstvého vzduchu na přítomné osoby.

Přirozené větrání je účinnější při větších rozdílech teplot, proto jsem zhodnotil i toto řešení pro období zimních měsíců, kdy $t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ (výpočtová zimní teplota pro danou oblast). Průtok vzduchu je pak stanoven jako průtok $V_t = 41 \text{ m}^3/\text{h} + V_v = 38,35 \text{ m}^3/\text{h}$. Celkový průtok v zimních měsících se pak pohybuje cca $V = 80 \text{ m}^3/\text{h}$, $n = 0,44 \text{ h}^{-1}$. Výpočet je v některých hodnotách dosti idealizovaný. Vítr je sice započítán do hodnot, ale jsou období, ve kterých nepůsobí a není možno ho tedy uvažovat. Průtoky vzduchu a výměny pak mohou být poníženy až na polovinu zjištěných hodnot. Dá se říci, že výměnu vzduchu nelze zajišťovat u místností s předpokladem shromažďování více osob pouze infiltrací.

B/ Přímé větrání – okenním křídlem

Okno O_1

(okno kyvné, úhel otevření

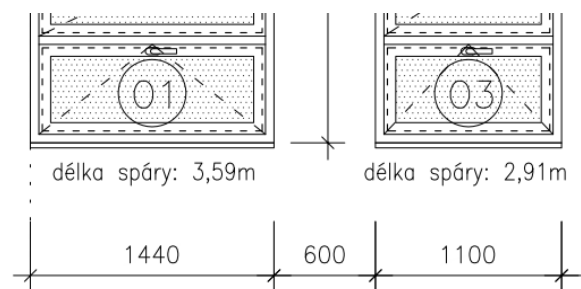
$\alpha = 15^\circ \rightarrow \mu = 0,15$)

$\rho_e = 1,1785 \text{ kg/m}^3$

$\rho_i = 1,315 \text{ kg/m}^3$

$a = 1,25 \text{ m}$

$b = 0,50 \text{ m}$



Obrázek 32: Rozměry a tvar oken O_1 a O_3

$$V = \mu \cdot a \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2g \cdot \rho_e \cdot \rho_i \cdot h^3 (\rho_e \cdot \rho_i)}{(\sqrt[3]{\rho_i} + \sqrt[3]{\rho_e})^3}}$$

$V_{O1} = 0,085 \text{ m}^3/\text{s} = 305 \text{ m}^3/\text{h}$

Okno O₃

(okno kyvné, úhel otevření $\alpha = 15^\circ \rightarrow \mu = 0,15$)

a = 0,90 m

b = 0,50 m

$$V_{O1} = 0,0612 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{220 \text{ m}^3/\text{h}}$$

C/ Přímé větrání – okenním křídlem (otevíravé)

Okno O₂

(okno otevíravé, úhel otevření

$\alpha = 15^\circ \rightarrow \mu = 0,25$)

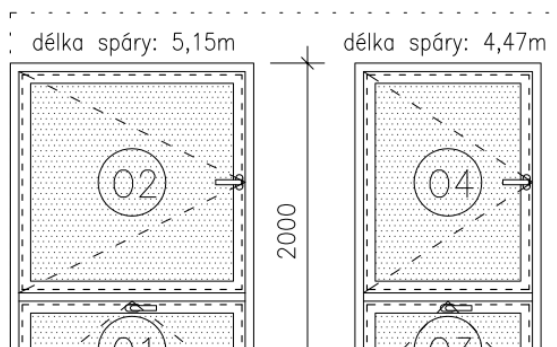
$\rho_e = 1,1785 \text{ kg/m}^3$

$\rho_i = 1,1315 \text{ kg/m}^3$

a = 1,25 m

b = 1,25 m

$$V = \frac{2 \cdot \mu \cdot a}{3 \cdot \rho_s} \sqrt{\frac{2 \cdot b^3 \cdot \rho_e \cdot \rho_i \cdot (\rho_e \cdot \rho_i) \cdot g}{(\rho_i^{0,33} + \rho_e^{0,33})^3}}$$



Obrázek 33: Rozměry a tvar oken O2 a O4

$$V_{O2} = 0,490 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{1765 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Okno O₄

(okno otevíravé, úhel otevření $\alpha = 15^\circ \rightarrow \mu = 0,25$)

a = 0,90 m

b = 1,25 m

$$V_{O4} = 0,884 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{1270 \text{ m}^3/\text{h}}$$

13.6 Sestavení algoritmu pro modelování koncentrace CO₂

Pro příklad je ukázán výpočet koncentrace v průběhu jednoho časového kroku. Změřené i zjištěné hodnoty jsou měřeny v časovém kroku 1 min. Názorný výpočet je proveden pro dobu 7.45 hod (5 min před začátkem měření). Součástí přílohy je tabulka průběhu koncentrace po celou dobu měření.

Vstupní hodnoty:

Hustota pevné látky CO ₂ :	$\rho_{\text{CO}_2} = 1562 \text{ kg/m}^3$
Vnější (počáteční) koncentrace CO ₂ :	$k_e = 540 \text{ ppm}$
Objem místnosti:	$O = 178,64 \text{ m}^3$
Průtok vzduchu infiltrací (zjištěno výpočtem)	$V_{\text{inf}} = 15,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
Faktor přepočtu ppm → mg/m ³	$f = 0,556$

Vnější koncentrace:

Naměřeno: $k_e = 540 \text{ ppm} \rightarrow 540 / 0,556$ (faktor přepočtu) = $971,22 \text{ mg/m}^3 = 0,974 \text{ g/m}^3$

Počáteční koncentrace v místnosti: v místnosti byl vyměn pře započítáním měření vzduch aby

$$k_{\text{poč}} = k_e$$

$$k_{\text{poč},n} = k_{\text{fin},n-1}$$

$$k_{\text{poč}} = O \cdot k_e = 178,64 \cdot 0,974 = \underline{173,495 \text{ g}}$$

Koncentrace ovlivněná přívodním vzduchem

$$k_{\text{přívod}} = k_e \cdot V/60 = 0,974 \cdot 15,5/60 = \underline{0,251 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}}$$

Vnitřní zdroj koncentrace – osoby (pro výpočet uvažovány 2 osoby)

Škodliviny od osob: $M = 20 \text{ l/hod.os} \rightarrow 20/(1000 \cdot 3600) = 5,5606 \text{ m}^3/\text{s.os}$

$\rightarrow M \cdot \rho_{\text{CO}_2} = 5,5606 \cdot 1562 = 0,008678 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ na osobu = $\underline{8,678 \text{ mg} \cdot \text{s}^{-1}}$ na osobu

$$k_{\text{zdroj}} = n \cdot M \cdot 60/1000 = 2 \cdot 8,678 \cdot 60/1000 = \underline{1,041 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}}$$

Koncentrace ovlivněná odváděným vzduchem

$$k_{\text{odvod}} = (k_{\text{poč}}/O) \cdot (V/60) = (173,495/178,64) \cdot (15,5/60) = \underline{0,251 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}}$$

