



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VĚTRÁNÍ ARCHIVU

VENTILATION OF THE ARCHIVE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. František Hudeček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. František Hudeček**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Větrání archivu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro bezpečné uchování sbírkových předmětů v archivech jsou požadovány konstantní klimatické podmínky, které se liší podle typu uchovávaných předmětů (sbírek). Zkušenosti z reálných provozů ukazují, že zajištění stabilního prostředí bez systému větrání a klimatizace je velice obtížné a v podstatě nemožné v případě archivů se sbírkami, vyžadujícími různé mikroklima.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je provést návrh větracího systému archivu a přilehlých studoven a pro prostory archivu provést ověření vhodného umístění vzduchotechnických prvků pomocí počítačového modelování.

Seznam doporučené literatury:

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook. 2013, Fundamentals. SI edition. Atlanta: ASHRAE, 2013, 1 sv. (různé stránkování) : obr., tabulky, grafy + 1 CD-ROM. ISBN 978-1-936504-46-6.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook. 2011, Heating, ventilating and air-conditioning: applications. SI editions. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011, 1 sv. (různé stránkování) : obr., tabulky, grafy + 1 CD-ROM. ISBN 978-1-936504-07-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Větrání depozitářů s sebou nese určitá specifika. Cílem je zachování kulturně nebo jinak cenných předmětů uskladněných na dlouhé časové úseky, s ohledem na ekonomičnost provozu. Tomu je nutné přizpůsobit návrh větrání. Součástí objektu jsou i vedlejší prostory, které je nutno taktéž adekvátně větrat.

Zpracovaný projekt je následně zhodnocen z hlediska kvality vnitřního mikroklimatu v depozitářích (CFD simulace) a z hlediska energetické náročnosti provozu (simulační program TRN-SYS).

Hlavním sledovaným parametrem v depozitářích je stáří vzduchu. Výsledky jsou zhodnoceny kvalitativně i kvantitativně a jsou naznačena možná opatření pro zlepšení kvality větrání.

Předmětem energetické simulace je získání celkové roční spotřeby pro provoz hlavních vzduchotechnických jednotek. Pro získání referenční hodnoty je navíc zpracován odhad energetické spotřeby pro vytápění a chlazení celého objektu. Výsledky jsou vzájemně porovnány a jsou navržena a zpracována opatření pro výrazné snížení spotřeby energie.

Klíčová slova

Větrání, depozitáře, archiv, CFD simulace, energetická simulace.

ABSTRACT

Ventilation systems for depositories have certain specifics. Their main objective is to provide safe environment for preserving unique cultural or other valuable objects that are being stored for extensive time periods. The economical aspect of the operation should be taken into account and the ventilation system adjusted accordingly. This project also incorporates ventilation of secondary areas.

Ventilation system is subsequently assessed in terms of indoor air quality (CFD simulation) and energetic requirements (program TRNSYS).

Air quality in depositories is evaluated using age of air parameter. The qualitative and quantitative outcomes are obtained. Possible measures are then suggested to improve the air quality.

The objective of energy simulation is to evaluate overall energy required for a year of operation of main air handling units. In addition, estimation of energy requirements for heating and cooling are made for the whole building. The results are compared and more simulations are carried out in order to lower overall energy consumption.

Key words

Ventilation, depository, archive, CFD simulation, energetic simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDEČEK, František. *Větrání archivu* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117279>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Větrání archivu“ vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22. 5. 2019

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D., doc. Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. a Ing. Jakubu Elcnerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky v jednotlivých částech diplomové práce.

OBSAH

| | |
|---|----|
| OBSAH | 9 |
| 1 Větrání a klimatizace | 15 |
| 1.1 Základní pojmy | 15 |
| 1.2 Stanovení intenzity větrání | 16 |
| 1.3 Filtrace vzduchu | 18 |
| 1.3.1 Nečistoty ve vzduchu | 18 |
| 1.3.2 Fyzikální principy odlučování částic | 20 |
| 1.3.3 Filtry prachových částic | 21 |
| 1.3.4 Filtry pro filtraci plynů | 23 |
| 1.3.5 Ostatní typy filtrů | 25 |
| 1.4 Vlhčení a odvlhčování vzduchu | 25 |
| 1.4.1 Parní zvlhčovače | 26 |
| 1.4.2 Zvlhčovače používající rozprašování | 27 |
| 1.4.3 Zvlhčovače s vlhčenými povrchy | 28 |
| 1.4.4 Odvlhčovače vzduchu | 28 |
| 1.5 Mikroklima v depozitářích | 28 |
| 1.5.1 Optimální klimatické podmínky | 28 |
| 1.5.2 Filtrace vzduchu v depozitářích | 29 |
| 2 Charakteristika budovy | 33 |
| 2.1 Klimatologické údaje | 33 |
| 2.2 Popis objektu | 34 |
| 2.2.1 Místnosti depozitářů | 34 |
| 2.2.2 Edukační místnosti | 35 |
| 2.2.3 Hygienické místnosti | 35 |
| 2.2.4 Pracovny a badatelny | 36 |
| 2.2.5 Dílny | 36 |
| 2.2.6 Sklady a technické místnosti | 36 |
| 2.3 Složení stavebních konstrukcí | 37 |
| 2.3.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí | 37 |
| 3 Řešení větrání | 39 |
| 3.1 Větrání depozitářů | 40 |
| 3.1.1 Objemy vzduchu | 41 |
| 3.1.2 Distribuce vzduchu v místnosti | 41 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.1.3 | Složení vzduchotechnické jednotky | 42 |
| 3.1.4 | Nároky na ohřev a chlazení | 45 |
| 3.2 | Větrání edukačních místností | 55 |
| 3.2.1 | Objemy vzduchu | 55 |
| 3.2.2 | Distribuce vzduchu v místnosti | 56 |
| 3.2.3 | Složení vzduchotechnické jednotky | 56 |
| 3.2.4 | Nároky na ohřev a chlazení | 58 |
| 3.3 | Hydraulický výpočet potrubní sítě | 63 |
| 3.4 | Větrání ostatních místností | 66 |
| 3.4.1 | Hygienické místnosti | 67 |
| 3.4.2 | Dílny | 68 |
| 3.4.3 | Technické místnosti | 68 |
| 4 | Simulace proudění vzduchu | 71 |
| 4.1 | Stáří vzduchu | 71 |
| 4.2 | CFD model | 71 |
| 4.2.1 | Geometrie | 72 |
| 4.2.2 | Výpočetní síť | 72 |
| 4.2.3 | Fyzikální model a okrajové podmínky | 75 |
| 4.2.4 | Průběh výpočtu | 76 |
| 4.3 | Vyhodnocení stáří vzduchu | 76 |
| 4.3.1 | Popis simulace | 76 |
| 4.3.2 | Hodnocení stáří vzduchu | 77 |
| 4.3.3 | Návrh zlepšení kvality větrání | 81 |
| 5 | Energetická simulace | 83 |
| 5.1 | Spotřeba energie pro větrání depozitářů | 83 |
| 5.1.1 | Popis simulace - depozitáře | 83 |
| 5.1.2 | Výsledky simulace – depozitáře | 85 |
| 5.1.3 | Popis simulace – edukační místnosti | 88 |
| 5.1.4 | Výsledky simulace – edukační místnosti | 91 |
| 5.1.5 | Optimalizace provozu | 95 |
| 6 | Závěr | 99 |
| 7 | Seznam tabulek | 101 |
| 8 | Seznam obrázků | 103 |
| 9 | Seznam použité literatury | 105 |
| | TABULKA POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK | 110 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 117 |
| SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE | 117 |
| SEZNAM PŘÍLOH NA CD..... | 117 |

ÚVOD

V současnosti je mnoho historicky nebo kulturně cenných předmětů uloženo v nevyhovujících podmínkách. Archiválie jsou obvykle ukládány na dlouhé časové úseky, během kterých mohou být poškozeny nebo zcela znehodnoceny vlivem slunečního záření nebo v důsledku nevyhovující vlhkosti, teploty a čistoty vzduchu.

Předmětem projektu je návrh systému větrání a chlazení v rekonstruovaných prostorech budoucího muzea a metodického vzdělávacího centra pro archeologii. Navržený systém by měl zajišťovat zejména kvalitní provětrání místností depozitářů, poté taktéž větrání edukačních prostorů, hygienického a technického zázemí a dalších. Prostory jsou z hlediska požadavků na větrání velmi rozdílné. V archivech je cílem vytvořit prostředí vhodné pro skladování archiválií, zatímco v místnostech edukačního centra je nutno zajistit kvalitní mikroklima pro pobyt lidí.

Klíčovým faktorem kvalitního větrání je zajištění rovnoměrné distribuce vzduchu tak, aby v místnostech nevznikaly místa se zhoršenou intenzitou výměny vzduchu. V těchto oblastech je zvýšené riziko kumulace vlhkosti a s tím rostoucí riziko vzniku plísní nebo koroze. Návrh větrání je z tohoto hlediska ověřen CFD simulací. Hlavním sledovaným faktorem je stáří vzduchu.

Nezanedbatelným faktorem při posuzování vhodnosti návrhu je i energetická náročnost provozu. Depozitáře na rozdíl od místností obývaných lidmi vyžadují průběžné větrání po celou dobu skladování předmětů. Z dlouhodobého hlediska je proto důležitější úspornost provozu než investiční náklady. Z tohoto důvodu bude navržená koncepce kontrolována z hlediska provozních nákladů pomocí energetické simulace vycházející z klimatických dat. Součástí simulace bude i potřeba energie pro vytápění a chlazení.

1 Větrání a klimatizace

1.1 Základní pojmy

Nejprve je vhodné definovat rozdíl mezi větráním a klimatizací. **Větráním** je myšleno zajištění přívodu venkovního, čerstvého, vzduchu do větraných prostor a zároveň odvod vzduchu znehodnoceného, znečištěného škodlivinami, které jsou ve větraném prostoru produkovány. [1]

U větrání rozlišujeme [1]:

- 1) nucené větrání,
 - a) Celkové nucené větrání – účelem je celkové provětrání místnosti,
 - b) místní přívod vzduchu – pro lokální úpravu vzduchu (např. pracovní místo),
 - c) místní odsávání – vhodné použití v místech, kde se lokálně vyskytuje zvýšené množství škodlivin (hygienické zázemí, svařovny, kuchyňské digestoře).
- 2) přirozené větrání,
 - a) celkové přirozené větrání (větrání aerací) – vhodně umístěnými otvory lze větrat na základě rozdílu tlaků nebo účinkem větru rozlehlé prostory s velkými teplotními zisky.
 - b) Místní přirozené odsávání – (šachtové větrání) funguje obdobně jako předchozí na základě rozdílu hustot vzduchu o různé teplotě.

Klimatizací je myšlen systém zajišťující určitý tepelný a vlhkostní stav ovzduší. Pokud není do místnosti přiváděn čerstvý vzduch, tedy větrání není součástí systému, nejedná se o klimatizaci, pouze o systém chlazení. [1]

Klimatizace se dále dělí na [1]:

- komfortní – klimatizace určená pro úpravu vzduchu pro pobyt lidí (obytné, pobytové prostory).
- Technologická – určena předně pro zajištění úpravy vzduchu ve výrobních prostorech, např. čisté prostory pro výrobu elektroniky.

Dále můžeme třídit klimatizace podle tekutiny jako teplotněnošího média na [1]:

- vzduchové,
- vodní,
- kombinované,
- chladivové.

A podle počtu zón, místností se stejným charakterem provozu, které jsou klimatizačním systémem větrány, na [1]

- jednozónové, upravují vzduch v jedné nebo více místnostech, které mají podobný průběh tepelné zátěže a podobný charakter provozu. Lze je tedy větrat pomocí jednoho zařízení a vzduchem se stejnými parametry.
- vícezónové systémy, které upravují vzduch pro více druhů provozů a prostorů.

Následující kapitoly jsou věnovány stěžejním aspektům návrhu větrání – stanovení objemů vzduchu, filtrace, vlhčení a odvlhčení. V závěru teoretické části jsou tyto poznatky uvedeny ve vztahu k větrání depozitářů.

1.2 Stanovení intenzity větrání

Pro stanovení množství přiváděného čerstvého vzduchu lze použít různé přístupy. Některé prostory jsou definovány přímo zákonem, pro jiné platí pouze doporučení vycházející z praxe. Uvedené možnosti stanovení objemů větracího vzduchu jsou čerpány z více zdrojů a tvoří krátký přehled pro většinu běžných aplikací.

- Stanovení průtoku vzduchu podle požadavku na kvalitu ovzduší [1].

Zde je hlavním kontrolovaným faktorem množství CO_2 ve větraném prostoru. Pokud budeme uvažovat jako koncentraci CO_2 v přiváděném vzduchu celosvětově průměrnou hodnotu pohybující se kolem 395 ppm, průměrný objem vdechovaného a vydechovaného vzduchu člověka $0,45 \text{ m}^3/\text{h}$ s koncentrací CO_2 ve vydechovaném vzduchu 4%, můžeme určit potřebný objem větracího vzduchu vzhledem k Pettenkoferovu kritériu (1000 ppm) následovně [1] :

$$\dot{V}_e = \frac{\dot{V}_s}{C - C_p} = \frac{0,45 \cdot 0,04}{0,001 - 0,000395} \cong 30 \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

Tuto hodnotu lze srovnat se zákonně závaznými hodnotami v nařízení vlády č. 93/2012 Sb. [2], upravující parametry vnitřního prostředí pro zaměstnance nebo s vyhláškou č. 410/2005 Sb. [3], která se zabývá kvalitou prostředí ve školách a vzdělávacích prostorech obecně. Dále je větrání pro pobytové prostory definováno i ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. [4].

- Průtok venkovního vzduchu dle množství vzduchu na osobu dle [2]

25 m^3/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci převážně vsedě, na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění,

50 m^3/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci převážně vsedě, na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění,

70 m^3/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci převážně ve stoje.

90 m^3/h na jednoho zaměstnance vykonávajícího těžkou fyzickou práci.

- Množství čerstvého vzduchu ve vzdělávacích zařízeních dle [3]

20 – 30 m^3/h na 1 žáka pro učebny,

20 – 90 m^3/h na 1 žáka pro tělocvičny,

20 m^3/h na 1 žáka pro šatny, a další hodnoty určené již dle zařizovacích předmětů následovně.

30 m^3/h na umyvadlo pro umývárny, **150 – 200 m^3/h** na 1 sprchu, **50 m^3/h** na kabinku a **25 m^3/h** pro pisoár.

- Intenzita větrání pro pobytové prostory [4] :

V době pobytu osob musí být zajištěno větrání přirozené nebo nucené a to min. 25 m^3/h na osobu nebo 0,5násobná výměna za hodinu. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí je použita koncentrace CO_2 – max. 1500 ppm.

Tyto hodnoty přibližně odpovídají výpočtem zjištěné hodnotě 30 m³/h a zohledňují i vliv aktivity člověka na produkci CO₂. Objemy vzduchu pro větrání nebytových prostorů jsou tedy jasně definovány zákonem.

Situace u obytných budov již není jasně definována. Neexistují zákonně závazné limity pro výměny vzduchu. Je na projektantovi, jak systém větrání navrhne. Jednou z možností je použití požadavků uvedených v normě ČSN EN 15667/Z1. [5] Tato norma se vztahuje k obytným budovám (bytům, domům).

Tab. 1 - Požadavky na větrání obytných budov [5]

| | Trvalé větrání | | Nárazové větrání | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Intenzita větrání | Venkovní vzduch na osobu | Kuchyně | Koupelna | WC |
| | [1/h] | [m ³ /h] | [m ³ /h] | [m ³ /h] | [m ³ /h] |
| Minimální dávka vzduchu | 0,3 | 15 | 100 | 50 | 25 |
| Doporučená dávka vzduchu | 0,5 | 25 | 150 | 90 | 50 |

Z tabulky lze vidět, že dávky vzduchu při trvalém větrání nejsou dostačující pro splnění Pettenkoferova kritéria. Jelikož však neexistují závazné zákonné předpisy pro obytné prostory, je na zodpovědnosti projektanta zda použije doporučených hodnot nebo navrhne výměnu vzduchu, která odráží aktuální stav koncentrace CO₂ ve venkovním prostředí.

- Průtok venkovního vzduchu dle produkce škodlivin [1]

Obdobně jako v rovnici (1) lze vypočítat na základě produkce škodliviny a závazných limitů dle vyhlášky č. 6/2003 Sb. [6] množství potřebného čerstvého vzduchu.

Tab. 2 - výběr polutantů a jejich limitů dle [6]

| polutanty | limit |
|---------------------|---------------------------|
| oxid dusičitý | 100 [μg·m ⁻³] |
| frakce prachu PM10 | 150 [μg·m ⁻³] |
| frakce prachu PM2,5 | 80 [μg·m ⁻³] |
| ozón | 100 [μg·m ⁻³] |
| amoniak | 200 [μg·m ⁻³] |
| benzen | 7 [μg·m ⁻³] |
| formaldehyd | 60 [μg·m ⁻³] |

- Průtok venkovního vzduchu dle intenzity větrání [7]

Tento způsob určení je v zásadě orientační. Nicméně pokud nejsou dány informace o obsazenosti a produkci škodlivin nebo jsou tyto parametry proměnné, je určení množství větracího vzduchu dle doporučených intenzit výměny vzduchu řešením.

V následující tabulce jsou uvedeny doporučené hodnoty výměny vzduchu.

Tab. 3 - Intenzita větrání

| Druh místnosti [-] | Intenzita výměny [1/h] | Druh místnosti [-] | Intenzita výměny [1/h] |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Obytné prostory | 0,3 až 0,7 | Restaurace | 5 až 10 |
| Bazény | 4 až 6 | Šatny | 3 až 6 |
| Kanceláře | 3 až 6 | Umývárny, koupelny | 4 až 6 |
| Kina, divadla | 4 až 6 | Záchody – byty | 2 až 3 |
| Knihovny | 3 až 5 | Záchody – kanceláře | 4 až 6 |
| Posluchárny | 8 až 10 | Záchody - veřejné | 10 až 15 |

V tab. 3 je uvedena doporučená intenzita výměny pro hygienické zázemí. Pro pobytové prostory je nutné se řídit dle vyhlášky č. 6/2003 Sb. [6], která mimo jiné stanovuje i množství větracího vzduchu v hygienickém zařízení u pobytových místností.

Tab. 4 - Teploty a množství odváděného vzduchu pro hyg. zařízení u pobytových místností [6]

| Místnost | Teplota vzduchu | Množství odváděného vzduchu |
|----------|-----------------|--|
| Umývárny | 22 °C | 35 m ³ /h na 1 umyvadlo |
| Sprchy | 25 °C | 35 - 110 m ³ /h na 1 sprchu |
| WC | 18 °C | 50 m ³ /h na 1 mísu |
| | | 25 m ³ /h na 1 pisoár |

Dalšími parametry pro určení množství větracího vzduchu mohou být [1]:

- Vyrovnání vzduchové bilance u odsávacích systémů,
- Dle požadavku na odvod tepelné zátěže.