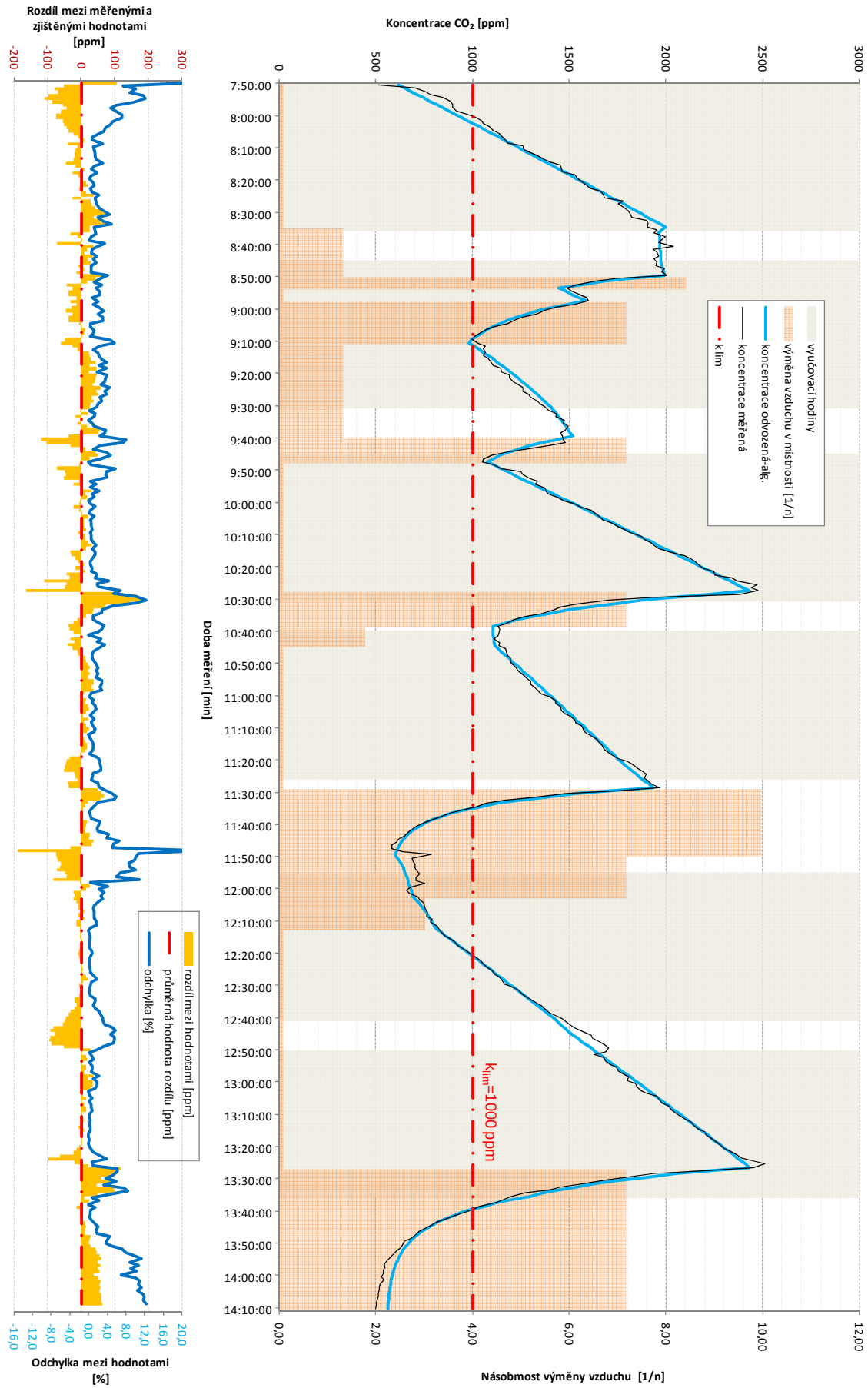
Výsledná koncentrace (sečtení a odečtení všech zdrojů)

$$k_{\text{fin}} = k_{\text{poč}} + k_{\text{přívod}} + k_{\text{zdroj}} - k_{\text{odvod}} = 173,495 + 0,251 + 1,041 - 0,251 = \underline{174,54 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}}$$

$$k_{\text{fin}} = 543 \text{ ppm}$$

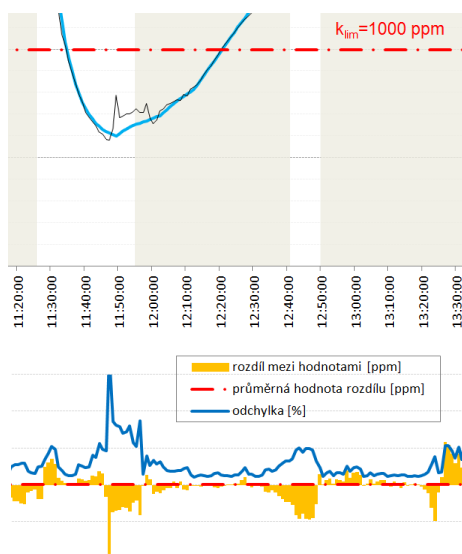
Tabulka 13: Pro příklad je vložen začátek tabulky, kde jsou stanoveny zjištěné hodnoty

čas		osoby	$k_{\text{poč}}$	$k_{\text{přívod}}$	k_{zdroj}	k_{odvod}	k_{fin}		průtok vzduchu		k_{mens}	poznámka
hod	s	[-]	[g]	[g/min]	[g/min]	[g/min]	[g/min]	[PPM]	[m ³ /hod]	[m ³ /s]	[PPM]	
7:50:00	60	20	188,05	0,251	10,413	0,272	198,4	618	15,5	0,0043	511	Začátek vyučování, větrání pouze infiltrací
7:51:00	60	20	198,44	0,251	10,413	0,287	208,8	650	15,5	0,0043	701	
7:52:00	60	20	208,82	0,251	10,413	0,302	219,2	682	15,5	0,0043	759	
7:53:00	60	20	219,18	0,251	10,413	0,317	229,5	714	15,5	0,0043	784	
7:54:00	60	20	229,53	0,251	10,413	0,332	239,9	747	15,5	0,0043	845	
7:55:00	60	20	239,86	0,251	10,413	0,347	250,2	779	15,5	0,0043	886	
7:56:00	60	20	250,18	0,251	10,413	0,362	260,5	811	15,5	0,0043	897	
7:57:00	60	20	260,48	0,251	10,413	0,377	270,8	843	15,5	0,0043	896	
7:58:00	60	20	270,77	0,251	10,413	0,392	281,0	875	15,5	0,0043	918	
7:59:00	60	20	281,04	0,251	10,413	0,406	291,3	907	15,5	0,0043	966	

Graf 12: Grafické porovnání průběhu koncentrace CO_2 dle naměřených a odvozených hodnot

13.7 Vyhodnocení výsledků algoritmu

V grafu č. 12 je znázorněn průběh hodnot koncentrace oxidu uhličitého. V hlavní části grafu jsou znázorněny hodnoty měřené a získané výpočtem na časovém úseku, sloupce v pozadí ukazují na dobu, kdy je výuka či přestávka. Dále pak tento graf protíná čerchovaná čára, jež značí maximální přípustnou koncentraci (dle vyhlášky č. 268/2009 Sb.), pro vzdělávací objekty, jež stanovuje $k_{\max} = 1000$ ppm. Pod hlavní částí grafu je pak část, která se zabývá statistikou. Na tomto grafu je znázorněn žlutým sloupcovým grafem rozdíl koncentrace mezi měřenými a odvozenými hodnotami v ppm. Červená čerchovaná křivka značí průměrnou hodnotu tohoto rozdílu. Mezi naměřenými hodnotami a hodnotami odvozenými z algoritmu je průměrný rozdíl $k_a = 1$ ppm = $0,0018 \text{ g.m}^{-3}$. Maximální hodnota je $k_{\max} = 190$ ppm a minimální hodnota pak $k_{\min} = -188$ ppm. Na obrázku



Obrázek 34: Největší zjištěná odchylka u hodnot měřených a stanovených výpočtem

tyto maximální výkyvy, které lze logicky objasnit pohybuje se rozdíl mezi křivkami na hodnotě okolo 20 až 30 ppm. Poslední modrá křivka pak na grafu znázorňuje procentuální odchylku mezi hodnotami měření a algoritmu. Tato odchylka se pohybuje průměrně okolo 2,8 %, maximálně pak 10,8 % (nejsou zařazeny výše vysvětlené odchylky, kde rozdíl při nízkých hladinách může tvořit až 20%).