1.3 Filtrace vzduchu

Zásadní úpravou vzduchu ve větracích systémech je jeho filtrace. Tato úprava přímo ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí. Vhodný návrh filtrace může ovlivnit i hospodárnost provozu. Čím jemnější filtr použijeme, tím vyšší budou tlakové ztráty a spotřeba ventilátoru. Hlavním parametrem je však čistota vnitřního vzduchu. Ta má přímý vliv na zdraví člověka, případně ovlivňuje průběh technologických procesů nebo definuje intenzitu degradace materiálů. Z tohoto hlediska je nutné znát, jaké druhy znečišťujících látek se mohou ve vzduchu vyskytovat a co mohou způsobit. V neposlední řadě je nutné znát způsoby čištění vzduchu, úskalí spojené s použitím různých druhů filtrů a další. [8]

1.3.1 Nečistoty ve vzduchu

Množství a složení nečistot ve venkovním vzduchu se velmi liší dle lokality. Nejprve můžeme rozlišit dva druhy nečistot dle [8] :

- částečkové nečistoty,
 - prach, kouř – obsahuje pevné částice různých velikostí,
 - mlha, smog – obsahuje kapalně částice, zpravidla menších rozměrů než pevně částice,
 - aerosoly (bioaerosoly) – jedná se zejména o biologické nečistoty, například částice, na kterých mohou být přilnuty viry, rozptýlené bakterie, zárodky plísní, alergeny a další,

- plynné sloučeniny,
 - plyny – prvky, které jsou přirozeně ve vzduchu ve skupenství plynném,
 - výpary – prvky, které za běžných atmosférických podmínek jsou v kapalném nebo tuhém skupenství.

Na obr. 1 lze vidět srovnání různých polutantů z hlediska jejich velikosti.

Z hlediska naší aplikace nás budou zajímat zejména prachové částice, bioaerosoly a určité plynné sloučeniny a způsoby jejich filtrace.

1.3.1.1 Prachové částice

Tyto pevné částice se mohou lišit zejména toxicitou, velikostí a tvarem. Částice mohou nabývat velikostí v řádech mikrometrů. Částice menší než 0,1 μm jsou nanočástice. Částice v rozmezí 0,1 μm až po 2,5 μm jsou jemné částice a částice větší než 2,5 μm již lze považovat za hrubší prach. [9]

Za prachové částice lze považovat částice menší než 100 μm . [8]

1.3.1.2 Bioaerosoly

Jedná se o biologické nečistoty rozptýlené ve vzduchu.

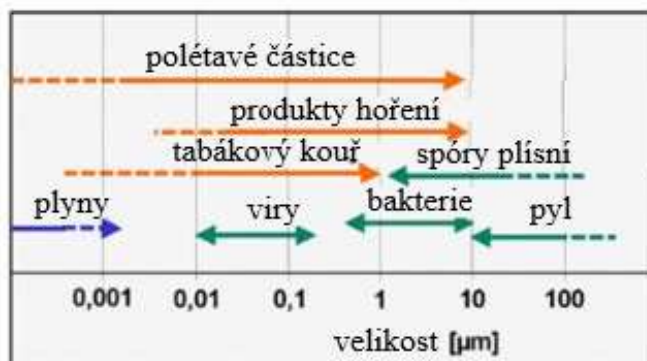
- Viry – jejich velikost se různí od 0,003 až 0,06 μm . Vzhledem ke své velmi malé velikosti se téměř výhradně vyskytují ve vzduchu ve větších shlucích nebo jsou přichyceny na jiné částice. [8]
- Bakterie – velikost se různí od 0,4 až 5 μm , mohou se vyskytovat samostatně, tak i ve shlucích. [8]
- Spóry plísní – velikost v rozmezí 2 až 10 μm . [8]
- Pylové částice – velikost 10 až 100 μm . [8]

Hlavním původcem bakterií a aerosolů mohou být lidé. Tuto tezi potvrzuje například měření koncentrace aerosolů v Mauzoleu prvního císaře dynastie Čchin v Číně během tzv. Zlatého týdne [10]. V tomto týdnu je do prostorů se sochami vojáků vpuštěno velké množství lidí. Výsledky měření ukázaly, že přítomnost lidí výrazně zvyšuje koncentrace těchto nečistot. Koncentrace výrazně kolísají a korelují s průběhem množství návštěvníků v řádech hodin. Bakterie, plísně, houbové kultury a zejména jejich produkty mohou mít na předměty z pálené hlíny (v případě řešeného archivu keramiky) negativní účinky a přispět degradaci materiálu [10].

1.3.1.3 Plynné nečistoty

Plynné sloučeniny mohou mít různé škodlivé efekty – toxicita, dráždivost, odér, degradace materiálu [8]. V aplikaci pro archivování předmětů nás zajímá zejména jejich vliv na degradaci materiálu. Je žádoucí předejít korozi, blednutí barev, křehnutí nebo jiných změn ve vlastnostech uložených předmětů.

Mezi korozivní látky patří zejména ozón (O_3), oxid dusičitý (NO_2), peroxid vodíku



Obr. 1 - Rozdělení nečistot dle velikosti částice [9]

(H₂O₂), oxid uhličitý (CO₂), oxid siřičitý (SO₂) a další kyselé plyny. Tyto je potřeba hlídat z hlediska koncentrace a účinně je filtrovat. Společně se zvýšenou relativní vlhkostí mohou zapříčinit korozi materiálu. [8]

1.3.2 Fyzikální principy odlučování částic

Pro vhodnou volbu filtru je nezbytné znát principy, na kterých filtry fungují. Existuje více typů filtrů lišících se svou konstrukcí a vlastnostmi. Nejčastěji jsou filtry vyrobeny z vláknitých materiálů - skleněných nebo polymerových vláken. Šířka a hustota vláken zásadně ovlivňuje vlastnosti filtru. To ostatně vyplývá z principů, na kterých tyto filtry fungují. [9]

Setrvačný princip spočívá ve využití setrvačných sil částic unášených proudem vzduchu. Při obtékání vláken nečistota vlivem setrvačné síly není schopna kopírovat proud vzduchu a ulpívá na vláknech filtru. Vliv tohoto principu se zvyšuje se zvyšující se rychlostí proudění, s rostoucí velikostí (hmotností) částice. Pro větší průměry vláken filtrační vložky je pravděpodobnost ulpívání nečistot vyšší. [9]

Intercepční princip spočívá v ulpívání menších částic na povrchu vláken. Částice jsou schopny kopírovat proudění vzduchu, avšak přilnou k povrchu, pokud se při průletu dotknou vláken. Vliv tohoto mechanismu se zvyšuje se zmenšující se průměrem a se zvyšující se hustotou vláken a se zvětšující se velikostí částic. [9]

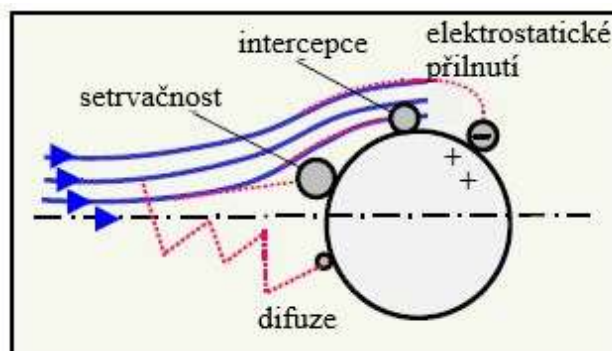
Difuzní princip ovlivňuje zejména nejmenší částice - menší než 1 μm. Jejich trajektorie je ovlivňována srážkami s okolními molekulami a v důsledku toho oscilují kolem proudnice vzduchu. Při vychýlení se mohou dotknout vláken a zachytit se. Princip nabývá velkého významu zejména u nanočástic. Čím je struktura vláken hustší a tvořena jemnějšími vlákny, tím je tento princip výraznější. [9]

Mezi další mechanismy filtrace, které nesouvisí přímo s velikostí, hustotou a tvarem vláken patří.

Elektrostatická filtrace může pozitivně ovlivnit efektivitu filtrace. Filtry mohou být vybaveny elektrostatickými precipitátory, které nabíjejí částice v proudě vzduchu. Díky elektrostatickým silám následně částice lépe přilnou k vláknům. Jiná možnost je nabití vláken filtru během výroby – respektive vytvoření nerovnoměrného rozložení elektronů na filtrační vložce. Nejistota této metody spočívá zejména v nestálosti takto nabytého náboje. Efektivita je ovlivněna teplotou, vlhkostí a vlastním nábojem nečistot. Zejména vlhkost umožňuje pohyb elektronů a tím se snižuje uměle vytvořený „náboj“ filtrační vložky. [9]

Adsorpce (resp. absorpce) je princip, na jehož základě se odlučují plynné nečistoty. Je nezbytné odlišit **adsorpci** a **absorpci**.

- **Adsorpce** funguje na fyzikálním principu, souvisejícím s poměrně nízkými silami mezi molekulami plynu a povrchem adsorbentu. Přilnavost plynů funguje na základě rozdílu koncentrace daného plynu



Obr. 2 - Principy filtrace vzduchu [9]

v proudu vzduchu a ve vzduchu uvnitř filtračního média. Proces je vratný a při změně koncentrace nečistoty v proudu vzduchu může dojít k desorpci (uvolnění nečistot z povrchu). [9]

- **Absorpce** znamená přilnutí plynných nečistot pomocí chemické reakce. Takto zachycené molekuly se mohou znovu uvolnit do proudu vzduchu při kolísání koncentrace v proudu vzduchu. Chemické adsorpce se dosahuje zejména impregnací povrchu vhodnou chemikálií. [9]

Více o funkci filtrů pracujících na tomto principu je uvedeno v kapitole 1.3.4.

1.3.3 Filtry prachových částic

Pro téměř všechny vzduchotechnické aplikace je nezbytný právě filtr prachových částic. Zlepšuje kvalitu vnitřního vzduchu a chrání samotné vzduchotechnické zařízení (ventilátory, výměníky tepla) před zanášením a abrazí. [9]

Filtry pevných částic můžeme dělit na více kategorií dle frakce částic, které jsou schopny zachytit. Nejprve lze filtry rozdělit dle normalizace na filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání (třídění dle normy ČSN EN 779, nově dle normy ČSN EN ISO 16890-1) a na filtry s vysokou účinností (třídění dle ČSN EN 1822). [11]

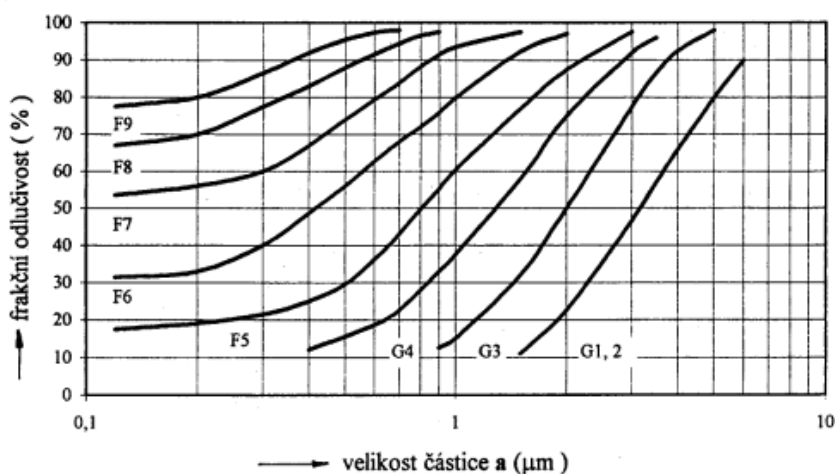
1.3.3.1 Filtry pro běžné větrání

Filtry pro běžné větrání se dělí na třídy G (Coarse) a F (Fine) a na další typy (méně používaný filtr typu M). Na obr. 3 lze vidět, že filtry třídy G odlučují částice do velikosti 1 μm . Tlaková ztráta těchto filtrů se na základě různého provedení (tvaru filtrační vložky) různí. Běžná tlaková ztráta nezaneseného filtru této třídy je v rozmezí 25 až 60 Pa. [9] Filtry třídy F již zachytí částice o velikosti 0,1 μm . Jejich tlaková ztráta při správném návrhu (rychlost přibližně 0,2 m/s při průchodu filtrem) se liší od 50 Pa pro nejnižší třídu (F5) až po 150 až 200 Pa pro třídu F9. [9]

Toto řazení filtrů vychází ze zastaralého způsobu měření a hodnocení vlastností filtrů. Hlavní měřené vlastnosti jsou [9] :

- efektivita odloučení částic určité frakce (velikosti),
- životnost filtru (množství částic, které filtr dokáže zachytit)
- tlaková ztráta.

Nicméně tyto parametry jsou dle normy EN 779 měřeny nevhodnými postupy. Je použit přesně definovaný prach dle ASHRAE, který je v nesrovnatelně vyšších koncentracích (přibližně tisíckrát vyšší než koncentrace v běžném venkovním prostředí) filtrován testovaným filtrem o definovaných rozměrech a de-



Obr. 3 - Odlučivost filtrů třídy G a F [11]

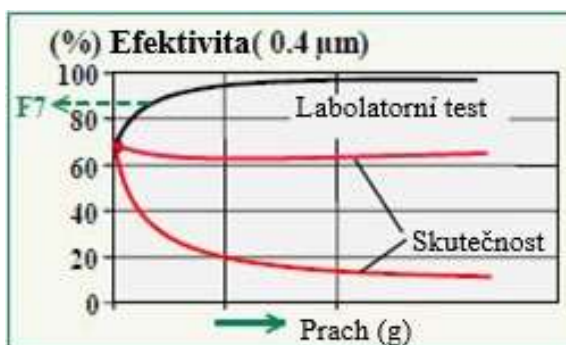
finované rychlosti proudění. Pokus končí až při dosažení tlakové ztráty 450 Pa pro jemné filtry (třídy F) a ztráty 250 Pa pro filtry třídy G. Tyto hodnoty tlakových ztrát jsou příliš vysoké a neekonomické v praktických aplikacích. Reálná životnost filtru je tedy nižší, než životnost deklarovaná laboratorními měřeními. Pro obě třídy filtrů je použit stejný prach (střední velikost částice 0,4 μm) a prachové částice jsou nesené vzduchem s kontrolovanou teplotou a vlhkostí. Filtr poté může mít výrazně jiné vlastnosti v důsledku jiného složení nečistot, koncentrací a parametrů venkovního vzduchu, jak je popsáno níže. [9]

Možným problémem laboratorního měření filtrů je právě kontrolovaná vlhkost vzduchu. V reálných aplikacích se do filtru mohou dostat aerosoly nebo vlhkost a tím se může snížit efektivita filtrace v důsledku eliminace elektrostatických sil. Tyto se mohou vytvořit samovolně při výrobě filtru a poté při laboratorním měření mohou zvyšovat efektivitu filtru. Výsledkem mohou být zavádějící hodnoty efektivita filtrace. [9]

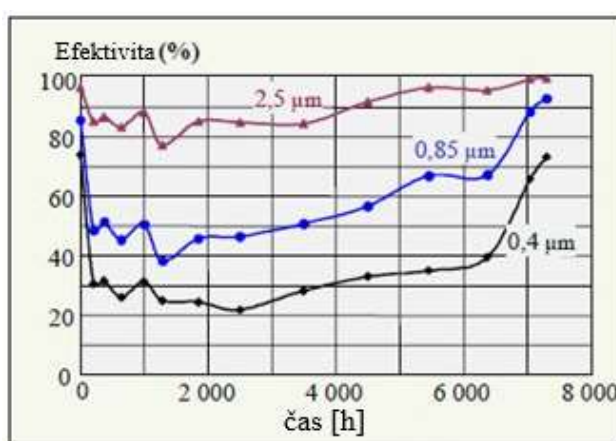
Zároveň může mít vliv použití velké intenzity zanášení filtru. Filtr během provozu postupně zvyšuje svou účinnost a tlakovou ztrátu. To z důvodu postupného zanášení a zmenšování průchodnosti původního vláknitého materiálu. Způsob a intenzita zanášení stejně jako složení laboratorního prachu jsou výrazně odlišné od podmínek reálného provozu. Z výsledků laboratorního měření tedy nelze předvídat chování filtru v reálné aplikaci. Rozřazení filtrů je tedy nespolehlivé. [9]

Výše uvedené úvahy o hodnocení filtrů jsou graficky podpořeny na obr. 4, kde je uvedeno srovnání vývoje efektivita filtrace při postupném zanášení filtru. Rozdíl mezi skutečností a laboratorním měřením je markantní. Na obr. 5 je zobrazen vývoj efektivita filtrace elektrostaticky nabitého filtru třídy F6. Tento vývoj může být při ztrátě elektrostatického náboje výrazně méně příznivý. [9]

V reakci na tyto skutečnosti vznikla nová norma ČSN EN ISO 16890-1, která nahrazuje normu



Obr. 4 - Srovnání efektivita - laboratorní a praktické měření [9]



Obr. 5 - Vývoj efektivita zachycení částic [9]

ČSN EN 779. Původní třídění a zejména měření filtrů se mění. Nově jsou zavedeny čtyři skupiny filtrů [12] :

- ISO hrubý,
- ISO ePM10,

- ISO ePM_{2,5},
- ISO ePM₁.