Když ale pominu všechny extrémní výkyvy v době převážně zvýšené plicní ventilace, jež je možno vysvětlit, tak dostávám „přesný“ algoritmus, který dle mého názoru je možné užít pro simulaci dalších řešení.

Při pohledu na měřené hodnoty je vidět, že výsledky se pohybují převážně nad stanovený limit (1000 ppm) a to i při zvýšené výměně vzduchu vyvolané otevřením oken. Při počáteční koncentraci 540 ppm byla dosažena limitní hodnota (1000 ppm) za 11 minut při počtu 20 osob a objemu místnosti cca 180 m^3 . Při vyrovnání $k_e = k_i$ a uzavření oken pak hodnota vzrostla o 1870 ppm na hodnotu 2453 ppm. V tuto chvíli byl prostor učebny značně diskomfortní. Většina zúčastněných pocítovala značnou zátěž a bylo nutné znečištěný prostor vyvětrat. U studentů docházelo k únavě a zvýšení nepozornosti. Zajímavé je, že hodnota vzrostla během pouhé 1 hodiny a 40 minut.

14 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit možnosti tvorby kvalitního prostředí v učebně základní školy. Záměr hodnotit právě místnosti určené ke vzdělávání byl úmyslný a to z důvodu vyšší náročnosti na kvalitu a současně pravidelné denní zatíženosti od osob. Jedním z hlavní škodlivin v interiéru, dle které se dá celkem přesně hodnotit kvalita vzduchu je oxid uhličitý, jehož zdrojem je právě člověk. Při měření byly zjištěny hodnoty, které v průběhu měření prakticky neklesly pod stanovený limit koncentrace až do doby, kde se začalo pravidelně a intenzivně větrat. Při hodnocení těchto hodnot se jednalo o „běžnou“ třídu s optimálním počtem osob v místnosti. Tudíž spekulace že hodnoty koncentrací byly vysoké z důvodu vysokého počtu osob a malé prostoru jsou přinejmenším nepřiměřené.

Za příčiny této neodpovídající kvality můžeme vinit hlavně absenci systému nuceného větrání, který by zajišťoval pravidelný přísun odpovídajícího průtoku vzduchu pro každého v místnosti. Naprostá většina škole je dnes větrána přirozenou cestou – otevřením oken. Tento způsob však není optimální z důvodu vzniku teplotní nepohody.

Ve vyhláškách, které se týkají budov pro vzdělání, je sice stanoveno množství vzduchu na žáka (20 – 30 m³/h), ale o zaměstnancích není nikde zmínka. Dalším problémem je fakt, že nikde není řečeno jakým způsobem se má ve třídách řešit větrání. Současně s tím nastává i otázka kontroly dodržení tohoto minimálního předepsaného průtoku vzduchu. Při větrání okny se sice výměna dostatečná, ale z důvodu pronikání chladného vzduchu a vytváření diskomfortního prostředí převážně v zimních měsících volí studenti i vyučující možnost raději okna vůbec neotevírat. Osobně jsem se setkal i s případem, kdy dlouhodobější větrání bylo zakázáno od vedení školy s odůvodněním na energetické úspory. Další faktem je pak zákaz otevírání oken o přestávkách z důvodu bezpečnosti.

Při realizaci energetických opatření jako je například výměna oken za nová, těsná sice docílíme energetické úspory v řádu několika procent, ale paradoxně tím snížíme průtok vzduchu přes okna na zanedbatelnou položku a ze třídy se pak stává prostor, který je těsný a plný zdrojů a škodlivin v podobě oxidu uhličitého, prachu a odérů. Všechny tyto škodliviny jsou pro člověka toxické a je jen otázkou, jak lidský organismus zareaguje.

Řešením celého problému je užití nuceného větracího systému v každé třídě. Zatím ale neexistuje dotační program, který by podporoval aplikaci těchto systémů, a málokterá škola by si takový zásah do rozpočtu mohla dovolit.

Předpokládám, že každé vedení školy je si tímto problémem seznámeno, ale dokud se nezmění vyhlášky, kvalita prostředí, kterou nám mnohé školy nabízejí zůstane podprůměrná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

LITERÁRNÍ ZDROJE

- [1] CIHELKA, J., a kol. *Vytápění a větrání*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1969, 612 s.
- [2] HIRŠ, J., GEBAUER, G., *Vzduchotechnika v příkladech 1*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 230 s. ISBN 80-7204-486-9
- [3] NOVÝ, R., *Technika prostředí*. 2. přeprac. vyd. České vysoké učení technické v Praze, 2006, 267 s. ISBN 80-01-03492-5

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [4] BABÁK, L. *Interní mikroklima studoven a jeho hodnocení podle ukazatelů PMV a PPD*. [online]. [cit. 28. 12. 2012]. Dostupné na internetu: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Babak_Libor.pdf
- [5] Čističky vzduchu SUPER - PLUS. *Znečištění ovzduší vnitřního prostředí domácností a jeho důsledky*. [online]. [cit. 30. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://cisticka.sweb.cz/cistota-ovzdusi.htm#Kapitola3>
- [6] Ekologické centrum Most. *Znečišťující látky v ovzduší*. [online]. [cit. 10. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.ohk-most.cz/Files/OHK/Most/VUHU-Nezkracenaverze.pdf>
- [7] Hluk § Emise. *Poléťavý prach – neviditelná hrozba*. [online]. [cit. 03. 01. 2013]. Dostupné na internetu: <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/poletavy-prach---neviditelna-hrozba/>
- [8] KRAUS, V. *Ekologie technologických procesů*. [online]. [cit. 23. 11. 2012]. Dostupné na internetu: <http://tzs.kmm.zcu.cz/ETPcelk.pdf>
- [9] *Mikroklima obytných prostor a mikroklima nízkoenergetických budov*. [online]. [cit. 22. 11. 2012]. Dostupné na internetu: <http://knihy.cpress.cz/?p=actions&action=download/file&value=files&id=108816>
- [10] Ministerstvo životního prostředí. *Kvalita ovzduší*. [online]. [cit. 15. 12. 2012]. Dostupné na internetu: http://www.mzp.cz/cz/kvalita_ovzdusi

- [11] REMAK. *Klimatizační jednotky > AeroMaster XP*. [online]. [cit. 19. 11. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.remak.eu/cz/vyrobky/klimatizacni-jednotky/aeromaster-xp/>
- [12] Science Gate. *Vzduch*. [online]. [cit. 10. 12. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.sciencegate.cz/e-learning/26-vzduch/lekce>
- [13] Technika prostředí. *Výpočet tloušťky izolace a tepelných ztrát potrubí*. [online]. [cit. 13. 11. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.qpro.cz/Tloustka-izolace-potrubí>
- [14] Testo. *Testo 435 - 4*. [online]. [cit. 28. 12. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.testo.cz>
- [15] TZB-info. *Filtrace atmosférického vzduchu I*. [online]. [cit. 02. 12. 2012]. Dostupné na internetu: <http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [16] TZB-info. *Filtrace atmosférického vzduchu II*. [online]. [cit. 02. 12. 2012]. Dostupné na internetu: <http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [17] TZB-info. *Mikroklima pasivních domů*. [online]. [cit. 28. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/8144-mikroklima-pasivnich-domu>
- [18] TZB-info. *Oxid uhličitý – utajený nepřítel*. [online]. [cit. 8. 11. 2012]. Dostupné na internetu: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>
- [19] UNIUM. *Základy mikroklimatu budov*. [online]. [cit. 14. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/bt02-tzb-iii-m03-zaklady-mikroklimatu-budov-m36352-p1.html>
- [20] UNIUM. *Systémy větrání a teplovzdušného vytápění*. [online]. [cit. 14. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/bt02-tzb-iii-m07-systemy-vetrani-a-teplovzdusneho-vytapeni-m36356-p1.html>
- [21] Vzduchotechnik s.r.o. Chrástava. *Filtry pásové FPC*. [online]. [cit. 21. 12. 2012]. Dostupné na internetu: <http://www.vzduchotechnik.cz/domain/vzt/files/prumyslove-normy/fpc.pdf>
- [22] Wikipedie. *Oxid uhličitý*. [online]. [cit. 30. 12. 2012]. Dostupné na internetu: http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhlicity#Vliv_oxidu_uhli.C4.8Dit.C3.A9ho_na_glob.C3.A1n.C3.AD_oteplot.C3.A1n.C3.AD

[23] Wikipedie. *Vodní pára*. [online]. [cit. 6. 12. 2012]. Dostupné na internetu: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodní_pára

[24] Wikipedie. *Vzduch*. [online]. [cit. 09. 10. 2012]. Dostupné na internetu: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzduch>

LEGISLATIVNÍ DOKUMENTY A NORMY

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Zákon č. 502/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví

Vyhláška č. 6/2003 Sb., o hygienických limitech chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb

Vyhláška č. 343/2009 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých

Vyhláška č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

Nařízení vlády č.361/2007 Sb., které stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

Nařízení vlády č. 343/2009 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělání dětí a mladistvých

Nařízení vlády č.148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší

ČSN EN 13 3454 – Výkresy vzduchotechnického zařízení

ČSN EN 13 779 – Větrání budov – Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení

ČSN EN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty

ČSN EN 779 – Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů

ČSN EN 1822 - Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA)

ČSN EN ISO 7730 - Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu

ČSN EN 12 207 - Informační technologie - Procesy v životním cyklu softwaru

ČSN 73 0872 - Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Zatržídění vybraných filtrů dle oblasti použití a tříd filtrace	44
Tabulka 2: Dělení škodlivých složek působících v IM	54
Tabulka 3: Požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti i_{LV}	65
Tabulka 4: Dimenzování hlavní větve přívodního vzduchu.....	73
Tabulka 5: Dimenzování hlavní větve odváděného vzduchu.....	73
Tabulka 6: Popis součástí přívodní části užitých v navržené jednotce.....	75
Tabulka 7: Popis součástí odváděcí části užitých v navržené jednotce.....	77
Tabulka 8: Měřicí rozsah přístroje Testo 435 -4	85
Tabulka 9: Výsledné zhodnocení změřených hodnot.....	90
Tabulka 10: Intenzita větrání čerstvým vzduchem v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařizováních a provozovnách pro výchovu a vzdělávání.....	95
Tabulka 11: Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlost proudění a relativní vlhkosti vzduchu.....	96
Tabulka 12: Parametry vnitřního mikroklimatu pobytových místností dle vyhlášky 6/2003 Sb.	96
Tabulka 13: Pro příklad je vložen začátek tabulky, kde jsou stanoveny zjištěné hodnoty	101

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Složky a dělení vzduchu	15
Obrázek 2: Místa překročení imisních limitů PM10	19
Obrázek 3: Situace zatížení NOx v Evropě	21
Obrázek 4: Podíl vlivu skleníkových plynů na globálních.....	24
Obrázek 5: Podíl složek skleníkových plynů	24
Obrázek 6: Molekula oxidu uhličitého	25
Obrázek 7: Vývoj koncentrace CO ₂ od roku 1740.	26
Obrázek 8: Podíly domácností udávající vybrané problémy z okolí bydliště v roce 2011	29
Obrázek 10: Schéma průběhu infiltrace	36
Obrázek 11: Schéma větrání aerací	38
Obrázek 12: Princip šachtového větrání	38
Obrázek 13: Ukázka samotahových hlavíc pro možnosti šachtového větrání	39
Obrázek 14: Princip odlučování	42
Obrázek 15: Sorpční izoterma aktivního uhlí.....	50
Obrázek 16: Kapsový filtr	51
Obrázek 17: Pásový filtr	52
Obrázek 18: Sorpční patronový filtr	53
Obrázek 19: Podíly složek působících na Interní mikroklima	55
Obrázek 20: Podíl složek tepelně vlhkostního mikroklima.....	56
Obrázek 21: ZŠ Sušilova Boskovice – experiment aplikován na jedné z části budovy.....	62
Obrázek 22: Členění budovy, na které je aplikován experiment.....	70
Obrázek 23: Obdélníková vyústka	71
Obrázek 24: Stěnová mřížka	72
Obrázek 25: Schéma jednotky Aero Master XP 06 [software AeroCAD].....	75
Obrázek 26: Popis částí jednotky[software AeroCAD]	75
Obrázek 27: Přístroj Testo 435-4 se sondou IAQ.....	86
Obrázek 28: Hlukoměr Mediator 2238.....	86
Obrázek 29: Měření	88
Obrázek 30: Třída, v níž byla měřena experimentální část	94
Obrázek 31: Půdorys třídy určené pro měření.....	94
Obrázek 32: Uspořádání a dělení oken v měřené třídě.....	98
Obrázek 33: Rozměry a tvar oken O1 a O3.....	99
Obrázek 34: Rozměry a tvar oken O2 a O4.....	100
Obrázek 35: Největší zjištění odchylka u hodnot měřených a stanovených výpočtem.....	103

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Počty překročení 24 hod. limitní hodnoty $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ koncentrace PM10 v jednotlivých měsících roku 2010.....	19
Graf 2: Velikost částic obsažených ve vzduchu.	28
Graf 3: Předpokládané procento nespokojených jakou funkce předpokládaného stupně pohody.	60
Graf 4: Vliv součinitele spárové průvzdušnosti na průtok vzduchu infiltrací (od rozdílu teplot)	66
Graf 5: Průběh koncentrace oxidu uhličitého při větrání pouze přirozeným větráním	68
Graf 6: Koncentrace oxidu uhličitého při využití nuceného větrání	69
Graf 7: Vyhodnocení dat měření, Boskovice – Slávie, doba měření 17:00 hod	89
Graf 8: Výsledky měření koncentrace oxidu uhličitého	90
Graf 9: Výsledky měření hladiny ekvivalentního akustického tlaku	90
Graf 10: Příklad poklesu koncentrace oxidu uhličitého při jednom z měření	91
Graf 11: Obsazenost studenty během měření v učebně.....	97
Graf 12: Grafické porovnání průběhu koncentrace CO ₂ dle naměřených a odvozených hodnot	102