Číselná hodnota uvedená za ePM značí velikost částic, které s minimální odlučivostí 50% musí filtr odloučit, aby byl zařazen do dané skupiny. Dále je velmi důležité i procento uvedené za třídou (například ISO ePM₁₀, 95%). To značí, že daný filtr odfiltruje 95% částic o velikosti rovné a větší než 10 µm. [12]

Jako orientační převodní tabulka může sloužit například (obr. 6) :

| Převodní tabulka | | | | | | | |
|--------------------------|----|----------------------------|----|---------------------------|----|----------------|----|
| ePM ₁ | | ePM _{2,5} | | ePM ₁₀ | | Coarse | |
| ISO ePM ₁ 95% | F9 | ISO ePM _{2,5} 95% | F7 | ISO ePM ₁₀ 95% | M6 | ISO Coarse 70% | G4 |
| ISO ePM ₁ 90% | | ISO ePM _{2,5} 90% | | ISO ePM ₁₀ 90% | | ISO Coarse 65% | |
| ISO ePM ₁ 85% | | ISO ePM _{2,5} 85% | | ISO ePM ₁₀ 85% | | ISO Coarse 60% | |
| ISO ePM ₁ 80% | | ISO ePM _{2,5} 80% | | ISO ePM ₁₀ 80% | | ISO Coarse 55% | |
| ISO ePM ₁ 75% | F8 | ISO ePM _{2,5} 75% | | ISO ePM ₁₀ 75% | | ISO Coarse 50% | G3 |
| ISO ePM ₁ 70% | | ISO ePM _{2,5} 70% | | ISO ePM ₁₀ 70% | | ISO Coarse 45% | |
| ISO ePM ₁ 65% | F7 | ISO ePM _{2,5} 65% | M6 | ISO ePM ₁₀ 65% | M5 | ISO Coarse 40% | G2 |
| ISO ePM ₁ 60% | | ISO ePM _{2,5} 60% | | ISO ePM ₁₀ 60% | | ISO Coarse 35% | |
| ISO ePM ₁ 55% | | ISO ePM _{2,5} 55% | | ISO ePM ₁₀ 55% | | ISO Coarse 30% | |
| ISO ePM ₁ 50% | | ISO ePM _{2,5} 50% | | ISO ePM ₁₀ 50% | | | |

Tato tabulka slouží pouze jako orientační pomůcka

Obr. 6 - Orientační převodní tabulka firmy DELBAG [13]

1.3.3.2 Filtry s vysokou účinností

Filtry s označením EPA, HEPA nebo ULPA jsou určeny pro speciální požadavky na čistotu vzduchu (nemocnice, operační sály, vojenské a výrobní technologie). Vyznačují se velmi kompaktním provedením – celková plocha filtru je až 75 krát větší než průřezová plocha potrubí. [9]

1.3.4 Filtry pro filtraci plynů

Stěžejním principem funkce je adsorpce, případně absorpce. Pro zajištění co nejvyšší účinnosti je potřeba filtračního materiálu s co největším povrchem a pórovitou strukturou. K tomu je využíváno nejčastěji aktivní uhlí (až 1400 m²/g látky). Dalšími používanými materiály jsou např. oxidy hliníku, zeolit a další. [9]

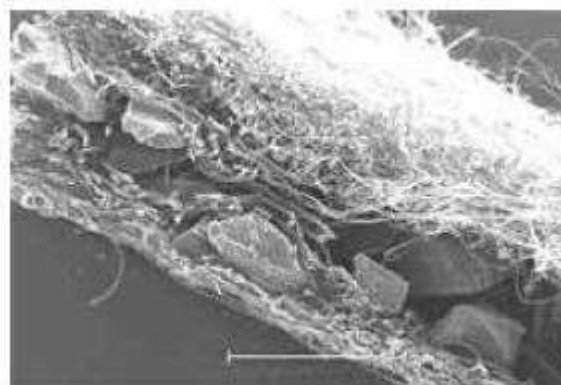
Předvídání efektivity filtrace je obecně náročné. Záleží na druhu plynu, jeho molekulární hmotnosti, teplotě varu a dalších. Taktéž efektivita filtrace roste společně s vyšší koncentrací plyných škodlivin ve vzduchu. Pokud poté koncentrace poklesne, může nastat i desorpce z povrchu filtru a zachycené molekuly se mohou znovu dostat zpět do vzduchu. Totéž se může dít při saturaci povrchu absorbentu. Tomuto lze zabránit jednak včasnou výměnou filtru nebo chemickou impregnací povrchu, která zajistí, že zachycené molekuly plynu se přichytí chemickou reakcí na povrch nevratně. To však pouze do té doby, než je vyčerpán potenciál impregnované chemikálie. Zároveň je nutné předem předvídat, jaké škodliviny mají být filtrovány a podle toho volit impregnaci. [9]

Obecně se efektivita fyzikální adsorpce zvyšuje [9]:

- s klesající teplotou,
- s klesající relativní vlhkostí,
- s klesající rychlostí proudění,
- s rostoucí molekulární hmotností plynu.

Pro chemickou adsorpci platí opačné podmínky. S rostoucí teplotou a relativní vlhkostí probíhá většina chemických reakcí lépe. [9]

Z hlediska konstrukce se používají dva druhy filtrů. Zejména pro vysoké požadavky na čistotu vzduchu se používá konstrukce filtru na obr. 7. Na obrázku je ve směru proudění vzduchu předřazený prachový filtr, filtr s aktivním uhlím a filtr s vysokou účinností. Ve válci je umístěno velké množství adsorbentu. Takovýto filtr má však pro běžné použití v klimatizačních nebo větracích systémech neopodstatněně velkou tlakovou ztrátu. Pro méně náročné aplikace lze použít například vrstvený filtr (obr. 8), kde je adsorbent zabalen ze dvou stran do skleněných nebo polymerových vláken. Vznikne tak univerzální filtr, který nepotřebuje chránit před hrubší frakcí prachu předřazeným filtrem pevných částic. Zároveň vlákna fungují jako pojivo pro sypký materiál aktivního uhlí. Nevýhodou je jeho snížená životnost a dražší výměna při zanesení prachem. [9]



Obr. 7 - Filtrační sestava s aktivním uhlím [14] Obr. 8 - Detail vrstveného filtru [9]

Přehledné srovnání používaných sorbentů je uvedeno v tab. 5.

Tab. 5 – impregnace [15]

| sorbent | sorbovaný polutant | možnost regenerace | sorpce vody |
|--|--|--------------------|-------------|
| aktivní uhlí neimpregnované | SO ₂ , NO ₂ , H ₂ S, uhlovodíky | ano | nízká |
| aktivní uhlí, impregnace K ₂ CO ₃ nebo KOH | SO ₂ , NO ₂ , H ₂ S, kyselina octová, VOC | ne | vysoká |
| Al ₂ O ₃ , impregnace KMnO ₄ | SO ₂ , NO, H ₂ S, SO ₃ , aminy | ne | nízká |
| molekulární síta | SO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, uhlovodíky, karbo-nyly, VOC | ano | vysoká |
| silikagel | SO ₂ , NO ₂ , NH ₃ , uhlovodíky, VOC | ano | vysoká |
| oxid zinečnatý | SO ₂ , H ₂ S, CS ₂ , organické a anorganické kyseliny | ne | žádná |

1.3.5 Ostatní typy filtrů

1.3.5.1 UV filtry

UV záření je používáno pro ošetření vody nebo desinfekci povrchů, například ve zdravotnictví. Stejný princip může být použit v klimatizačním zařízení pro zahubení bakterií, virů a plísní. Filtry jsou velmi účinné v hubení bakterií (>99,9 %). Jejich účinek vůči virům a plísním je však nejistý a záleží na druhu organismu. Navíc zahubené mikroorganismy a jejich produkty mohou stále zapříčinit alergické reakce. Dále je nutné zmínit bezpečnostní rizika, jelikož filtr produkuje ozón, radiaci a k jeho provozu je potřeba vysoké napětí. [8]

1.3.5.2 Elektrostatické filtry

Filtry pracují na principu elektrostatických sil. Samotný filtr lze rozdělit na dvě části, ionizující část a filtrační část. V ionizační části částice v proudu vzduchu nabývají elektrický náboj, v důsledku působení elektromagnetického pole vzniklého kolem pozitivně nabitých vodičů. Druhá část je filtrační část. Ta může být realizována pomocí rovnoběžných, různě nabitých desek, umístěných po směru proudění vzduchu nebo pomocí mechanického filtru. [8][9]

Z hlediska údržby je deskový typ specifický. Z principu funkce se v průběhu zanášení nezvyšuje jeho účinnost, ani tlaková ztráta. Je tedy nutné frekvenci čištění a údržby dodržovat dle požadavků výrobce nebo na základě množství nečistot. Pro průmyslové aplikace může být nutné čištění v rádech hodin. Pro aplikace v domácnosti nebo bytové prostory v rádech měsíců. Při nedostatečném čištění může dojít ke snížení efektivity filtru a částice, které jsou stále elektricky nabitě, se dostávají do vnitřního prostoru. Zde mohou zapříčinit rychlé tmavnutí stěn v důsledku vyšší přilnavosti k povrchům. Oproti tomu při použití běžného filtru s vlákny tyto nevýhody odpadají a filtr lze provozovat podobně i bez ionizátoru. [8][9]

Důležitý je i fakt, že provozem ionizátoru vzniká určité množství ozónu. Ozón je nebezpečný jak pro lidi, tak pro materiály jako papír nebo kovy. Při správné funkci filtru by však množství ozónu nemělo přesáhnout požadované limity (zde platí vyhláška č. 6/2003 Sb. – pro ozón je limit $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [6]). [8][9]

1.4 Vlhčení a odvlhčování vzduchu

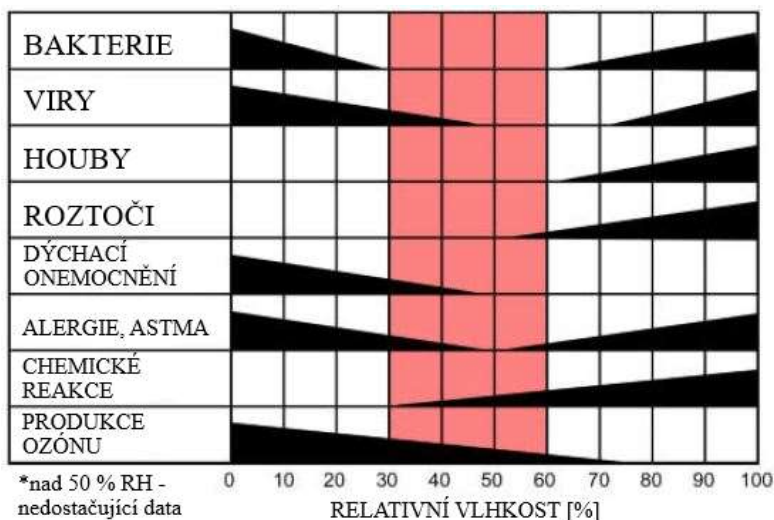
Relativní vlhkost vzduchu má vliv nejen na komfort lidí, ale i na zdravotní nezávadnost vzduchu a v neposlední řadě ovlivňuje i reaktivitu vzduchu při kontaktu s různými povrchy. To demonstrovuje obr. 9. Vyplývá z něj, že ideálním rozmezím relativní vlhkosti je 40 – 60 %.

Vysoká míra vlhkosti může zapříčinit kondenzaci na chladnějších površích (např. rámy oken, rohy místnosti) a zvyšuje riziko přenosu virových infekcí. Oproti tomu nízká relativní vlhkost může zapříčinit elektrostatické jevy (přilnutí prachu k povrchům, komplikace provozu některých elektronických zařízení). Taktéž zvyšuje míru odpařování vlhkosti ze sliznic a tím snižuje celkový komfort. [16]

K řízení tohoto parametru lze využít více zařízení s různými principy funkce a z toho vyplývajícími vlastnostmi. Zvlhčovače lze rozdělit na [16] :

- Parní zvlhčovače,
- zvlhčovače používajících rozprašování,
- zvlhčovače s vlhčenými povrchy.

Vlhčení parou lze považovat za izotermické, jelikož energie pro absorpci vody je dodávána externím zařízením (vyvíječ páry). Teplota vzduchu se tedy výrazně nemění. Zatímco další dva druhy lze považovat za adiabatické, jelikož energie pro odpaření vody je získávána z proudu vzduchu a jeho teplota se poté snižuje přibližně po izentalpické křivce. Z tohoto důvodu lze používat vlhčení vzduchu vodou i pro chlazení. [16]



Obr. 9 - vliv relativní vlhkosti na kvalitu vzduchu [16]

Z h-x diagramu lze vyčíst, že při vlhčení vzduchu ze stavu 30 °C a relativní vlhkosti 50 % na relativní vlhkost 90 % je výsledná teplota je přibližně 23 °C.

Důležitým faktorem pro správnou funkci je způsob ošetření vody pro vlhčení. Lze použít neošetřenou vodu z vodo-vodního řádu, měkčenou nebo demineralizovanou vodu. Použitím neupravené vody může dojít k distribuci vysrážených minerálů proudem vzduchu a zanášením větraných prostorů. [16]

Na obr. 10 lze vidět vliv použití neupravené vody po přibližně 4 měsících provozu odporového vyvíječe páry.

1.4.1 Parní zvlhčovače

Lze je dělit na základě způsobu získávání páry na [18]:

- zvlhčovače s centrálním zdrojem páry,
- elektrodové,
- odporové,
- plynové a
- infra zvlhčovače.

Zvlhčovače s centrálním zdrojem páry jsou nejstarším řešením získávání páry. Problémy mohou nastat při rozvádění páry nebo při použití páry nesplňující hygienické požadavky. [18]

Elektrodové zvlhčovače využívají přirozené elektrické vodivosti vody. Mezi ponořenými elektrodami proudí proud. Nevýhodou je nemožnost použití demineralizované nebo destilované vody, vyplývající z principu funkce. Z tohoto důvodu je nutné počítat se zanášením a zařízení pravidelně



Obr. 10 - zanesení varných tyčí [17]

čistit. Regulaci výkonu lze provádět změnou výšky hladiny. Tím se mění hloubka ponoření tyčí a míra proudící energie. [18]

Odporové zvlhčovače je možné oproti tomu provozovat s demineralizovanou vodou a tím zabránit ve velké míře zanášení topných tyčí. K regulaci není potřeba měnit výšku hladiny vody. Řídit lze elektrickou energii dodávanou do topných tyčí. [18]

Dalšími způsoby vyvíjení páry je **ohřev pomocí hoření plynu**, s výhodou využitelný pro velké objemy vody, a ohřev pomocí **infračervené lampy**, který však není příliš účinný a proto není běžně používán. [18]

Důležitým parametrem je taktéž způsob, jakým je pára distribuována do proudu vzduchu. Může být použita **jedna nebo více perforovaných trubek** zavedených do potrubí. Pára uniká perforacemi, ve vzduchu část kondenzuje a část se absorbuje. Kondenzovanou frakci je nutné odvádět. Pokud je potřeba zkrátit délku potřebnou k absorpci páry, je možné použít **soustavu trubek se společným přívodem páry**. Díky většímu množství trubek je pára vstříkována rovnoměrněji do proudu vzduchu. Tak je dosaženo vyšší účinnosti a rychlejší absorpce. Nevýhodou je vyšší míra ohřevu vzduchu v důsledku většího povrchu trubek v kontaktu se vzduchem. Ohřevu lze zamezit použitím dodatečné izolace. [16]

Pro správnou funkci je důležité taktéž zajistit co nejprůzračnější profil proudění vzduchu. Distribuční tyče je vhodné umisťovat do rovných úseků potrubí, kde se nevyskytuje vysoká míra turbulence. Turbulentní proudění může způsobit vyšší míru kondenzace na stěnách potrubí a tím snížit efektivitu a zvýšit energetické nároky. [16]

1.4.2 Zvlhčovače používající rozprašování

Do této skupiny lze zařadit zvlhčovače [16] :

- Ultrazvukové,
- vysokotlaké trysky,
- odstředivé.

Ultrazvukové zvlhčovače používají vibrační destičky pro rozprašování vody do vzduchu. Vibrace destičky je buzena vysoko-frekvenčním elektrickým signálem. Voda na povrchu je vystavena rychlé tlakové změně, která při podtlaku zapříčiní vypaření vody při nízkém tlaku – kavitaci, a při přetlaku vznikne tlakový ráz, který vzniklé kapičky rozpráší do proudu vzduchu. Pro správnou funkci je nutná čistota jednotlivých elementů, proto jsou tyto zvlhčovače citlivé na čistotu vody. Většinou je používána upravená voda (demineralizovaná, měkčená nebo destilovaná). [16]

Vysokotlaké trysky využívají energie unikající kapaliny a speciálních trysek pro vytvoření velmi jemných kapiček. Běžné tlaky vody se pohybují mezi 210 až 1265 kPa. Míru vlhčení je možné regulovat pomocí změny tlaku vody, případně, při použití více trysek, zavíráním jednotlivých výstupů. [16]

Odstředivé zvlhčovače používají energii rotující kapaliny pro rozprašování. K rotaci je používán disk, z jehož okrajů se uvolňuje kapalina. Do její dráhy jsou umístěny různé překážky tak, aby vznikly co nejjemnější kapičky kapaliny. [16]

1.4.3 Zvlhčovače s vlhčenými povrchy

Tyto zvlhčovače využívají porézního povrchu, který je obtékán vzduchem a vlhčen vodou. Částečně fungují i jako filtry vzduchu. Nečistoty zachycené ze vzduchu a po odpařené vodě je potřeba pravidelně odstraňovat. [16]

Tyto zařízení lze kombinovat s použitím trysek a porézního média. Poté lze hovořit o hybridních zvlhčovačích. V této aplikaci je doporučeno používat demineralizovanou vodu, aby se zabránilo zanášení porézního média. [16]

1.4.4 Odvlhčovače vzduchu

K odvlhčení obecně jakéhokoliv média je možné použít více způsobů [16] :

- **Stlačení média** – zvýšením tlaku se sníží kapacita média pro zadržování vody a přebytečná voda zkondenzuje. Při použití v aplikacích s atmosférickým tlakem je toto řešení neekonomické. Dále může být problém se 100% relativní vlhkostí výstupního média a s tím souvisejícími jevy (kondenzace a další). Proto se tento princip odvlhčení kombinuje s dalšími principy, pro snížení relativní vlhkosti.
- **Chlazení** je nejběžnějším způsobem používaným pro odvlhčení. Při kontaktu média s povrchem o teplotě nižší, než je teplota rosného bodu, dochází ke kondenzaci. Použití tohoto principu je omezeno zejména snižující se efektivitou při nízké teplotě nebo nízké relativní vlhkosti. Tento princip lze považovat za výhodný pro použití pro teploty rosného bodu vyšší než 5 °C.
- **Sorpční chlazení** – lze rozlišit jednak absorpci (navázání vody pomocí chemické vazby) a adsorpci (navázání vody zachycením na povrchu adsorbéru). Média používaná k odvlhčení jsou různá – např. silikagel, aktivovaný oxidovaný hliník, molekulová síta [19]. Tento druh odvlhčení se s výhodou používá při nižších teplotách vzduchu a požadavcích na nižší výslednou měrnou vlhkost. S výhodou lze použít kombinace chlazení a sorpčního principu k dosažení vysoké míry odvlhčení. Sorpční média je potřeba pravidelně regenerovat. Tomu vyhovuje použití rotačních výměníků tepla, kdy je sorpční materiál neustále regenerován mezi proudy čerstvého a odpadního vzduchu.

1.5 Mikroklima v depozitářích

Problematika skladování cenných archeologických předmětů se dotýká více odvětví. Na degradaci uložených archiválií má vliv množství světla, relativní vlhkost vzduchu, plynné nečistoty, biologické nečistoty, dynamika změn těchto parametrů v čase, neočekávané havárie a další. Tyto ovlivňuje nejen systém klimatizace a větrání, ale i charakter budovy, použité materiály v místnosti (omítky, nátěry stěn, vybavení atd.), obalové materiály, situační umístění budovy, profesionální údržba a další. V neposlední řadě je potřeba dbát na ekonomickou stránku provozu. Efektivním řešením je tedy kompromis mezi vhodným vnitřním prostředím pro dané sbírky a ekonomickou náročností. [20]

1.5.1 Optimální klimatické podmínky

Depozitáře, archivy a obecně prostory určené pro dlouhodobé skladování cenných předmětů jsou z hlediska požadavků na větrání specifické. Většina depozitářů je totiž pro veřejnost uzavřena a pobyt osob v těchto prostorech je omezen tak, aby se minimalizovalo riziko kontaminace bakteriemi, zárodky plísní a jinými. Bez produkce CO₂ není nutné přivádět pouze čerstvý

vzduch, jak je tomu u větrání prostorů obývaných lidmi, a s výhodou lze využít odpadní vzduch – cirkulaci. Ten je směřován s čerstvým vzduchem, filtrován a dle potřeby dále upraven a přiváděn zpět do prostoru. Takto řízená výměna vzduchu v konečném důsledku přispívá k ekonomičnosti provozu a napomáhá stabilizaci parametrů vnitřního prostředí. [20]

Volba vhodného poměru cirkulačního a čerstvého vzduchu je volbou projektanta. Nicméně výsledná intenzita výměny čerstvého a cirkulačního vzduchu by měla vyhovovat požadavkům uvedeným v [15]. V této certifikované metodice pro uchovávání předmětů kulturní povahy jsou uvedeny tyto rozsahy pro intenzity výměny vzduchu.

- 1násobná – 2násobná výměna čerstvého vzduchu za 24 hodin,
- maximálně 3násobná celková výměna vzduchu za hodinu.

Jako referenční hodnoty se v praxi používá relativní vlhkost 50 % a teplota 20 °C [20]. Tyto se však mohou lišit pro různé materiály a druhy sbírek. Například v depozitářích s kovovými artefakty je vhodné z důvodu zamezení koroze snížit relativní vlhkost na hodnoty nižší než 40 % [21]. Taktéž je nutné dbát na vhodný rozsah, ve kterém se budou parametry vzduchu pohybovat a jejich změnu v čase. Příliš rychlé a velké výkyvy v relativní vlhkosti a teplotě mohou zapříčinit mechanické nebo chemické poškození předmětů v důsledku teplotní roztažnosti, absorpce vlhkosti a následného vysychání. Různé materiály se mohou chovat velmi odlišně a požadavky pro vhodné uskladnění mohou být protichůdné. Proto je doporučeno obecně jednotlivé materiály skladovat odděleně, zejména potom kovové předměty a artefakty organického původu. [20]

1.5.2 Filtrace vzduchu v depozitářích

Depozitáře, archivy a obecně prostory určené pro dlouhodobé skladování cenných předmětů jsou z hlediska požadavků na filtraci vzduchu jiné, než prostory určené pro pobyt lidí. V prostorech depozitářů je čistota vzduchu důležitá z hlediska zachování vlastností uložených předmětů. Důležité jsou zejména :

- pevné částice, které mohou sloužit např. jako nositelé biologických nečistot,
- plynné nečistoty, které mohou být důvodem korozivních procesů nebo blednutí barev. [20]

Pro přehled konkrétních relevantních polutantů lze použít přehled z [15] tab. 6 a tab. 7. Jednak je důležité mít přehled o zdrojích polutantů a také o vlivu jejich vlivu na určité materiály. Na základě těchto informací je možné vhodně volit druh filtrace.

Tab. 6 - zdroje polutantů [15]

| Polutant | Venkovní zdroje | Vnitřní zdroje |
|---|---------------------------------|--|
| Oxidy dusíku (NO,NO₂) | doprava, průmysl, přírodní jevy | plynová kamna, vařiče, degradační produkty nitrocelulózy obsažené v lacích a lepidlech |
| Oxid siřičitý (SO₂) | spalování fosilních paliv | stavební materiály, barviva, vulkanizovaná guma, mikroorganismy |
| Sulfan (H₂S) | hnilobný produkt, průmysl | stavební materiál, vlna a vlákna obsahující keratin, barviva, mikroorganismy |

| | | |
|---|--|---|
| Ozón (O₃) | doprava, přírodní jevy | zdroje světla, kopírovací a skenovací zařízení, elektrické lapače hmyzu, elektrostatické výboje |
| Amoniak (NH₃), Hydroxid amonný (NH₄OH) | hnilobný produkt, průmysl, zemědělství | čisticí prostředky, hnojiva na květiny, rozkladný produkt močoviny |
| Kyselina octová, kyselina mravenčí | degradační produkty aldehydů a ketonů, průmysl, produkty kvašení, hmyz | stavební a konstrukční materiál, tvrdé dřevo, nátěry, filmové nosiče, dřevotříška, silikony |
| Acetaldehyd | zemědělství, průmysl | stavební a konstrukční materiál |
| Formaldehyd | spalování alkoholu, průmysl | stavební a konstrukční materiál, lamináty, textilní barviva |
| Prachové a aerosolové částice | spalovací motory, průmysl, doprava, pyl, zemědělství | návštěvníci, interiér, nevhodná klimatizace a větrání, cigaretový dým |

Tab. 7 - vliv polutantů na materiály [15]

| Materiál | Polutant | Druh poškození |
|----------------------------------|--|--|
| kovy obecně | chloridy, SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , ozón, organické kyseliny, aldehydy | koroze, matnění povrchu |
| měď | SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , ozón, organické kyseliny, chloridy | koroze, ztráta lesku |
| stříbro | H ₂ S, sírany, chloridy | koroze, ztráta lesku, černání povrchu |
| olovo | H ₂ S, organické kyseliny, aldehydy | koroze |
| železo | sírany, chloridy, SO ₂ , H ₂ S, ozón | koroze |
| hliník | chloridy, NH ₃ | koroze |
| fotografie | H ₂ S, NO ₂ , ozón | praskání povrchu, sulfidizace – hnědnutí, rozpad podložky |
| papír | SO ₂ , kyselé prostředí, ozón | hydrolyza, křehnutí, změna barevnosti – žloutnutí |
| pigmenty a barevné vrstvy | SO ₂ , H ₂ S, alkalické prachové částice | změna barevnosti, tmavnutí |
| ušeň | SO ₂ , ozón | křehnutí, tzv. červený rozpad |
| keramika, sklo | HCHO, kyselé polutanty, prachové částice, vodorozpustné soli | praskání, matnění, abraze |
| textil | SO ₂ , NO ₂ , kyselé polutanty, ozón | narušení vlákna, snížení pevnosti, skvrny a barevné změny |
| mineralogické sbírky | kyselé polutanty, vodorozpustné soli | výkvěty na vápenatých materiálech a jejich rozpouštění, praskání |

Katalyzátorem působení těchto polutantů je nevhodná vlhkost a teplota vzduchu. Proto je nutné tyto parametry kontrolovat a řídit společně. [20]

Pro zhodnocení kombinovaného vlivu nečistot na korozi materiálů lze použít výsledky z měření [21]. Autoři použili olověné destičky a z úbytku hmotnosti určovali míru koroze při určitých koncentracích plynů. Použitím olova simulovali skutečný vliv prostředí na exponáty, jelikož mnohé historické kovové předměty jsou vyrobeny právě s příměsí olova [21]. Z výsledků je patrné, že s rostoucí relativní vlhkostí se míra koroze zvyšuje. Nebyla nalezena korelace mezi

teplotou a mírou koroze, a to v rozmezí teplot 20 – 24 °C. Zajímavým výsledkem je souběžný vliv sirovodíku (H₂S) a organických kyselin. Autoři usuzují, že sirovodík funguje jako konzervační látka, která reakcí s povrchem vytváří vrstvu koroze, která následně chrání předmět před nebezpečnějším působením organických kyselin. Takto vysvětlují klesající míru koroze s rostoucí koncentrací sirovodíku.

Dalším měřením provedeným na území české republiky je měření [22] a [23]. V těchto měřeních bylo sledováno pět depozitářů po dobu jednoho roku. V depozitářích jsou uskladněny zejména předměty z papíru a kůže a další předměty z různých materiálů. Měření [22] je zaměřeno na plynné nečistoty a druhé [23] na prachové částice.

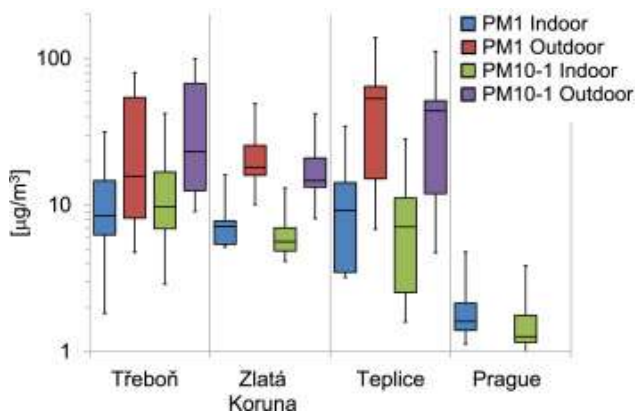
Tab. 8 - přehled měřených depozitářů [22]

| Název | Lokace | typ budovy | větrání | filtrace |
|---------------------|--------------|-----------------------|-----------|---|
| Třeboň | malá obec | 17. století (zámek) | přirozené | žádná |
| Zlatá koruna | venkov | 16. století (klášter) | přirozené | žádná |
| Teplice | Industriální | 18. století (zámek) | přirozené | žádná |
| LR in Prague | Velké město | moderní budova | nucené | filtry prachových částic |
| NV in Prague | Velké město | moderní budova | nucené | filtry prachových částic, filtry plynných částic (NO ₂ , SO ₂) |

Depozitář v Třeboni je charakteristický dále tím, že objekt není vybaven chlazením ani topením a objekt je vybaven starými netěsnými okny. Knihy jsou uloženy v dřevěných policích. Ostatní depozitáře jsou již vybaveny kovovými policemi a budovy jsou vybaveny dvojitými okny a jsou vytápěny (depozitáře v Praze i chlazeny).

Měření ukázala, že z hlediska koncentrací plynných nečistot vyhovují pouze depozitáře vybavené filtry plynných částic. Konkrétněji koncentrace oxidu dusičitého (NO₂) a oxidu siřičitého (SO₂) je ve vnitřních prostorech nižší než ve venkovních, což naznačuje absenci vnitřních zdrojů. Naopak koncentrace organických kyselin jsou vyšší ve vnitřním prostředí, jelikož materiály sbírek (papír, dřevo, kůže) uvolňují tyto látky v průběhu času. Autoři se dále věnují zvýšeným koncentracím amoniaku v prostorech novostaveb pražských depozitářů. Jako původce určily stavební materiály, jelikož v ostatních, provozem a charakterem podobných depozitářích, je tato koncentrace nízká. Amoniak byl jediný plynný prvek, který byl zachycen měřicími přístroji v prostorech ošetřených filtrem plynných částic, koncentrace ostatních nečistot se pohybovaly pod detekčním limitem.

Z hlediska prachových částic měření naznačuje absenci vnitřních zdrojů, jak naznačují výsledky měření na obr. 11. Částice menší (PM1) se ve vnitřním prostředí vyskytovaly ve výrazně větším množství než částice PM10. Vlivem filtrace jsou koncentrace výrazně sníženy. Ve všech případech byla koncentrace ve vnitřním prostředí nižší než ve venkovním. Chemické složení prachových částic bylo z velké části organického původu, poté se snižující se četností uhlík, sírany, dusičnany a další.



Obr. 11 - koncentrace prachových částic [23]

2 Charakteristika budovy

Objekt lze rozdělit do dvou celků (severní a jižní část) spojených vstupní halou. Severní část objektu se skládá z jednoho podzemního podlaží a třech podlaží nadzemních. Nachází se zde většina místností. Jižní část se skládá ze dvou nadzemních podlaží. Nachází se zde budoucí depozitáře, strojovna vzduchotechniky a několik přílehlých místností. V současnosti je objekt vyklizen a nepoužívá se. Záměrem investora je provést rekonstrukci a vytvořit ideální podmínky pro zatřídění a dlouhodobé uskladnění archeologických sbírek a navazující badatelskou a osvětovou činnost pro odbornou veřejnost.



Obr. 12 - Situační pohled (pohled z jihozápadu) - stávající stav [24]

2.1 Klimatologické údaje

Pro určení venkovních podmínek je stěžejní umístění objektu, nadmořská výška a další informace uvedené v tab. 9.

Tab. 9 - údaje o budově

| Místo stavby: | | Předklášteří, Česká republika |
|----------------------------|------|-------------------------------|
| Nadmořská výška: | | 256 m n.m. |
| Normální tlak vzduchu: | | 98,2 kPa |
| Výpočtová teplota vzduchu: | léto | +32,9 °C |
| | zima | -12,5 °C |
| Entalpie vzduchu: | léto | 64,30 kJ/kg.s.v. |
| | zima | -9,46 kJ/kg.s.v. |

Normální tlak vzduchu je určen z rovnice pro mezinárodní standardní atmosféru [25]:

$$p_{atm} = p_b \cdot \left(1 - \frac{B \cdot H}{T_o}\right)^{\frac{g}{r_s \cdot B}} = 1013,25 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot 256}{288,15}\right)^{\frac{9,81}{287 \cdot 0,0065}} = 98,2 \text{ kPa} \quad (2)$$

Jelikož v dalších výpočtech se vychází z tabulek parciálních tlaků syté páry pro normální tlak $p_b = 101\,325 \text{ Pa}$, pro následující psychrometrické výpočty bude použita tato hodnota.

Parametry venkovního vzduchu jsou vypočteny v kapitolách 3.1.4 a 3.2.4.

2.2 Popis objektu

V objektu se vyskytuje typově více druhů místností.

- Depozitáře – skladové prostory sloužící k uložení cenných archeologických a dalších sbírek v příznivém a stálém prostředí,
- edukační místnosti – prostory pro pořádání přednášek, osvětové činnosti pro širší veřejnost,
- pracovny a kanceláře,
- hygienické místnosti,
- sklady a technické místnosti.

Investorem byly zadány následující požadavky na vnitřní mikroklima:

Tab. 10 - Zadání teplot a vlhkosti

| Typ prostoru | Výpočtová zimní teplota | Požadovaná zimní teplota | Výpočtová letní teplota | Požadovaná letní teplota | Požadovaná vlhkost | Poznámka |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| Smíšené de- pozitáře | 18 | min. 15 | 23 | Max 25 | 40-60% | Změna max 1°C za 24hod |
| Depozitáře – organické sbírky | 18 | min. 15 | 23 | Max 25 | 45-60% | Změna max 1°C za 24hod |
| Depozitáře – kovy | 18 | min. 15 | 23 | Max 25 | 30-45% | Změna max 1°C za 24hod |
| Kanceláře | 20 | min. 20 | 26±2 | - | neřízená | |
| Pracovny | 20 | min. 20 | 26±2 | - | neřízená | |
| Hygienické místnosti | 20 | min. 20 | - | - | neřízená | |
| Schodiště, komunikační prostory | 18 | min. 18 | - | - | neřízená | |

Výpočtová teplota je teplota použitá pro výpočet tepelných zisků a ztrát, požadovaná teplota je teplota, která má být dodržena během provozu objektu. Je zadána jako požadavek na minimální a maximální teplotu. V objektu bude udržována výpočtová teplota, která v důsledku dynamických změn může kolísat až k uvedeným minimálním (resp. maximálním) hodnotám.

2.2.1 Místnosti depozitářů

Depozitáře jsou umístěny ve všech nadzemních podlažích.

Tab. 11 - Depozitáře

| m.č. | účel | plocha | | pokračování | |
|-------------|---------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|--------|
| [-] | [-] | [m ²] | | | |
| 1.15 | Smíšený depozitář | 69,23 | 2.09 | Smíšený depozitář | 70,88 |
| 1.24 | Smíšený depozitář | 13,57 | 2.13 | Smíšený depozitář | 135,94 |
| 1.27 | Smíšený depozitář | 135,94 | 3.05 | Smíšený depozitář | 72,08 |
| 2.05 | Smíšený depozitář | 72,08 | 3.08 | Smíšený depozitář | 45,22 |
| 2.06 | Depozitář se zvláštním klimatem | 31,61 | 3.10 | Smíšený depozitář | 34,85 |
| 2.07 | Smíšený depozitář | 53,43 | 3.11 | Smíšený depozitář | 70,88 |
| 2.08 | Depozitář se zvláštním klimatem | 34,85 | | | |

Tyto prostory budou sloužit k primárnímu účelu objektu – uskladnění sbírek. K tomuto jsou místnosti přizpůsobeny jak návrhem větrání, chlazení a vytápění, tak i stavebními úpravami. Místnosti budou bez oken (původní okna budou zazděna). Velmi pozitivním faktorem je i skutečnost, že budova je postavena z masivních stěn (obvodových i vnitřních) z cihly plné. Tyto faktory napomáhají dodržení požadavku uvedenému v poznámce v tab. 10. na maximální změnu teploty vzduchu o 1 Kelvin za dvacet čtyři hodin.

Vzhledem ke stavebním úpravám je nezbytné tyto prostory větrat nuceně tak, aby byl do místností přiváděn vzduch o požadovaných parametrech v optimálním množství. Jelikož v depozitářích je omezen pobyt lidí, je možné používat ve velké míře cirkulace. V depozitářích lze předpokládat v malé míře zátěž teplem (zejména prostup tepla stěnami) a možnou produkci vlhkosti (např. z organických sbírek), případně prachových částic. Jiné znečišťující faktory nejsou předpokládány.

Právě vlhkost je stěžejním faktorem, který musí být v místnostech kontrolován a regulován, aby nedošlo k znehodnocení artefaktů plísněmi nebo působením bakterií. Navržené rozsahy vlhkosti jsou navrženy právě tak, aby bylo zamezeno vzniku plísní a bakterií. U depozitářů pro kovy bude vlhkost nižší za účelem zamezení koroze. V tab. 11 jsou uvedeny ve sloupci účel dva typy depozitářů. Smíšený depozitář, pro který bude platit rozsah vlhkostí 40 – 60 %. Depozitář se zvláštním klimatem bude sloužit k uložení kovů (rel. vlhkost 30 – 45 %) nebo organických sbírek (rel. vlhkost 45 – 60 %). V této fázi projektu není známo, která z těchto dvou místností bude sloužit pro jaký typ materiálu. Nicméně je jisté, že v těchto místnostech budou jiné požadavky na vlhkost vzduchu.

2.2.2 Edukační místnosti

V těchto prostorech je charakter zátěže a požadovaného mikroklimatu odlišný. Je zde potřeba počítat s větším množstvím lidí a nárazovým provozem.

Jedná se o tyto místnosti umístěné v prvním nadzemním podlaží (tab. 12) :

Tab. 12 - Edukační místnosti

| m.č. | účel | počet lidí |
|-------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1.04 | EC Přednášková místnost | max. 40 návštěvníků |
| 1.05 | EC expozice | max. 30 návštěvníků |
| 1.11 | EC klidová zóna | 5 dospělých |
| 1.18 | EC edukační místnost – mokřý provoz | max. 30 návštěvníků |

V místnostech se předpokládá zátěž vlhkostí a teplem (vnitřní i vnější zdroje). Prostory odpovídají svým charakterem pobytovým prostorům bez speciálních požadavků na čistotu vzduchu.

2.2.3 Hygienické místnosti

Hygienické místnosti se nacházejí ve všech patrech budovy. V některých je součástí vybavení sprcha. Hygienické místnosti budou větrány podtlakově, objemy větracího vzduchu budou určeny dle zařizovacích předmětů v souladu s vyhláškou č. 6/2003 Sb. [7].

Seznam místností je uveden v tab. 13.

Tab. 13 - hygienické místnosti

| m. č. | účel | | |
|-------|-----------------|------|---------------------------------|
| -1.16 | WC | 1.09 | WC ženy |
| -1.17 | Sprcha | 1.10 | Úklidová komora |
| -1.18 | Úklidová komora | 2.03 | WC a úklidová komora |
| 1.07 | WC OTP | 3.03 | WC a sprcha |
| 1.08 | WC muži | 3.09 | Úklidová k. – vstup na střechnu |

2.2.4 Pracovny a badatelny

Pro větrání místností pro zaměstnance je využito otevíratelných oken - přirozeného větrání. V místnostech bez oken bude větrání zajištěno pomocí rekuperační jednotky. Toto se týká místnosti číslo -1.03 – Digitalizační pracoviště. Místnost je v podzemním patře. Seznam místností je uveden v tab. 14.