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Jednotka	Vysvětlení pojmu
A	[-]	tlakový součinitel větru
a	[m]	šířka okna
c	[J. kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
d _e	[m]	průměr šachty
g	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
h	[m]	výška okna
i _{L,V}	[m ³ .s ⁻¹ .m ⁻¹ .Pa ⁻ⁿ]	součinitel spárové průvzdušnosti
k	[g.m ⁻³]	koncentrace škodlivin ve vnějším prostředí
k _e	[ppm]	koncentrace škodlivin ve vnějším prostředí, počáteční
k _{fin}	[ppm]	koncentrace výsledná
k _{max}	[g.m ⁻³]	maximální hmotnostní koncentrace v interiéru
k _{odvod}	[ppm]	koncentrace ovlivněná odváděným vzduchem
k _{přívod}	[ppm]	koncentrace ovlivněná vnějším vzduchem
k _{zdroj}	[ppm]	koncentrace od vnitřního zdroje
l	[m]	délka spáry mezi oknem a rámem
m	[g.h ⁻¹]	množství vznikající škodliviny
M	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní tok vlhkosti
n	[h ⁻¹]	intenzita výměny vzduchu
n	[-]	exponent charakterizující proudění vzduchu spárou
O	[m ³]	objem místnosti
p	[-]	počet osob
Q	[W]	tepelná zátěž
S _e	[m ²]	plocha okna
t _e	[°C]	teplota exteriéru
t _i	[°C]	teplota interiéru
V	[m ³ .h ⁻¹]	průtok přiváděného vzduchu
V _p	[m ³ .h ⁻¹ .os ⁻¹]	množství přiváděného vzduchu na osobu
V _t	[m ³ .h ⁻¹]	průtok vzduchu působící rozdílem teplot
V _v	[m ³ .h ⁻¹]	průtok vzduchu působící rozdílem působení větru
w	[m.s ⁻¹]	rychlost větru
α	[°]	úhel otevření okenního křídla
Δp	[Pa]	rozdíl tlaku
Δt	[°C]	rozdíl teplot
μ _n	[-]	výtokový součinitel pro daný otvor
ξ	[-]	součinitel místních odporů
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota vzduchu

SEZNAM PŘÍLOH - VÝKRESŮ

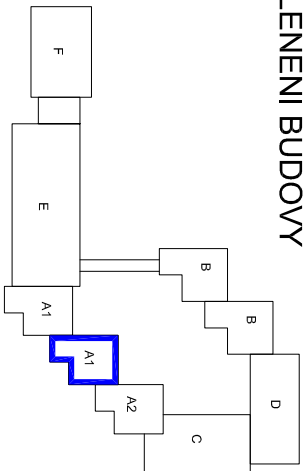
Výkres 01 – VNITŘNÍ ROZVODY VZT – PŮDORYS 1.S

Výkres 02 – VNITŘNÍ ROZVODY VZT – PŮDORYS 1.NP

Výkres 03 – VNITŘNÍ ROZVODY VZT – PŮDORYS 2.NP

Výkres 04 – PŘIPOJENÍ ROZVODŮ A UMÍSTĚNÍ VZT JEDNOTKY

CELKOVÉ ČLENĚNÍ BUDOVY



LEGENDA ROZVODŮ VZT

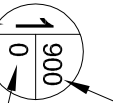
- Čtyřhranné potrubí – PŘÍVOD
- Čtyřhranné potrubí – ODTAH
- Potrubí pro napojení koncových ventilů z ohebných AL hadic
- Dvouřádkové obdélníkové výstřiky
- Koncové ventily tyom ø 80–100 mm

Čtyřhranné potrubí 400/500 mm z tlumičem hluku IMOS THP 20
Délka tlumiče 1,0 m, ve třídách je potrubí kryto stěnovými přížkami



Hygienické místnosti budou nad dveřmi osazeny stěnovými mřížkami 300/150 mm

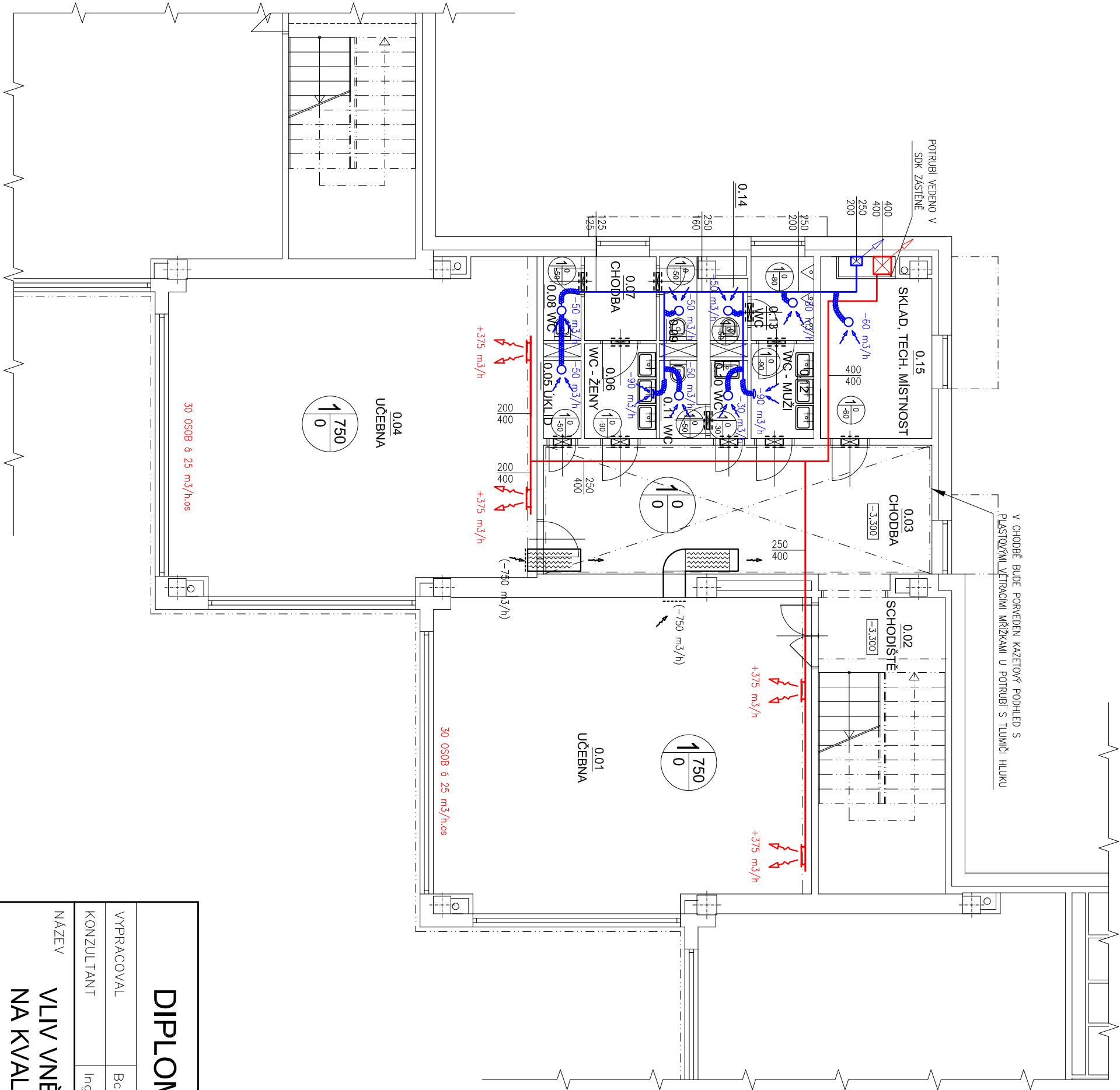
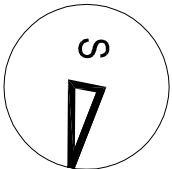
Průtok vzduchu přiváděný do místnosti (m³/h)