Tab. 14 - Místnosti pro zaměstnance

| m. č. | účel | | |
|-------|--------------------------|------|-----------|
| -1.03 | Digitalizační pracoviště | 2.04 | Pracovna |
| -1.12 | Pracovna | 2.10 | Pracovna |
| 1.16 | EC Pracovna | 3.04 | Pracovna |
| 1.26 | Badatelna | 3.12 | Badatelna |
| 2.02 | Digitalizační pracoviště | | |

2.2.5 Dílny

Tab. 15 - dílny

| m. č. | účel |
|-------|--------------------------|
| -1.08 | Špinavá dílna – kovy |
| -1.10 | Špinavá dílna – keramika |
| -1.11 | Čistá dílna – keramika |
| -1.13 | Čistá dílna – kovy |

Dílny se nacházejí v prvním podzemním podlaží. Z hlediska větrání je požadavek na odvod škodlivin (prach vznikající broušením vzorků, toxické výpary z chemických úprav exemplářů atd.). Objemové průtoky a požadavky na filtraci vycházejí ze zadání investora. Pro běžné větrání budou využita, obdobně jako u pracoven, otevíratelná okna. Jedná se o místnosti v tab. 14.

2.2.6 Sklady a technické místnosti

Součástí objektu je technické zázemí budovy. To bude větráno dle požadavků jednotlivých profesí, investora nebo dle závazných právních předpisů a s přihlédnutím k investičním a provozním nákladům.

Technické místnosti se nacházejí v prvním podzemním podlaží – strojovna pro chlazení a topení, strojovna vzduchotechniky, strojovna výtahu a další (tab. 16). V prvním nadzemním podlaží se nachází druhá strojovna vzduchotechniky. Odtud budou větrány depozitáře v jižní části objektu.

Tab. 16 - Technické místnosti a sklady

| m. č. | účel | | pokračování |
|-------|---------------|-------|--------------------|
| -1.04 | Serverovna | -1.21 | Záloha CBS |
| -1.05 | Strojovna VZT | 1.17 | EC sklad materiálu |

| | | | |
|-------|--------------------------------|------|--------------------|
| -1.06 | Strojovna ÚT, CHL | 1.19 | EC Sklad mobiliáře |
| -1.07 | Sklad | 1.22 | Příjem a sklad |
| -1.09 | Karanténa – sklad | 1.25 | Strojovna VZT |
| -1.14 | Strojovna hydraulického výtahu | 3.07 | Sklad |

2.3 Složení stavebních konstrukcí

Tato kapitola je zpracována jako podklad pro kapitolu 5 Energetické simulace.

Vnější obvodové stěny jsou postaveny z plných cihel. Součástí rekonstrukce je zateplení budovy vyztuženými rohožemi z minerální vaty. Stěny přilehlé k zemině jsou v některých případech vyztuženy betonovým nástřikem. Vnitřní příčky jsou buď původní, z cihly plné, nebo nové z porobetonu. Podlahy jsou tvořeny železobetonovými deskami. Střecha bude nově zaizolována. Původní konstrukce střechy bude ponechána a překryta vrstvou polystyrenu a hydroizolace.

Okna budou dvojitá, opatřená vnějšími světlými žaluziemi. Výplně otvorů nebyly více specifikovány. Proto pro další výpočty bude uvažováno s doporučenými hodnotami součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2 [30].

Podrobně jsou jednotlivé konstrukce popsány v příloze 1.

2.3.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí

Z tepelně izolačního hlediska jsou u daných konstrukcí důležité jen některé části. Tyto jsou zapracovány ve výpočtu tepelně technických vlastností konstrukcí dle vzorce:

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3)$$

Kde na základě normy ČSN 73 0548 [31] je voleno :

$$\text{Součinitel přestupu tepla ve vnitřním prostoru:} \quad \alpha_i = 8 \frac{W}{m^2 K} \quad (4)$$

$$\text{Součinitel přestupu tepla ve vnitřním prostoru:} \quad \alpha_e = 15 \frac{W}{m^2 K} \quad (5)$$

Hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce, včetně výplní otvorů jsou uvedeny v příloze 2. Pro výpočet tepelně technických vlastností byly uvažovány pouze z tohoto hlediska relevantní materiály. Proto nejsou v tab. 17 uvedeny hydroizolace a další tenké vrstvy, které neovlivňují výsledné tepelně-izolační vlastnosti konstrukcí.

Použité hodnoty součinitelů tepelné vodivosti jsou :

Tab. 17 - Tepelně technické vlastnosti [32]

| Materiál | Součinitel tepelné vodivosti | Měrná tepelná kapacita | Hustota |
|-----------------|------------------------------|------------------------|------------|
| | λ | c | ρ |
| | $[W/m \cdot K]$ | $[J/kg \cdot K]$ | $[kg/m^3]$ |
| Cihla plná [34] | 0,8 | 900 | 1900 |
| Minerální vata | 0,039 | 880 | 100 |

| | | | |
|----------------------------------|-------|------|-------|
| Vápenná omítka | 0,87 | 840 | 1600 |
| Železobetonové desky | 1,58 | 1020 | 2400 |
| Beton hutný | 1,3 | 1020 | 2200 |
| Polystyrenové desky | 0,037 | 1270 | 50 |
| Dřevocementové desky [34] | 0,09 | - | 112,5 |
| Extrudovaný polystyren | 0,034 | 2060 | 30 |
| Cementový potěr, cementová malta | 1,16 | 840 | 2000 |
| Experlitový násyp [35] | 0,1 | - | - |
| Vápenocementová omítka | 0,97 | 840 | 1850 |
| Štěrka | 0,93 | 840 | 1650 |
| Sádrokarton | 0,22 | 1060 | 750 |
| Silikonsilikátová omítka | 0,1 | 850 | 250 |
| Porobetonové tvárnice | 0,21 | 840 | 580 |

3 Řešení větrání

Projekt větrání se zabývá zajištěním požadovaných parametrů intenzity výměny a čistoty vzduchu. Hlavními zařízeními jsou vzduchotechnické jednotky větrající depozitáře (zařízení číslo 1 a 2, dále v textu odkazováno jako z. č. 1, 2) a jednotka pro větrání edukačních místností (z. č. 5). Dále jsou součástí projektu mnohé menší zařízení (tab. 18).

Tab. 18 - přehled zařízení

| zařízení číslo | účel | popis |
|----------------|-----------------------------------|---|
| 1.01, 1.02 | větrání depozitářů – severní část | vzduchotechnická jednotka, parní zvlhčovač |
| 2.01, 2.02 | větrání depozitářů – jižní část | vzduchotechnická jednotka, parní zvlhčovač |
| 3.01 – 3.05 | odplynění depozitářů | nástěnné odvodní ventilátory – podtlakové |
| 4.01, 4.02 | lokální úprava vlhkosti | mobilní zvlhčovače a odvlhčovače vzduchu |
| 5.01 | větrání edukačních místností | vzduchotechnická jednotka |
| 6.01 | větrání kanceláře | rekuperační jednotka |
| 7.01 | dveřní clona | elektrický příkon 19 kW |
| 8.01 – 8.06 | hygienické zázemí | odvodní potrubní ventilátory |
| 9.01 | větrání čajové kuchyňky | radiální ventilátor – odvod vzduchu |
| 10.01 – 10.06 | větrání technických místností | odvodní potrubní ventilátory |
| 11.01 | digestoře – dílny | společný nástřešní ventilátor |
| 12.01 | chlazení serverovny | venkovní split jednotka na střeše |
| 13.01 | skříňová digestoř | příprava potrubních rozvodů pro napojení |
| 14.01 | větrání výtahové šachty | Přirozené větrání o celkové ploše rovné 1 % půdorysné plochy výtahové šachty. Vychází se z vyhlášky č. 268/2009 Sb. [4], kde je obecný požadavek – „Výtahová šachta musí být dostatečně větrána do prostoru mimo budovu“. |

Uvedené číslování odpovídá číslování ve výkresech, které jsou přiloženy v samostatných deskách – výkresová dokumentace. Názorné schémata všech zařízení jsou uvedena v příloze 3. Taktéž přehledná tabulka výkonů je přiložena jako příloha 4. Informace a výkonech pro chlazení, ohřev a vlhčení vzduchu u zařízení číslo 1, 2 a 5 jsou uvedeny přesně dle vypočtených hodnot v kapitolách 3.1.4 a 3.2.4. Je doporučeno použít zařízení s vyššími maximálními výkony, aby byl zajištěn provoz zařízení i během případných extrémních provozních stavů nebo jiných neočekávaných událostech. Tlakové ztráty výměníků na straně vody jsou odhadnuty.

Všechna zařízení byla navržena v souladu s **požárními** a **hlukovými** požadavky. Z hlediska požární bezpečnosti jsou dodržovány následující požadavky, vycházející z normy ČSN 73 0872 [36], která je vyhláškou č. 246/2001 Sb. [37] povýšena na právně závaznou normu.

- Prostupy procházející hranicí požárního úseku jsou izolovány požárními ucpávkami.
- Elektrická zařízení, vyústky a další potrubní elementy jsou umístěny minimálně 500 mm od hranice požárního úseku.

- Potrubí nad průřez $0,04 \text{ m}^2$ je při průchodu požárně dělicí konstrukcí opatřeno požární klapkou.
 - Požární klapka je umístěna v konstrukci,
 - nebo mimo požární konstrukci

Požární klapky jsou umístěny mimo dělicí konstrukce buď z prostorových důvodů – přístup pro servis, nebo z důvodu překročení povolené plochy otvorů a nedodržení rozestupů mezi jednotlivými prostupy. Potrubí je požárně izolováno v celé délce mezi stěnou a požární klapkou.

Z hlediska hlukových parametrů jsou používány buňkové tlumiče hluku nebo kruhové tlumiče hluku (pro menší zařízení), tak, aby nedošlo k překročení povolených hlukových limitů dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [38].

V následujících kapitolách jsou blíže popsány vzduchotechnické zařízení z hlediska principu funkce a hlavních parametrů pro provoz.

3.1 Větrání depozitářů

Pro větrání depozitářů je použito dvou vzduchotechnických jednotek. Jedna pro zajištění větrání v severní části objektu a druhá v jižní části. Zařízení číslo 1 (severní část budovy¹) je umístěno ve strojovně VZT v 1. PP. Bilance průtoků vzduchu je následující.

Tab. 19 - Bilance depozitářů

| Číslo místnosti | výměna vzduchu | provoz |
|-------------------------|------------------------------------|--|
| - | m^3/h | - |
| Zařízení číslo 1 | VZT jednotka – severní část | |
| 1.15 | 330 | nepřetržitý |
| 2.05 | 330 | nepřetržitý |
| 2.06 | 170 | přerušovaný |
| 2.07 | 250 | nepřetržitý |
| 2.08 | 170 | přerušovaný |
| 2.09 | 330 | nepřetržitý |
| 3.05 | 360 | nepřetržitý |
| 3.08 | 230 | nepřetržitý |
| 3.10 | 180 | nepřetržitý |
| 3.11 | 330 | nepřetržitý |
| Zařízení číslo 2 | VZT jednotka – jižní část | |
| 1.24 | 70 | nepřetržitý |
| 1.27 | 590 | nepřetržitý |
| 2.13 | 590 | nepřetržitý |
| Zařízení číslo 1 | Celkem: | 2680 m^3/h |
| Zařízení číslo 2 | Celkem: | 1250 m^3/h |

V tab. 19 jsou uvedeny dva depozitáře s přerušovaným provozem. Jedná se o depozitáře se zvláštním klimatem (popsáno v kapitole 2.2.1). K zajištění odlišné relativní vlhkosti by mohla být použita samostatná vzduchotechnická jednotka. To však není vhodné řešení z více důvodů.

- Komplikace při umístění další VZT jednotky ve strojovně,

¹ Severní část objektu je na výkresech v dolní části (viz severka). Výkresy jsou orientovány dle dispozice budovy.

- Investičně náročné – samostatná VZT jednotka i potrubní rozvody.

Z těchto důvodů jsou použity lokální parní zvlhčovače a sorpční odvlhčovače umístěné přímo v místnostech. Tyto zařízení jsou napojeny na přívod demineralizované vody (parní zvlhčovač) a odvod kondenzátu (odvlhčovač). Pro zajištění stabilního prostředí je přívodní a odvodní potrubí vybaveno regulační klapkou ovládanou servopohonem. Frekvence otevírání je nastavena na přibližně 10 min za hodinu. Tímto je docíleno rozdílných parametrů prostředí, při snížené intenzitě výměny vzduchu a vyšších požadavcích na regulaci (čidla v místnostech, řízení lokálních zařízení).

3.1.1 Objemy vzduchu

Výměna vzduchu je volena na základě intenzity větrání. Ta je volena na 1,5násobnou výměnu za hodinu. Jedná se o kompromis mezi nákladností provozu a kvalitou vytvářeného prostředí. Množství čerstvého vzduchu je navrženo na 10 % celkového objemu s možností snížení podílu na 5 %. Zbylá část je cirkulační vzduch.

Takto volená intenzita celkové výměny odpovídá doporučením uvedeným v [15]. Metodický návod doporučuje i intenzitu výměny čerstvého vzduchu.

- 1násobná – 2násobná výměna čerstvého vzduchu za 24 hodin,
- maximálně 3násobná celková výměna vzduchu za hodinu.

Při použití 10 % čerstvého vzduchu dosáhneme 0,15násobné výměny čerstvého vzduchu za hodinu. Tomu odpovídá 3,6násobná výměna za 24 hodin. Při snížení podílu na 5 %, vyjde 1,8násobná výměna. Ta již splňuje doporučený rozsah.

3.1.2 Distribuce vzduchu v místnosti

Pro zajištění optimálních podmínek z hlediska provětrání místnosti a rozložení rychlostí je volen přívod vzduchu textilními vyústkami. Vyústky jsou ve spodní části povrchu perforovány (mikro-perforace). Celková perforovaná plocha je 50 % plochy vyústky. K regulaci průtoku vzduchu jsou použity regulační klapky před textilními vyústkami, kterými bude regulován přetlak. Prodyšnost vyústky je $55 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ při přetlaku 120 Pa. Situace je poměrně složitá, jelikož délky i průměry vyústek se liší a nekorelují s množstvím přiváděného vzduchu. Zejména délky některých vyústek závisí na prostorových možnostech depozitářů. Pro správné nastavení průtoku bude tedy nutná regulace přivřením klapky při uvedení do provozu. Textilní vyústka je v antibakteriálním provedení (dle ČSN EN ISO 20645 [39]). Na obr. 14 jsou uvedeny různé druhy perforace. V projektu je volena směrová mikro-perforace (typ B).

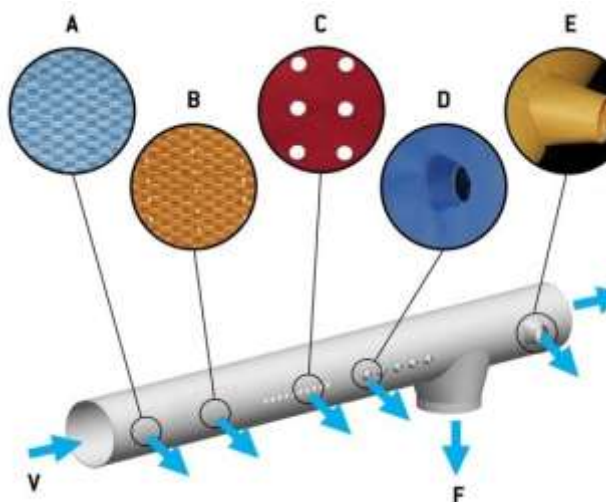
Odvod vzduchu je s ohledem na minimalizaci potrubních rozvodů uvnitř prostoru realizován pomocí jednobodového odvodu jednořadou vyústkou do kruhového potrubí. Součástí požadavků investora bylo umožnění odvodu vzduchu od stropu i od podlahy, aby bylo možné odvádět případné znečištění plyny těžšími než vzduch. Rychlost vzduchu v efektivním průřezu je navržena na 2,5 m/s. Odvod vzduchu je přepínán manuálně, regulačními klapkami.

Toto rozložení přívodních a odvodních elementů je v kapitole 4 zhodnoceno za pomoci CFD simulace.

Depozitáře budou vždy po uskladnění nových exemplářů zakonzervovány. Budou použity plyny k zahubení veškerých zárodků plísní a bakterií. K následnému odvodu plynů jsou použity radiální nástěnné ventilátory. Vzduch je odváděn na střechu objektu. Vzhledem k frekvenci těchto úkonů nejsou navrženy filtry vzduchu. Pořízení filtrů plyných nečistot by bylo drahé a po dobu jejich životnosti by byly použity jen několikrát. Z hygienického hlediska nejsou vyžadovány.



Obr. 13 - obdélníková vyústka do kruhového potrubí, jednořadá [40]



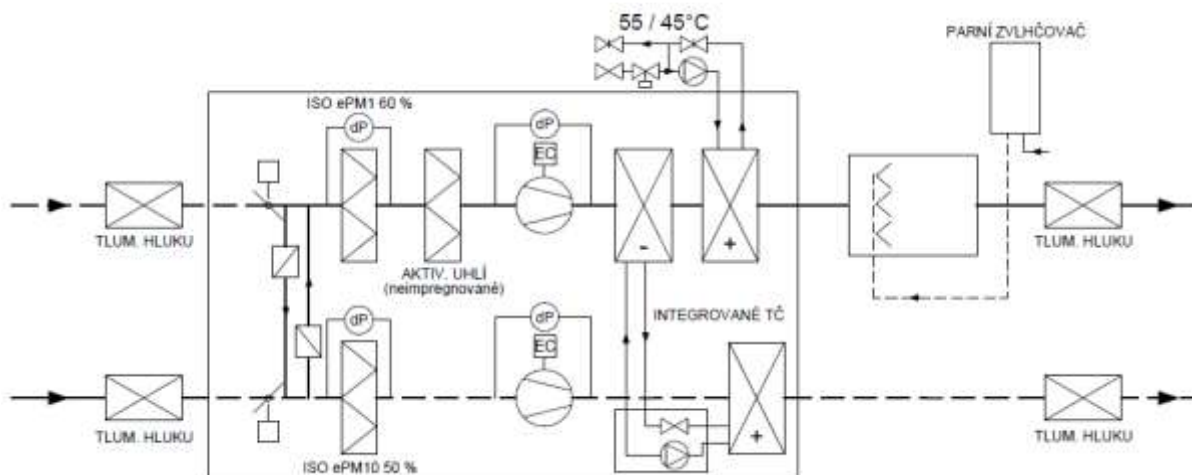
Obr. 14 - textilní vyústka - druhy perforace [41]
A – laminární tkanina, B – mikroperforace, C – perforace, D, E – malá/velká tryska

3.1.3 Složení vzduchotechnické jednotky

VZT jednotka se skládá ze dvou okruhů vzduchu. Cirkulační okruh odvod – přívod a venkovní okruh sání – výfuk. Tyto okruhy jsou propojeny směšovací komorou. Složení VZT jednotky ve směru proudění vzduchu je popsáno v následujícím textu.

Výkonnostní a jiné charakteristiky (průtoky vody, teplota vypařování chladiva, obtokové součinitele, návrhové výkony) jednotlivých částí jsou vypočteny v kapitole 3.1.4. Filtry jsou vybaveny snímači tlakové diference.

Graficky je vzduchotechnická jednotka zobrazena na obr. 15. V následujícím textu jsou uvedeny jednotlivé části vzduchotechnické jednotky s podrobnějším popisem.



Obr. 15 - schéma zařízení - větrání depozitářů

Cirkulační obvod: odvod – přívod

- **směšovací komora**

Pomocí klapky ovládané servopohonem je zajištěno přimíchání 5 % - 10 % čerstvého vzduchu do objemu cirkulačního vzduchu. Stejný objem cirkulačního vzduchu je odváděn do venkovního vzduchu.

- **filtr pro jemný prach**

Je zvolen filtr třídy F7 (dle již neplatného značení). Dle nového značení vyhovuje například filtr ISO ePM₁ 60 %. Volená třída filtru je kompromisem mezi provozními náklady a čistotou cirkulujícího vzduchu. Filtr vyhovuje minimálním požadavkům na čistotu vzduchu uvedenou v [15]. Filtr je opatřen snímačem tlakové diference a při překročení stanoveného limitu bude vyžadována výměna.

- **filtr plynných nečistot**

Následuje filtr plynných nečistot na bázi aktivního uhlí - neimpregnované aktivní uhlí. V případě zvýšené koncentrace určitého druhu plynných nečistot v průběhu provozu je možné filtr vyměnit za aktivní uhlí s konkrétní impregnační dle tab. 5.

- **ventilátor**

Třífázový EC ventilátor s frekvenčním měničem s parametry :

Tab. 20 - z. č. 1, 2 - parametry ventilátoru, vnitřní okruh

| | zařízení číslo 1 | zařízení číslo 2 |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| objem vzduchu | 2680 m ³ /h | 1250 m ³ /h |
| tlaková ztráta | 879 Pa | 604 Pa |
| účinnost | 60 % | 60 % |
| elektrický příkon | 1091 W | 350 W |

Při určování tlakové ztráty systému vyvstává mnoho otázek. Ventilátor musí pokrýt tlakové ztráty ve VZT jednotce – filtry a výměníky. Tyto vnitřní tlakové ztráty lze pouze odhadovat. Skutečné parametry jednotlivých součástí se mohou lišit. Taktéž výpočet externích tlakových

ztrát je zatížen určitými zjednodušeními a nejistotami, které jsou popsány blíže v kapitole 3.3. Tlakové ztráty jsou odhadnuty následovně :

Tab. 21 - z. č. 1, 2 - tlakové ztráty, vnitřní okruh

| | zařízení číslo 1 | zařízení číslo 2 |
|---------------------------------|------------------|------------------|
| filtr ISO ePM ₁ 50 % | 136 Pa | 130 Pa |
| aktivní uhlí | 166 Pa | 141 Pa |
| výparník | 127 P | 47 P |
| vodní ohřivač | 44 Pa | 35 Pa |
| potrubí - odvod | 189,0 Pa | 87,6 Pa |
| potrubí - přívod | 216,9 Pa | 163,4 Pa |
| celkem | 405,9 Pa | 251,0 Pa |

Účinnost ventilátoru je opět odhadnuta, pro příkon ventilátoru prvního zařízení platí [42] :

$$P_p = \frac{P}{\eta_c} = \frac{\dot{V}}{\eta_c} \cdot \Delta p = \frac{2680}{3600} \cdot 879 = 1091 \text{ W} \quad (6)$$

- **integrované tepelné čerpadlo – výparník**

Pro zajištění chlazení vzduchu je použito integrované tepelné čerpadlo. Ohřev vzduchu bude realizován pomocí vodního ohřivače. Kompresor je umístěn v okruhu venkovního vzduchu. Při potřebě odvlhčení nebo chlazení bude přívodní vzduch chlazen výparníkem. Ve venkovním okruhu se nachází kondenzátor, který bude chlazen venkovním vzduchem. Objemový tok venkovním okruhem bude řízen na základě aktuálního požadavku výkonu tepelného čerpadla. Průtok je řízen v rozmezí od 268 m³/h (resp. 125 m³/h pro zařízení číslo 2), pro stav bez potřeby chlazení, do 3500 m³/h (resp. 2500 m³/h) při maximálním výkonu tepelného čerpadla. Regulace výkonu chladiče bude plynulá pomocí změny průtoku chladiva. Rozmezí regulace výkonu by mělo být co nejširší

- **vodní ohřivač**

Ohřivač je navržen na teplotní spád 55/45 °C. Ohřev vzduchu bude realizován pouze vodním ohřivačem.

- **odporový parní zvlhčovač**

Parní zvlhčovač je umístěn mimo vzduchotechnickou jednotku. Zařízení se skládá z vyvíječe páry, umístěného ve strojovně VZT, zvlhčovací komory s mříží pro distribuci páry a potrubí pro vedení páry. Zařízení bude pracovat s demineralizovanou vodou. Komora, nebo úsek potrubí, se zvlhčovačem bude vybaven napojením na kanalizaci pro odvod kondenzátu.

Parní vlhčení je zvoleno, jelikož zásadně neovlivňuje teplotu vzduchu, může tedy být umístěno za jednotkou. Výhodou je i rychlejší absorpce páry ve vzduchu, jelikož za zvlhčovačem je pouze 1,5 m rovného potrubí. Hlavní výhodou je však absence vodní hladiny v kontaktu s přiváděným vzduchem. Ve zvlhčovačích s jiným principem funkce by mohlo dojít ke kontaminaci proudu vzduchu bakteriemi nebo plísní.

Venkovní obvod: sání – výfuk

Tento okruh vzduchu slouží jednak pro přívod čerstvého vzduchu do cirkulačního a pro provoz kompresorového okruhu.

- Směšovací komora
- filtr prachových částic

Filtr je navržen třídy M5 (dle již neplatného značení). Dle nového značení vyhovuje například filtr ISO ePM₁₀ 50 %. Filtr slouží zejména k ochraně ventilátoru a kondenzátoru před zanášením a abrazí. Filtr je opatřen snímačem tlakové diference a při překročení stanoveného limitu bude vyžadována výměna.

- Ventilátor

Třífázový EC ventilátor s frekvenčním měničem s parametry :

Tab. 22 - z. č. 1, 2 - parametry ventilátoru, venkovní okruh

| | zařízení číslo | zařízení číslo 2 |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| objem vzduchu | 3500 m ³ /h | 2500 m ³ /h |
| tlaková ztráta | 555 Pa | 332 Pa |
| účinnost | 60 % | 60 % |
| elektrický příkon | 899 W | 384 W |

Tab. 23 - z. č. 1, 2 – interní tlakové ztráty, venkovní okruh

| | zařízení číslo 1 | zařízení číslo 2 |
|----------------------------------|------------------|------------------|
| filtr ISO ePM ₁₀ 50 % | 151 Pa | 142 Pa |
| kondenzátor | 127 Pa | 47 Pa |
| sání | 139,2 Pa | 78,9 Pa |
| výfuk | 37,9 Pa | 64,1 Pa |
| celkem | 555 Pa | 332 Pa |

- integrované tepelné čerpadlo – kondenzátor

3.1.4 Nároky na ohřev a chlazení

Pro výpočet energetické náročnosti je uvažováno se zimním a letním extrémem. Hodnoty jsou určeny na základě článku [43]. Zde jsou uvedeny teploty a entalpie vzduchu pro letní období a teploty vzduchu pro zimní (uvažováno se 100 % relativní vlhkostí) v závislosti na kumulativní četnosti výskytu. Hodnoty byly měřeny v letech 1985 až 2014 v celkem 35 lokalitách v ČR.

| | Teplé období roku | | | Chladné období roku | |
|--|-------------------|------|------|---------------------|-------|
| | 99,6 % | 99 % | 98 % | 0,4 % | 1 % |
| Percentil (procento výskytu) | | | | | |
| Teplota venkovního vzduchu (°C) | 34,3 | 32,9 | 31,8 | -14,8 | -12,5 |
| Entalpie venkovního vzduchu (kJ/kg s.v.) | 67,5 | 64,3 | 62,3 | - | - |
| Absolutní extrémy | Maximum | | | Minimum | |
| Teplota venkovního vzduchu (°C) | 35,8 | | | -20,2 | |
| Entalpie venkovního vzduchu (kJ/kg s.v.) | 74,2 | | | -18,9 | |

Obr. 16 - návrhové stavy vzduchu dle percentilu [43]

Na základě doporučení pro prostory s kontrolovanou relativní vlhkostí je volen percentil 99 % pro letní období a 1 % pro zimní období [43]. V teplém období roku budou návrhové parametry překročeny po 134 hodin a v zimním pro 313 hodin [43].

Tab. 24 – parametry venkovního vzduchu - deponitáře

| Zimní období | značení | jednotka | hodnota |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------|---------|
| teplota vzduchu | $t_{e,z}$ | [°C] | -12,5 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{e,z}$ | [%] | 100 |
| měrná vlhkost | $x_{e,z}$ | [g/kg _{s.v.}] | 1,28 |
| entalpie vzduchu | $h_{e,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | -9,46 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,e,z}$ | [Pa] | 207,9 |
| Letní období | | | |
| teplota vzduchu | $t_{e,l}$ | [°C] | 32,9 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{e,l}$ | [%] | 38,7 |
| měrná vlhkost | $x_{e,l}$ | [g/kg _{s.v.}] | 12,13 |
| entalpie vzduchu | $h_{e,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | 64,30 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,e,l}$ | [Pa] | 5007,5 |

Pro dopočty parametrů a průtoků vzduchu jsou použity obecně známé vzorce uvedené například v [25] nebo [29].

$$h = 1,01 \cdot t + x \cdot (2500 + 1,84 \cdot t) \quad (7)$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p''_p}{p_b - \varphi \cdot p''_p} \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{p_b}{p''_p} \cdot \frac{x}{0,622 + x} \quad (9)$$

$$r = \frac{r_v + x \cdot r_p}{1 + x} \quad (10)$$

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{m}}{1 + x} \quad (11)$$

Parciální tlak syté páry pro teplotu je určen pomocí lineární interpolace tabulkových hodnot [25].

$$\begin{aligned} p''_{p,e,z} &= p''_{p(t=-13)} + (t_{-12} - t_{-12,5}) \cdot \frac{p''_{p(t=-12)} - p''_{p(t=-13)}}{t_{-12} - t_{-13}} = \\ &= 198,5 + (-12 - (-12,5)) \cdot \frac{217,3 - 198,5}{-12 - (-13)} = 207,9 \text{ Pa} \end{aligned} \quad (12)$$

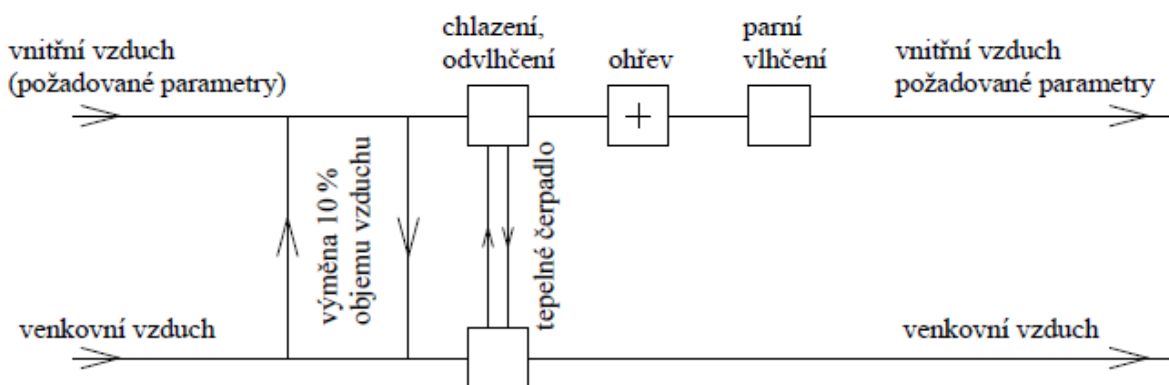
Jako vnitřní stav vzduchu jsou uvažovány výpočtové teploty uvedené v tab. 10 - pro zimní období 18 °C a pro letní 23 °C. Relativní vlhkost vnitřního vzduchu bude pro výpočet uvažována 50 %.

Tab. 25 - parametry vnitřního vzduchu

| zimní období | značení | jednotka | hodnota |
|----------------|-----------|----------|---------|
| teplota | $t_{i,z}$ | [°C] | 18 |

| | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------|--------|
| relativní vlhkost | $\varphi_{i,z}$ | [%] | 50 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,i,z}$ | [Pa] | 2064,7 |
| měrná vlhkost | $x_{i,z}$ | [g/ kg _{s.v.}] | 6,40 |
| entalpie | $h_{i,z}$ | [kJ/ kg _{s.v.}] | 34,39 |
| letní období | | | |
| teplota | $t_{i,l}$ | [°C] | 23 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{i,l}$ | [%] | 50 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,i,l}$ | [Pa] | 2811,1 |
| měrná vlhkost | $x_{i,l}$ | [g/ kg _{s.v.}] | 8,75 |
| entalpie | $h_{i,l}$ | [kJ/ kg _{s.v.}] | 45,48 |

Do cirkulačního vzduchu bude přimícháváno 10 % venkovního. Směs bude chlazená, ohřívána a vlhčena dle potřeby. Odvlhčení bude realizováno pomocí chladiče s nízkou povrchovou teplotou.



Obr. 17 - Ideové schéma úprav vzduchu - deponitáře

Pro zjištění hmotnostních toků vzduchu lze využít návrhové hodnoty objemových průtoků při známých parametrech vnitřního vzduchu. Hmotnostní toky se budou lišit v zimním a v letním období.

Tab. 26 - průtoky vzduchu - zařízení číslo 1

| zařízení číslo 1 | značení | jednotka | hodnota |
|--|----------------|---------------------|---------|
| průtok vzduchu – vnitřní okruh | \dot{V}_{i1} | [m ³ /h] | 2680 |
| průtok vzduchu – venkovní okruh | \dot{V}_{e1} | [m ³ /h] | 3500 |
| průtok vzduchu – směšování | \dot{V}_{s1} | [m ³ /h] | 268 |
| zařízení číslo 2 | | | |
| průtok vzduchu – vnitřní okruh | \dot{V}_{i2} | [m ³ /h] | 1250 |
| průtok vzduchu – venkovní okruh | \dot{V}_{e2} | [m ³ /h] | 2500 |
| průtok vzduchu – směšování | \dot{V}_{s2} | [m ³ /h] | 125 |

Výpočet hmotnostních průtoků ze stavové rovnice. Plynová konstanta je určena přesně, dle stavu vlhkého vzduchu [29]. Pro přesné výpočty je nutné ještě stanovit hmotnostní tok suchého vzduchu.

Zimní provoz :

$$r_{s,z} = \frac{r_v + x_{i,z} \cdot r_p}{1 + x_{i,z}} = \frac{287,11 + 6,4 \cdot 10^{-3} \cdot 461,5}{1 + 6,4 \cdot 10^{-3}} = 288,22 \frac{J}{kg \cdot K} \quad (13)$$

$$\dot{m}_{i,z,1}^v = \frac{\dot{V}_{i1} \cdot p_b}{r_{s,z} \cdot T_{i,z}} = \frac{2680 \cdot 101325}{288,22 \cdot 291,15} = 3236,0 \frac{kg}{h} \quad (14)$$

$$\dot{m}_{i,z,1}^s = \frac{\dot{m}_{i,z,1}^v}{1 + x_{i,z}} = \frac{3236,0}{1 + 6,40 \cdot 10^{-3}} = 3215,4 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (15)$$

$$\dot{m}_{s,z,1}^v = \frac{\dot{V}_{s1} \cdot p_b}{r_{s,z} \cdot T_{i,z}} = \frac{268 \cdot 101325}{288,22 \cdot 291,15} = 323,6 \frac{kg}{h} \quad (16)$$

$$\dot{m}_{s,z,1}^s = \frac{\dot{m}_{s,z,1}^v}{1 + x_{i,z}} = \frac{323,6}{1 + 6,40 \cdot 10^{-3}} = 321,5 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{i,z,2}^v = \frac{\dot{V}_{i2} \cdot p_b}{r_{s,z} \cdot T_{i,z}} = \frac{1250 \cdot 101325}{288,22 \cdot 291,15} = 1509,3 \frac{kg}{h} \quad (18)$$

$$\dot{m}_{i,z,2}^s = \frac{\dot{m}_{i,z,2}^v}{1 + x_{i,z}} = \frac{1509,3}{1 + 6,40 \cdot 10^{-3}} = 1499,7 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (19)$$

$$\dot{m}_{s,z,2}^v = \frac{\dot{V}_{s2} \cdot p_b}{r_{s,z} \cdot T_{i,z}} = \frac{125 \cdot 101325}{288,22 \cdot 291,15} = 150,9 \frac{kg}{h} \quad (20)$$

$$\dot{m}_{s,z,2}^s = \frac{\dot{m}_{s,z,2}^v}{1 + x_{i,z}} = \frac{150,9}{1 + 6,40 \cdot 10^{-3}} = 150,0 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (21)$$

Letní provoz :

$$r_{s,l} = \frac{r_v + x_{i,l} \cdot r_p}{1 + x_{i,l}} = \frac{287,11 + 8,75 \cdot 10^{-3} \cdot 461,5}{1 + 8,75 \cdot 10^{-3}} = 288,62 \frac{J}{kg \cdot K} \quad (22)$$

$$\dot{m}_{i,l,1}^v = \frac{\dot{V}_{i1} \cdot p_b}{r_{s,l} \cdot T_{i,l}} = \frac{2680 \cdot 101325}{288,62 \cdot 296,15} = 3177,0 \frac{kg}{h} \quad (23)$$

$$\dot{m}_{i,l,1}^s = \frac{\dot{m}_{i,l,1}^v}{1 + x_{i,l}} = \frac{3177,0}{1 + 8,75 \cdot 10^{-3}} = 3149,4 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (24)$$

$$\dot{m}_{s,l,1}^v = \frac{\dot{V}_{s1} \cdot p_b}{r_{s,l} \cdot T_{i,l}} = \frac{268 \cdot 101325}{288,62 \cdot 296,15} = 317,7 \frac{kg}{h} \quad (25)$$

$$\dot{m}_{s,l,1}^s = \frac{\dot{m}_{s,l,1}^v}{1 + x_{i,l}} = \frac{317,7}{1 + 8,75 \cdot 10^{-3}} = 314,9 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (26)$$

$$\dot{m}_{i,l,2}^v = \frac{\dot{V}_{i,2} \cdot p_b}{r_{s,l} \cdot T_{i,l}} = \frac{1250 \cdot 101325}{288,62 \cdot 296,15} = 1481,8 \frac{kg}{h} \quad (27)$$

$$\dot{m}_{i,l,2}^s = \frac{\dot{m}_{i,l,2}^v}{1 + x_{i,l}} = \frac{1481,8}{1 + 8,75 \cdot 10^{-3}} = 1468,9 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (28)$$

$$\dot{m}_{s,l,2}^v = \frac{\dot{V}_{s,2} \cdot p_b}{r_{s,z} \cdot T_{i,z}} = \frac{125 \cdot 101325}{288,62 \cdot 296,15} = 148,2 \frac{kg}{h} \quad (29)$$

$$\dot{m}_{s,l,2}^s = \frac{\dot{m}_{s,l,2}^v}{1 + x_{i,l}} = \frac{148,2}{1 + 8,75 \cdot 10^{-3}} = 146,9 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (30)$$