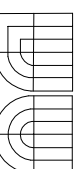


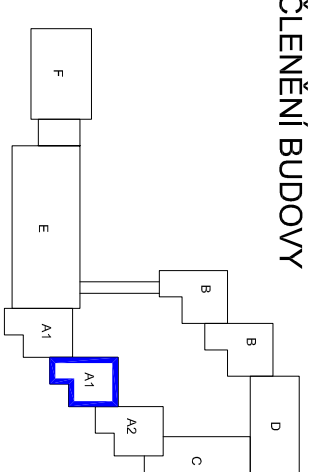
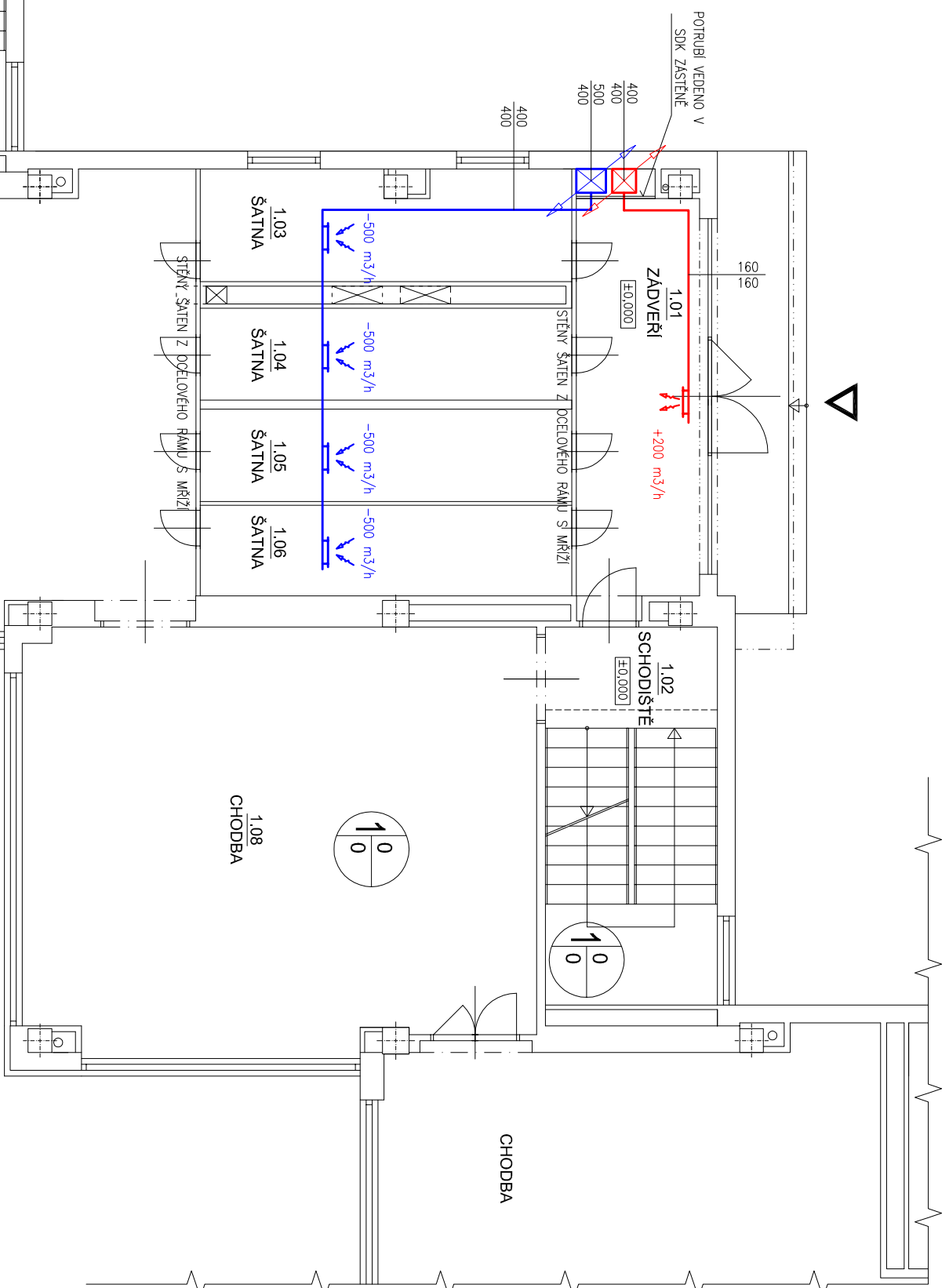
Průtok vzduchu odváděný z místnosti (m³/h)

Číslo jednotky

Te = -15°C



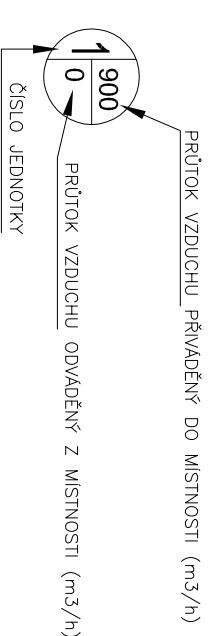
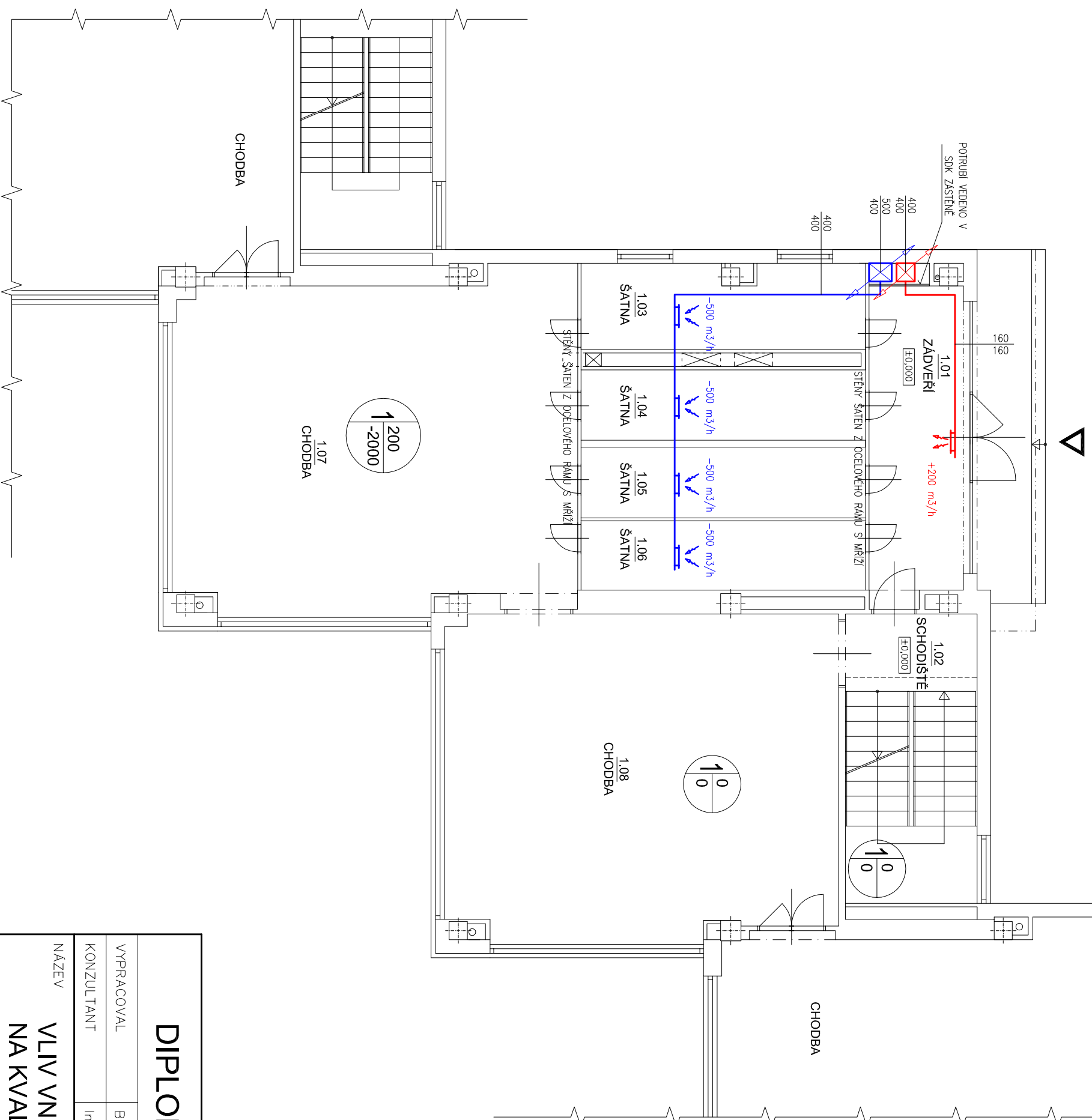
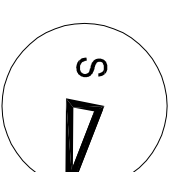
DIPLOMOVÁ PRÁCE			 VUT V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ	
VYPRACOVAL	Bc. JAN ZEMÁNEK			
KONZULTANT	Ing. RUBINOVÁ OLGA, Ph.D.			
NÁZEV	VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTORU			
OBSAH	VNITŘNÍ ROZVODY VZT - PŮDORYS 1.S		DATUM	01._2013
			FORMÁT	2A4
	MĚŘÍTKO 1 / 100		Č. V.	01