Zimní provoz, zařízení 1:

Směšování, rovnice jsou čerpány z [25]. Výpočty jsou provedeny s použitím hmotnostních toků.

$$t_{s,z} = \frac{t_{e,z} \cdot \dot{m}_{s,z,1}^s + t_{i,z} \cdot (\dot{m}_{i,z,1}^s - \dot{m}_{s,z,1}^s)}{\dot{m}_{i,z,1}^s} =$$

$$= \frac{-12,5 \cdot 321,5 + 18 \cdot (3215,4 - 321,5)}{3215,4} = 14,95 \text{ °C} \quad (31)$$

$$h_{s,z} = \frac{h_{e,z} \cdot \dot{m}_{s,z,1}^s + h_{i,z} \cdot (\dot{m}_{i,z,1}^s - \dot{m}_{s,z,1}^s)}{\dot{m}_{i,z,1}^s} =$$

$$= \frac{-9,46 \cdot 321,5 + 34,39 \cdot (3215,4 - 321,5)}{3215,4} = 30,01 \frac{kJ}{kg_{s.v.}} \quad (32)$$

$$x_{s,z} = \frac{x_{e,z} \cdot \dot{m}_{s,z,1}^s + x_{i,z} \cdot (\dot{m}_{i,z,1}^s - \dot{m}_{s,z,1}^s)}{\dot{m}_{i,z,1}^s} =$$

$$= \frac{1,28 \cdot 321,5 + 6,40 \cdot (3215,4 - 321,5)}{3215,4} = 5,89 \frac{g}{kg_{s.v.}} \quad (33)$$

Ohřev vzduchu je realizován vodním ohřívačem. Účelem následujících výpočtů je určit výkon potřebný pro ohřev. Z tohoto důvodu je dostačující znát rozdíl entalpií vzduchu před a za ohřívačem.

$$h_{o,z} = 1,01 \cdot t_{i,z} + (2500 + 1,84 \cdot t_{i,z}) \cdot x_{s,z} =$$

$$= 1,01 \cdot 18 + (2500 + 1,84 \cdot 18) \cdot 5,89 \cdot 10^{-3} = 33,10 \frac{kJ}{kg_{s.v.}} \quad (34)$$

Poté je výkon potřebný k ohřevu následující.

$$\dot{Q}_{o,z,1} = \frac{\dot{m}_{i,z,1}^s}{3600} \cdot (h_{o,z} - h_{s,z}) = \frac{3215,4}{3600} \cdot (33,10 - 30,01) = 2,76 \text{ kW} \quad (35)$$

Ohřátý vzduch je potřeba vlhčit na požadovanou relativní, resp. měrnou vlhkost. K vlhčení je použita sytá pára při atmosférickém tlaku. Tomu odpovídá dle [29] hodnota entalpie:

$$h_p = 2675 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{s.v.}} \quad (36)$$

Opět nás zajímá potřebné množství páry. K tomu jsou použity rovnice tepelné a vlhkostní bilance [1].

$$\dot{m} \cdot h + \dot{m}_p \cdot h_p = \dot{m}_{smes} \cdot h_{smes} \quad (37)$$

$$\dot{m} \cdot x + \dot{m}_p = \dot{m}_{smes} \cdot x_{smes} \quad (38)$$

Použity pro konkrétní případ:

$$\dot{m}_{p,1} = \dot{m}_{i,z,1}^s \cdot (x_{i,z} - x_{s,z}) = 3215,4 \cdot (6,40 - 5,89) = 1640 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 1,640 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (39)$$

$$h'_{i,z} = \frac{\dot{m}_{i,z,1}^s \cdot h_{o,z} + \dot{m}_{p,1} \cdot h_p}{\dot{m}_{i,z,1}^s} = \frac{3215,4 \cdot 33,10 + 1,640 \cdot 2675}{3215,4} = 34,46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{s.v.}} \quad (40)$$

Této entalpii odpovídá teplota.

$$t'_i = \frac{h'_{i,z} - 2500 \cdot x_{i,z}}{1,01 + 1,84 \cdot x_{i,z}} = \frac{34,46 - 2500 \cdot 6,40 \cdot 10^{-3}}{1,01 + 1,84 \cdot 6,40 \cdot 10^{-3}} = 18,07 \text{ °C} \quad (41)$$

Do místností tedy přivádíme vlivem vlhčení sytá parou mírně teplejší vzduch. Výsledná teplota přiváděného vzduchu je v přijatelných mezích.

Zimní provoz, zařízení 2:

Princip úprav i požadované parametry vzduchu jsou stejné. Liší se pouze hmotnostní průtoky. Lze tedy využít již vypočtených hodnot a rovnou uvést vztah pro výkon ohřívače.

$$\dot{Q}_{o,z,2} = \frac{\dot{m}_{i,z,2}^s}{3600} \cdot (h_{o,z} - h_{s,z}) = \frac{1499,7}{3600} \cdot (33,10 - 30,01) = 1,29 \text{ kW} \quad (42)$$

$$\dot{m}_{p,2} = \dot{m}_{i,z,2}^s \cdot (x_{i,z} - x_{s,z}) = 1499,7 \cdot (6,40 - 5,89) = 765 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 0,765 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (43)$$

Letní provoz, zařízení 1:

Výpočet je proveden s použitím hmotnostních toků odpovídajících letnímu období.

Směšování:

$$\begin{aligned}
 t_{s,l} &= \frac{t_{e,l} \cdot \dot{m}_{s,l,1}^s + t_{i,l} \cdot (\dot{m}_{i,l,1}^s - \dot{m}_{s,l,1}^s)}{\dot{m}_{i,l,1}^s} = \\
 &= \frac{32,9 \cdot 314,9 + 23 \cdot (3149,4 - 314,9)}{3149,4} = 24,0 \text{ °C}
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

$$\begin{aligned}
 h_{s,l} &= \frac{h_{e,l} \cdot \dot{m}_{s,l,1}^s + h_{i,l} \cdot (\dot{m}_{i,l,1}^s - \dot{m}_{s,l,1}^s)}{\dot{m}_{i,l,1}^s} \\
 &= \frac{64,30 \cdot 314,9 + 45,48 \cdot (3149,4 - 314,9)}{3149,4} = 47,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{s.v.}}
 \end{aligned}
 \tag{45}$$

$$\begin{aligned}
 x_{s,l} &= \frac{x_{e,l} \cdot \dot{m}_{s,l,1}^s + x_{i,l} \cdot (\dot{m}_{i,l,1}^s - \dot{m}_{s,l,1}^s)}{\dot{m}_{i,l,1}^s} \\
 &= \frac{12,13 \cdot 314,9 + 8,75 \cdot (3149,4 - 314,9)}{3149,4} = 9,09 \frac{\text{g}}{\text{kg}_{s.v.}}
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

V tomto bodě je potřeba vzduch odvlhčit na požadovanou vlhkost (případně teplotu). Rozhodující je volba teploty vypařování chladiva. Tato ovlivní povrchovou teplotu chladiče a tím určí obtokový součinitel. Povrchová teplota musí být nižší než teplota rosného bodu směsi, která je odečtena z h-x diagramu jako 12 °C. K odhadu chlazení jsou použity rovnice z [1] pro lamelový chladič vzduchu. Účinnost žebrování je odhadnuta na základě [1] jako 0,85. Při volbě teploty vypařování chladiva lze vzít v úvahu více faktorů. Požadovaný výkon kompresoru klesá se zvyšující se teplotou vypařování [44]. Aby nedocházelo k zamrznutí výparníku, je nutné volit teplotu nad bodem mrazu. Teplota vypařování chladiva je volena 5 °C. V případě potřeby je možné pomocí zvýšení tlakové diference snížit teplotu vypařování chladiva a tím zvýšit chladicí výkon za cenu snížení parametru EER [44]. Z důvodu poměrně nízkého požadavku na chladicí výkon by vycházel vysoký obtokový součinitel výměníku (přibližně 0,88). Aby bylo možné případně zvýšit chladicí výkon, je požadován řízený obtok výparníku. Obtokový součinitel chladiče je volen nižší dle nabízených rozpětí na základě typu aplikace [29] (nepatrná tepelná zátěž).

$$F_1 = 0,4 \tag{47}$$

Povrchová teplota chladiče (výparníku) je následující.

$$t_{R1} = t_{s,l} - \eta_z \cdot (t_{s,l} - t_{w,chl}) = 24,0 - 0,85 \cdot (24,0 - 5) = 7,9 \text{ °C} \tag{48}$$

Dle požadované měrné vlhkosti lze vypočítat obtokový součinitel. K tomu je potřeba znát parametry vzduchu na povrchu chladiče. Relativní vlhkost je uvažována 1 ($\varphi_{R1} = 1$).

$$x_{R1} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{R1} \cdot p''_{p(t=7,9)}}{p_b - \varphi_{R1} \cdot p''_{p(t=7,9)}} = 0,622 \cdot \frac{1 \cdot 1065,9}{101325 - 1 \cdot 1065,9} = \quad (49)$$

$$= 6,61 \frac{g}{kg_{s.v.}}$$

kde parciální tlak syté páry je určen, obdobně jako je uvedeno výše, pomocí lineární interpolace tabulkových hodnot [25].

Nyní lze určit ostatní parametry vzduchu, který prochází chladičem :

$$t_{chl,2,l} = t_{R1} + F_1 \cdot (t_{s,l} - t_{R1}) = 7,9 + 0,4 \cdot (24,0 - 7,9) = 14,3 \text{ °C} \quad (50)$$

$$x_{chl,2,l} = x_{R1} + F_1 \cdot (x_{s,l} - x_{R1}) = 6,61 + 0,4 \cdot (9,09 - 6,61) = 7,60 \frac{g}{kg_{s.v.}} \quad (51)$$

Poté dochází ke směšování proudů vzduchu. Odtud lze získat poměr průtoků obtokem a chladičem. Měrná vlhkost smíšeného vzduchu je rovna požadované přírodní měrné vlhkosti.

$$\dot{m}_{ob} + \dot{m}_{chl} = \dot{m}_{i,l,1}^s \quad (52)$$

$$t_{chl,l} \cdot (\dot{m}_{ob} + \dot{m}_{chl}) = t_{chl,2,l} \cdot \dot{m}_{chl} + t_{s,l} \cdot \dot{m}_{ob} \quad (53)$$

$$x_{chl,l} \cdot (\dot{m}_{ob} + \dot{m}_{chl}) = x_{chl,2,l} \cdot \dot{m}_{chl} + x_{s,l} \cdot \dot{m}_{ob} \quad (54)$$

$$\dot{m}_{chl} = \dot{m}_{i,l,1}^s \cdot \frac{x_{chl,l} - x_{s,l}}{x_{chl,2,l} - x_{s,l}} = 3149,4 \cdot \frac{8,75 - 9,09}{7,60 - 9,09} = 718,7 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (55)$$

$$\dot{m}_{ob} = \dot{m}_{i,l,1}^s - \dot{m}_{chl} = 3149,4 - 718,7 = 2430,7 \frac{kg_{s.v.}}{h} \quad (56)$$

V návrhovém stavu tedy bude obtokem proudit přibližně 77 % celkového průtoku. Z tohoto lze usuzovat, že může být problematické dále snižovat chladicí výkon během provozu zařízení. Regulace výkonu může být provedena více způsoby.

- Snižením průtoku chladiča (v případě dosažení provozních parametrů kompresoru lze použít obtok),
- zvýšením průtoku vzduchu obtokem
- nebo zvýšením vypařovací teploty.

Taktéž je možné volit výměník s větším obtokovým součinitelem. Problematika regulace a řízení tepelného čerpadla přesahuje rámec této diplomové práce.

Za tepelným čerpadlem jsou parametry vzduchu následující.

$$t_{chl,l} = \frac{t_{chl,2,l} \cdot \dot{m}_{chl} + t_{s,l} \cdot \dot{m}_{ob}}{\dot{m}_{ob} + \dot{m}_{chl}} = \frac{14,3 \cdot 718,7 + 24 \cdot 2430,7}{718,7 + 2430,7} = 21,8 \text{ °C} \quad (57)$$

Tab. 27 - parametry vzduchu za tepelným čerpadlem

| | | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------|
| teplota | $t_{chl,l}$ | [°C] | 21,8 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{chl,l}$ | [%] | 53,7 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,chl,l}$ | [Pa] | 2613,6 |
| měrná vlhkost | $x_{chl,l}$ | [g/kg] | 8,75 |
| entalpie | $h_{chl,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | 44,24 |

Nevyhovujícím parametrem je zde zejména relativní vlhkost. Proto bude vzduch ohříván na výpočtovou letní teplotu (23 °C), přestože bychom mohli přiváděním chladnějšího vzduchu do prostorů depozitářů odvádět tepelnou zátěž. To však není vhodné z více důvodů:

- V depozitářích je požadavek na změnu teploty o 1 °C za 24 hodin. Přivádění vzduchu o nižší teplotě by zapříčinilo nežádoucí teplotní gradienty.
- Relativní vlhkost přiváděného vzduchu by byla mírně vyšší než střední hodnota požadovaného rozpětí.

Odvod tepelné zátěže je předmětem řešení profese chlazení. Návrh chlazení je mimo rámec této diplomové práce, nicméně je vhodné doporučit velkoplošné chlazení, např. chladící strop nebo stěnu, aby bylo dosaženo co nejmenších teplotních gradientů.

Vzduch bude dále ohříván na výpočtovou teplotu. Výkon ohříváče je následující.

$$\dot{Q}_{o,l,1} = \frac{\dot{m}_{i,l,1}^s}{3600} \cdot (h_{i,l} - h_{chl,l}) = \frac{3149,4}{3600} \cdot (45,48 - 44,24) = 1,08 \text{ kW} \quad (58)$$

Pro chlazení je potřeba následující výkon.

$$\dot{Q}_{chl,1} = \frac{\dot{m}_{i,l,1}^s}{3600} \cdot (h_{chl,l} - h_{s,l}) = \frac{3149,4}{3600} \cdot (44,24 - 47,36) = -2,73 \text{ kW} \quad (59)$$

Jelikož však používáme tepelné čerpadlo, budeme muset dodávat energii pouze na pohon kompresoru. Simulace provozu tepelného čerpadla bude provedena v kapitole níže.

Množství kondenzátu bude následující.

$$\dot{m}_{kond,1} = \dot{m}_{i,l,1} \cdot (x_{s,l} - x_{chl,l}) = 3149,4 \cdot (9,09 - 8,75) = 1071 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 1,071 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (60)$$

Letní provoz, zařízení 2:

I zde jsou uvedeny pouze rovnice, ve kterých se liší hodnoty.

$$\dot{Q}_{o,l,2} = \dot{m}_{i,l,2}^s \cdot (h_{i,l} - h_{chl,l}) = \frac{1468,9}{3600} \cdot (45,48 - 44,24) = 0,51 \text{ kW} \quad (61)$$

$$\dot{Q}_{chl,2} = \dot{m}_{i,l,2}^s \cdot (h_{s,l} - h_{chl,l}) = \frac{1468,9}{3600} \cdot (44,24 - 47,36) = -1,27 \text{ kW} \quad (62)$$

$$\dot{m}_{kond,2} = \dot{m}_{i,l,2}^s \cdot (x_{s,l} - x_{chl,l}) = 1468,9 \cdot (9,09 - 8,75) = 499 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 0,499 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (63)$$

Souhrn požadavků na výkon je uveden v tabulce níže. Tyto výkony jsou nutné pro zajištění požadovaných parametrů vzduchu v letních a zimních extrémech. Pro provoz zařízení je však vhodné dimenzovat jednotlivé prvky na vyšší výkony a poté jejich výkon regulovat dle aktuálních požadavků. Tak lze docílit příznivých hlukových a provozních podmínek. Provoz zařízení na nižší výkony než maximální může mít příznivý účinek i na životnost zařízení. V neposlední řadě je zde možnost kompenzace případné odchylky reálného stavu od projektovaného zvýšením výkonu. Například změnou potrubních rozvodů se zvýší tlakové ztráty systému a bude potřeba provozovat ventilátor na vyšší výkon. Obdobně může zvýšení výkonu pokrýt nepředpokládané požadavky obecně. Zároveň je však nutné zajistit dostatečné rozpětí regulace výkonu, jelikož zařízení bude pracovat ve většině času na nižší výkon, jak ukazují měření například v [43].

Provoz tepelného čerpadla se může výrazně lišit od projektovaného návrhu. Může se i stát, že požadavek na ohřev vzduchu bude vyšší v letním období, pokud nebude možné dostatečně snížit chladicí výkon (např. jiný poměr obtoku, obtokového součinitele atd.). Poté by byl proud vzduchu v důsledku požadavku na odvlhčení přechlazován a následně by bylo nutné jej ohřívat. Výše uvedený výpočet je výsledkem postupné iterace s cílem získat co nejnižší potřebné výkony. Např. při volbě vypařovací teploty 9,4 °C a bez uvažování obtoku vychází obtokový součinitel přibližně 0,42 a teplota na výstupu z chladiče 16,8 °C. Tomu odpovídají výkony pro chlazení 7,3 kW a ohřev 5,7 kW.

Na základě výše uvedených výpočtů jsou maximální požadavky na výkon následující.

Tab. 28 – požadavky na výkon zařízení - deponitáře

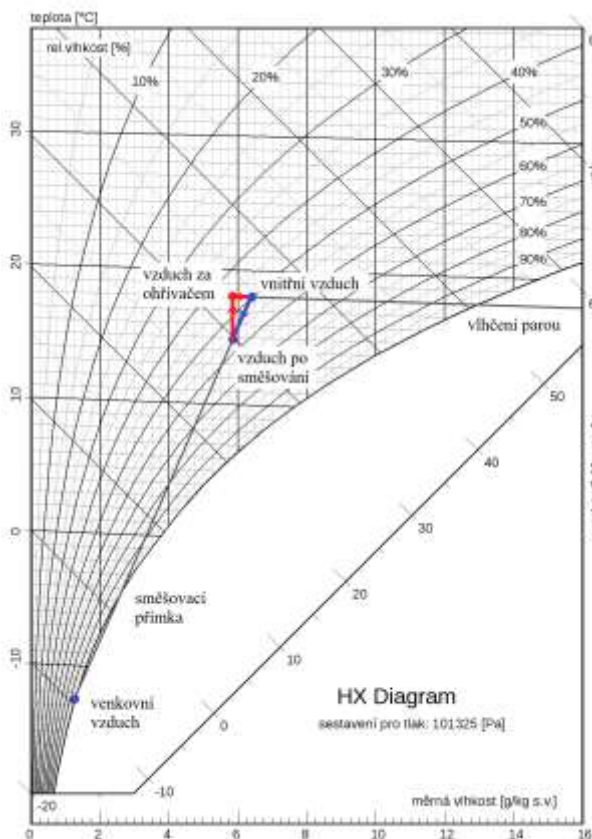
| zařízení číslo 1 | značení | jednotka | hodnota |
|---------------------------|-------------------|----------|---------|
| ohřívač | $\dot{Q}_{o,z,1}$ | [kW] | 2,76 |
| chladič (výparník) | $\dot{Q}_{chl,1}$ | [kW] | 2,73 |
| zvlhčovač | $\dot{m}_{p,1}$ | [kg/h] | 1,640 |
| zařízení číslo 2 | | | |
| ohřívač | $\dot{Q}_{o,z,2}$ | [kW] | 1,29 |
| chladič (výparník) | $\dot{Q}_{chl,2}$ | [kW] | 1,21 |
| zvlhčovač | $\dot{m}_{p,2}$ | [kg/h] | 0,765 |

Těmto výkonům odpovídají tyto průtoky vody v ohřívači. Pro chlazení není nominální průtok chladiva určen.