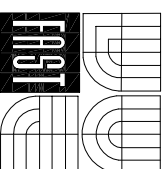
CELKOVÉ ČLENĚNÍ BUDOVY

LEGENDA ROZVODŮ VZT

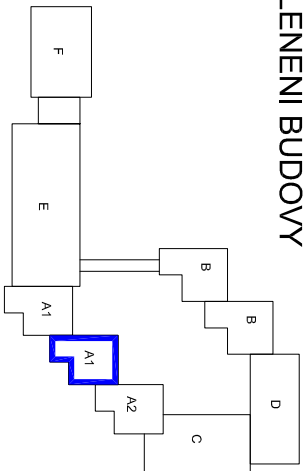
-


$$T_e = -15^{\circ}\text{C}$$


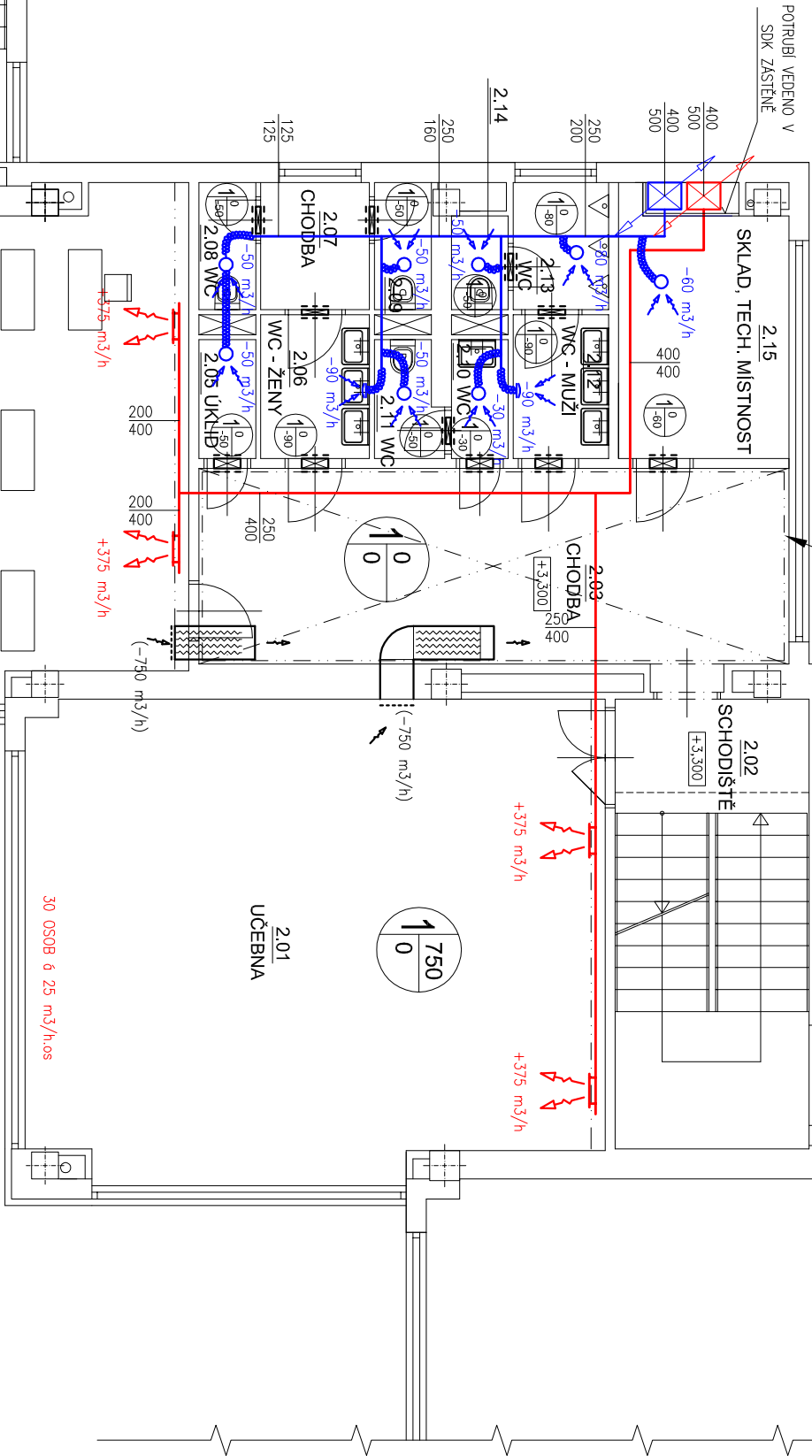
DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE		 VUT V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ
VYPRACOVAL	Bc. JAN ZEMÁNEK	
KONZULTANT	Ing. RUBINOVÁ OLGA, Ph.D.	
NÁZEV	VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTORU	
OBSAH	VNITŘNÍ ROZVODY VZT - PŮDORYS 1.NP	
	DATUM	01_2013
	FORMÁT	2A4
	MĚŘÍTKO	Č. V.
	1 / 100	02

CELKOVÉ ČLENĚNÍ BUDOVY



V CHODBĚ BUDE POKRYTEN KAZETOVÝ PODHLED S
PLASTOVÝMI VĚTRACÍMI MŘÍŽKAMI U POTRUBÍ S TLUMIČI HLUKU

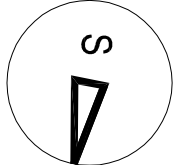


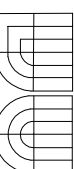
LEGENDA ROZVODŮ VZT

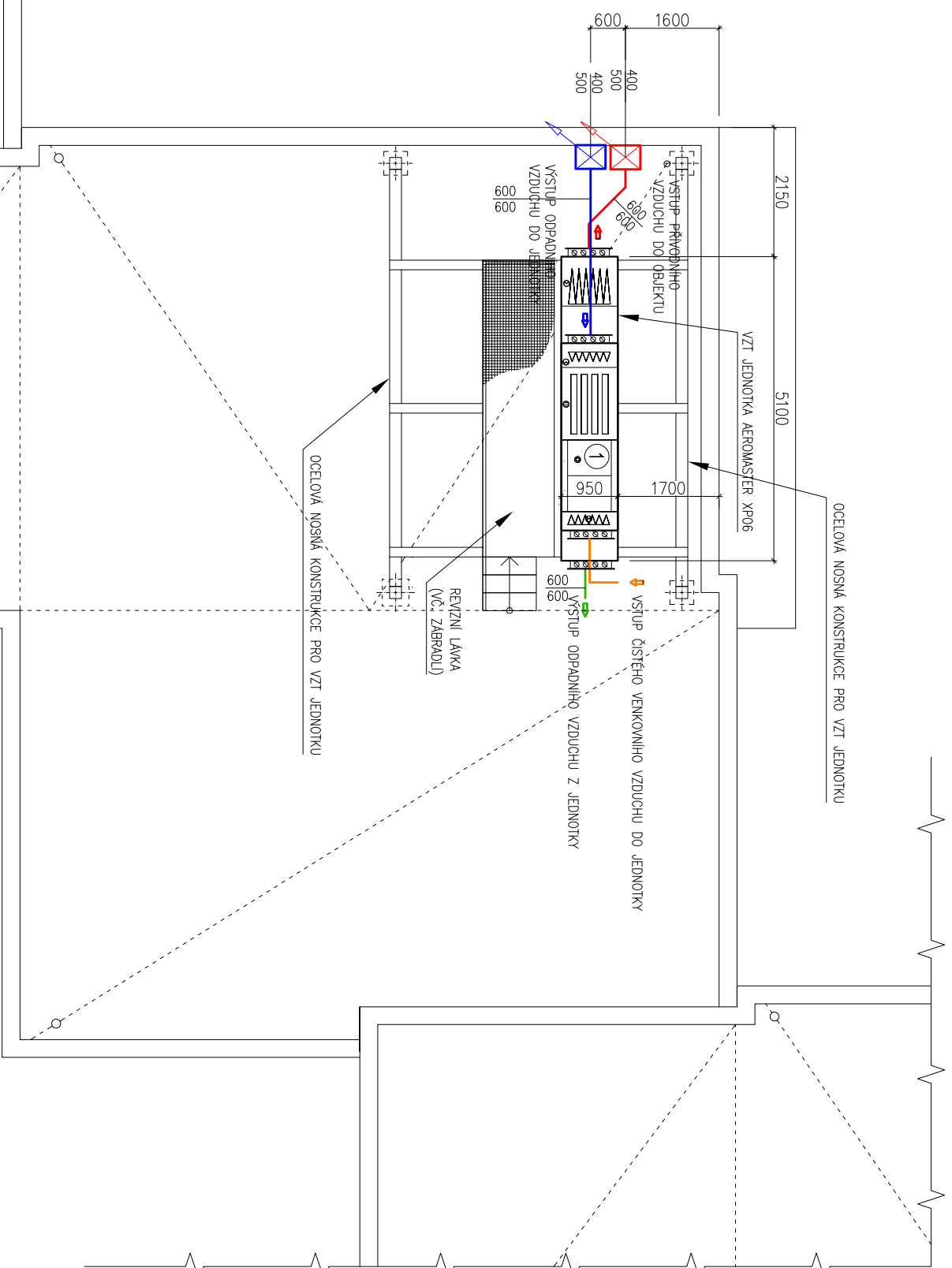
- ČTYŘHRANNÉ POTRUBÍ – PŘÍVOD
- ČTYŘHRANNÉ POTRUBÍ – ODTAH
- POTRUBÍ PRO NÁPOJENÍ KONCOVÝCH VENTILŮ Z OHEBNÝCH AL. HADIC
- DVOUŘÁDOVÉ OBDELMKOVÉ VÝSTIKY
- KONCOVÉ VENTILY TYOM Ø 80–100 MM
- ČTYŘHRANNÉ POTRUBÍ 400/500 MM Z TLUMIČEM HLUKU IMOS THP 20
- DELKA TLUMIČE 1,0 M, VE TŘÍDÁCH JE POTRUBÍ KRYTO STĚNOVÝMI PŘÍŽKAMI
- HYGIENICKÉ MÍSTNOSTI BUDOU NAD DVEŘMI OSAZENY STĚNOVÝMI MŘÍŽKAMI 300/150 MM



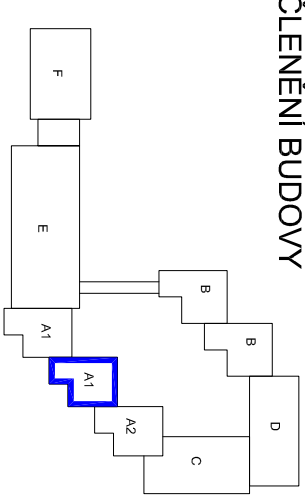
Te = -15°C



DIPLOMOVÁ PRÁCE				
VYPRACOVAL	Bc. JAN ZEMÁNEK		 VUT V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ	
KONZULTANT	Ing. RUBINOVÁ OLGA, Ph.D.			
NÁZEV	VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTORU			
OBSAH			DATUM	01_2013
			FORMÁT	2A4
			MĚŘÍTKO	Č. V.
	VNITŘNÍ ROZVODY VZT - PŮDORYS 2.NP		1 / 100	03

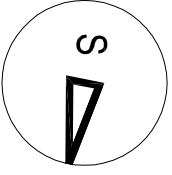


CELKOVÉ ČLENĚNÍ BUDOVY

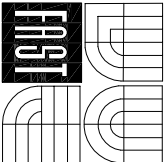


LEGENDA ROZVODŮ VZT

- ČIŠŤENÉ PRÍRÔDNE VZDUCHU DO OBJEKTU
- ČIŠŤENÉ PRÍRÔDNE VZDUCHU DO JEDNOTKY
- ČIŠŤENÉ PRÍRÔDNE VZDUCHU DO JEDNOTKY
- ČIŠŤENÉ PRÍRÔDNE VZDUCHU Z JEDNOTKY

$$T_e = -15^{\circ}\text{C}$$


DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE			
VYPRACOVAL	Bc. JAN ZEMÁNEK		
KONZULTANT	Ing. RUBINOVÁ OLGA, Ph.D.		
NÁZEV	VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTORU		
OBSAH	DATAUM	01 _2013	
	FORMÁT	2A4	
	MĚŘÍTKO	Č. V.	
PŘIPOJENÍ ROZVODŮ A UMÍSTĚNÍ VZT JEDNOTKY		1 / 100	04