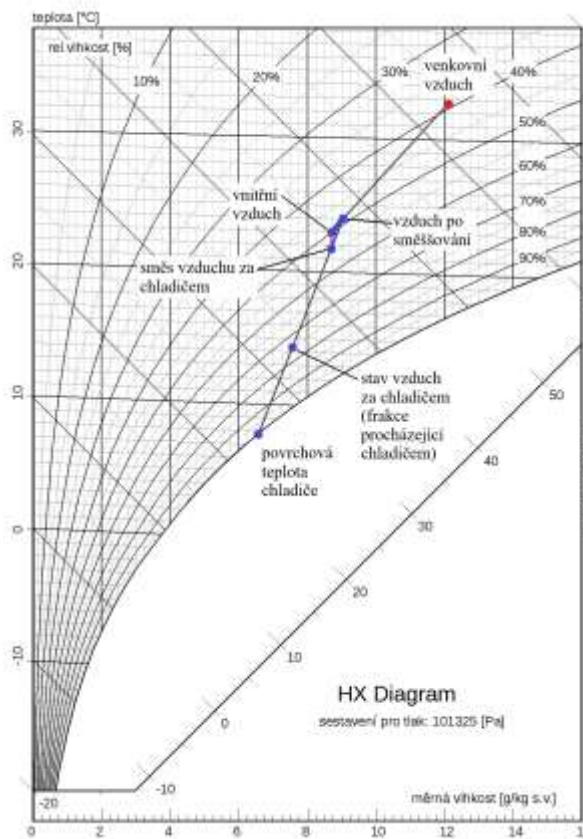
$$\dot{m}_{voda,o,1} = \frac{\dot{Q}_{o,z,1}}{c_w \cdot (t_{o,55} - t_{o,45})} = \frac{2760}{4180 \cdot (55 - 45)} = 0,066 \frac{kg}{s} \quad (64)$$

$$\dot{m}_{voda,o,2} = \frac{\dot{Q}_{o,z,2}}{c_w \cdot (t_{o,55} - t_{o,45})} = \frac{1290}{4180 \cdot (55 - 45)} = 0,031 \frac{kg}{s} \quad (65)$$

Nakonec lze zobrazit letní a zimní stav v h-x diagramech (obr. 18 a obr. 19). H-x diagram vygenerován pomocí softwaru dostupného na www.qpro.cz.



Obr. 18 - zimní období, z. č. 1, 2



Obr. 19 - letní období, z. č. 1, 2

3.2 Větrání edukačních místností

Pro větrání edukačních prostorů je navržena centrální vzduchotechnická jednotka umístěná v 1. PP. Jednotka přivádí čerstvý vzduch do prostorů přednáškové místnosti a přilehlých prostorů viz tab. 29. Sání čerstvého vzduchu je umístěno 350 mm nad úroveň zeminy z jižní strany objektu. Potrubí vedené v zemi je chráněno tepelnou izolací a hydroizolací. Potrubí je zakončeno proti-dešťovou žaluzií. Rychlost na sání nepřesahuje 4 m/s v efektivním průřezu. Tím by mělo být zamezeno nasávání vody, sněhu a nečistot do potrubního systému. Výfuk je umístěn na střeše objektu. Vyústění je zakončeno dvěma koleny (celkový úhel otočení 180°) se sítí proti hmyzu. Větrání je rovnotlaké, směšovací.

3.2.1 Objemy vzduchu

Výměna vzduchu v prostorech je určena na základě počtu lidí. Po konzultaci s investorem jsme zvolili předpokládané množství lidí následovně.

Tab. 29 - EC místnosti - bilance

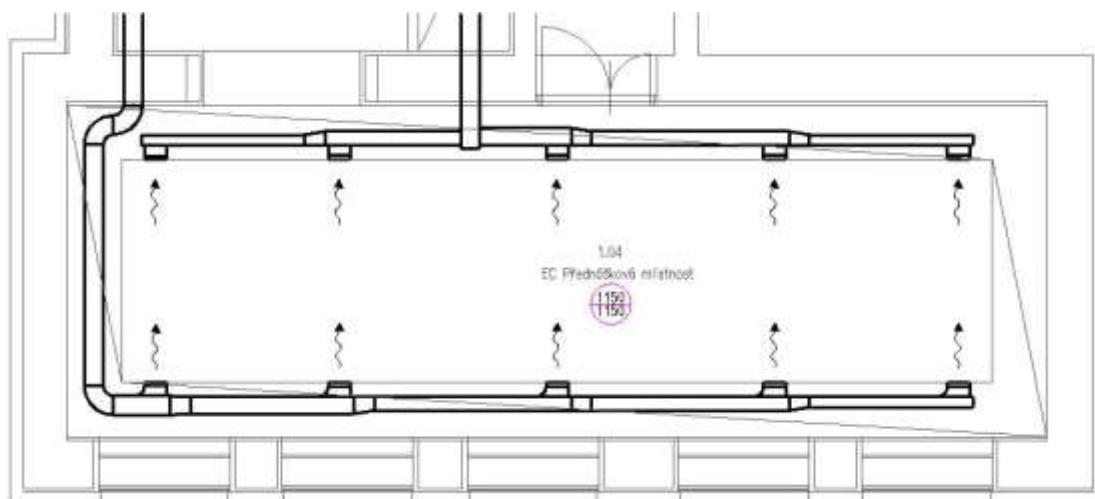
| Číslo místnosti | účel místnosti | výměna vzduchu | Počet osob |
|------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| - | - | m ³ /h | - |
| Zařízení číslo 5 | VZT jednotka – EC | | |
| 1.04 | EC Přednášková místnost | 1150 | 30 dětí, 5 dospělých |

| | | | |
|-------------------------|--|----------------|-----------------------------|
| 1.05 | EC Expozice | 250 | 5 dospělých |
| 1.11 | EC Klidová zóna | 250 | 5 dospělých |
| 1.18 | EC Edukační místnost – mokrý provoz | 1150 | 30 dětí, 5 dospělých |
| Zařízení číslo 5 | | Celkem: | 2800 m³/h |

Množství čerstvého vzduchu na osobu je určeno dle [2] a [3] jako 50 m³/h pro dospělou osobu a 30 m³/h pro dítě.

3.2.2 Distribuce vzduchu v místnosti

Jak pro přívod, tak i pro odvod vzduchu jsou navrženy obdélníkové vyústky. Přívodní vyústky jsou dvouřadé, aby bylo možné dle potřeby proud vzduchu směřovat. Odvodní vyústky jsou jednořadé. Rychlost na vyústkách je navržena na maximální hodnotu 2,5 m/s v efektivním průřezu. Regulace průtoku bude realizována pomocí předřazených lamel u každé vyústky. Vyústky jsou situovány u stropu místnosti. Potrubní rozvody budou zakryty sádkartonovými podhledy.

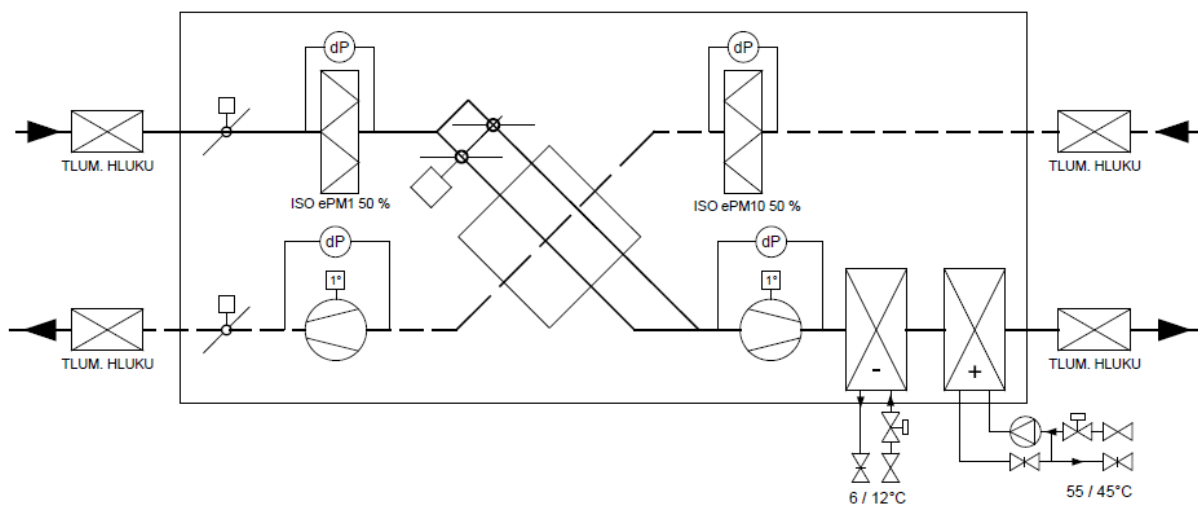


Obr. 20 - rozložení distribučních elementů

3.2.3 Složení vzduchotechnické jednotky

Vzhledem k charakteru provozu je tato vzduchotechnická jednotka jiného provedení, než jednotky pro větrání depozitářů. Z důvodu výskytu lidí ve větraných prostorech je nutno přivádět pouze čerstvý vzduch. Jednotka se skládá z následujících elementů.

Výkonnostní charakteristiky jednotlivých částí jsou vypočteny v kapitole 3.2.4. Všechny filtry jsou vybaveny snímači tlakové difference.



Obr. 21 - schéma zařízení - větrání edukačních místností

Cirkulační obvod: sání – přívod

- **filtr pro jemný prach**

Je zvolen filtr třídy F7 (dle již neplatného značení). Dle nového značení by vyhovoval například filtr ISO ePM₁ 50 %. Jedná se o filtr pro běžné větrání, bez zvláštních požadavků na filtraci prachových částic. Filtr je opatřen snímačem tlakové diference a při překročení stanoveného limitu bude vyžadována výměna.

- **deskový výměník s obtokem**

Deskový výměník umožňuje zpětné získávání citelného tepla. Dle podkladů výrobce lze předpokládat přibližně 80% účinnost. Výměník bude vybaven obtokem. Ten bude použit při provozních stavech, kdy nebude žádoucí zpětné získávání tepla, např. v letním období, kdy v důsledku vnitřních zisků bude teplota vnitřního vzduchu vyšší než venkovního.

- **ventilátor**

Třífázový EC ventilátor s frekvenčním měničem a s parametry dle tab. 30 a tab. 31.

Tab. 30 - z. č. 5 - parametry ventilátoru, sání – přívod

| | |
|-------------------|------------------------|
| objem vzduchu | 2800 m ³ /h |
| tlaková ztráta | 556 Pa |
| účinnost | 60 % |
| elektrický příkon | 721 W |

Tab. 31 - z. č. 5 – tlakové ztráty, sání – přívod

| | |
|---------------------------------|---------------|
| filtr ISO ePM ₁ 50 % | 124 Pa |
| deskový výměník | 173 Pa |
| vodní chladič | 40 Pa |
| vodní ohřivač | 21 Pa |
| sání | 78,1 Pa |
| přívod | 119,5 Pa |
| celkem | 556 Pa |

- **vodní chladič**

Chladič pracuje s vodou o teplotním spádu 6 °C / 12 °C.

- **vodní ohřivač**

Ohřivač je navržen na teplotní spád 55 °C / 45 °C.

Venkovní obvod: odvod – výfuk

- **filtr pro jemný prach**

Filtr je navržen třídy M5 (dle již neplatného značení). Dle nového značení by vyhovoval například filtr ISO ePM₁₀ 50%. Filtr je opatřen snímačem tlakové diference a při překročení stanoveného limitu bude vyžadována výměna.

- **deskový výměník (bez obtoku)**
- **ventilátor**

Třífázový EC ventilátor pro přívod vzduchu s parametry :

Tab. 32 - z. č. 5 - parametry ventilátoru, odvod – výfuk

| | |
|-------------------|------------------------|
| objem vzduchu | 2800 m ³ /h |
| tlaková ztráta | 443 Pa |
| účinnost | 60 % |
| elektrický příkon | 574 W |

Tab. 33 – z. č. 5 - tlakové ztráty, odvod – výfuk

| | |
|-----------------|---------------|
| filtr | 92 Pa |
| deskový výměník | 127 Pa |
| odvod | 119,5 Pa |
| výfuk | 104,1 Pa |
| Celkem | 443 Pa |

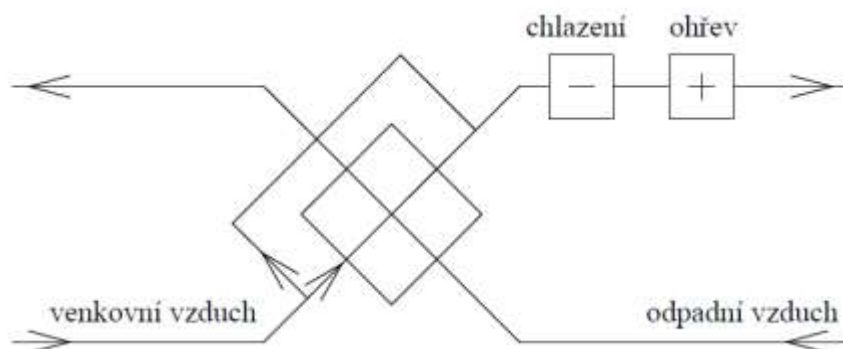
3.2.4 Nároky na ohřev a chlazení

Zařízení přivádí celkem 2800 m³/h vzduchu. Přesné určení hmotnostního toku je obtížnější, jelikož vlhkost vzduchu je neřízená. Pro výpočet je uvažována plynová konstanta pro suchý vzduch. Teplota přiváděného vzduchu je pro letní období 26 °C a pro zimní období 22 °C.

$$\dot{m}_{i,z,5} = \frac{\dot{V}_{i5} \cdot p_b}{r_v \cdot T_{i,z,5}} = \frac{2800 \cdot 101325}{287,11 \cdot 295,15} = 3348,0 \frac{kg}{h} \quad (66)$$

$$\dot{m}_{i,l,5} = \frac{\dot{V}_{i5} \cdot p_b}{r_v \cdot T_{i,l,5}} = \frac{2800 \cdot 101325}{287,11 \cdot 299,15} = 3303,2 \frac{kg}{h} \quad (67)$$

Hmotnostní průtok suchého vzduchu bude nepatrně menší než výše vypočtené hodnoty. Jelikož vlhkost není řízena, pro další výpočty jsou použity tyto hodnoty průtoků.



Obr. 22 - ideové schéma - edukační místnosti

Dále bude pro dimenzování uvažováno s percentilem 98 % (letní) a 1 % (zimní) dle [43].

Tab. 34 - venkovní parametry vzduchu - edukační místnosti

| Zimní období | značení | jednotka | hodnota |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|---------|
| teplota vzduchu | $t_{e,z}$ | [°C] | -12,5 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{e,z}$ | [%] | 100 |
| měrná vlhkost | $x_{e,z}$ | [g/kg _{s.v.}] | 1,28 |
| entalpie vzduchu | $h_{e,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | -9,46 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,e,z}$ | [Pa] | 207,9 |
| Letní období | | | |
| teplota vzduchu | $t_{e,l,5}$ | [°C] | 31,8 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{e,l,5}$ | [%] | 40 |
| měrná vlhkost | $x_{e,l,5}$ | [g/kg _{s.v.}] | 11,80 |
| entalpie vzduchu | $h_{e,l,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | 62,3 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,e,l,5}$ | [Pa] | 4707,4 |

Zimní provoz

Venkovní vzduch nejprve vstupuje do deskového výměníku tepla. Je uvažována účinnost (správněji teplotní faktor ZZT) 80 %. Pro výstupní teplotu z výměníku tedy platí [1].

$$t_{p2,z} = t_{e,z} + \Phi_p \cdot (t_{o1,z} - t_{e,z}) = -12,5 + 0,8 \cdot (22 - (-12,5)) = 15,1 \text{ °C} \quad (68)$$

Pro ověření zamezení zamrznání výměníku je třeba vypočítat výstupní teplotu odpadního vzduchu. Pokud není uvažováno s kondenzací a jedná se o rovnotlaké větrání, je průtok na obou stranách výměníku stejný. Lze tedy uvažovat stejný teplotní faktor na straně přívodní i odvodní. Lze psát [1]:

$$\Phi_p = \Phi_o = 0,8 \quad (69)$$

$$t_{o2,z} = t_{o1,z} + \Phi_o \cdot (t_{o1,z} - t_{e,z}) = 22 - 0,8 \cdot (22 - (-12,5)) = -5,6 \text{ °C} \quad (70)$$

Při teplotě odváděného vzduchu pod bodem mrazu je možné, že bude výměník zamrzat. Tomu lze zabránit více opatřeními [1]. Při vzniku vrstvy námrazy se sníží součinitel přestupu tepla.

Výměník zvýší svou tlakovou ztrátu a sníží se jeho účinnost. V extrémních zimních podmínkách tedy může fungovat bez potřeby aktivního zamezení námrazy, avšak s rizikem zamrznutí a poškození.

Vhodným opatřením může být elektrický přehřev vzduchu, nebo elektrický ohřev kritických ploch výměníku [1]. Výsledkem je snížení teplotního faktoru výměníku bez rizika zamrznutí. Možné je i použití obtoku a tím snížení teplotního faktoru na straně odváděného vzduchu.

Nicméně pro výpočet funkce zpětného získávání tepla bez nebezpečí zamrznutí je uvažováno s teplotou odpadního vzduchu na výstupu z deskového výměníku 0 °C. Energie odebraná odpadnímu vzduchu bude přenesena do přívodního. V provozu bude k zamezení zamrznutí použit obtok. Teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem bude následující.

$$t'_{p2,z} = t_{p1,z} + (t_{o2,z} - t_{o1,z}) = -12,5 + (22 - 0) = 9,5 \text{ °C} \quad (71)$$

Přívodní vzduch bude mít tyto parametry.

Tab. 35 - stav vzduchu za deskovým výměníkem – zimní období

| | | | |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| teplota | $t_{d,z,5}$ | [°C] | 9,5 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{d,z,5}$ | [%] | 16,4 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,d,z,5}$ | [Pa] | 1188 |
| měrná vlhkost | $x_{d,z,5}$ | [g/kg _{s.v.}] | 1,20 |
| entalpie | $h_{d,z,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | 12,62 |

Vzduch dále vstupuje do ohřivače. Zde je ohříván na požadovanou teplotu 22 °C. Výkon ohřivače je následující.

$$\begin{aligned} h_{i,z,5} &= 1,01 \cdot t_{i,z,5} + (2500 + 1,84 \cdot t_{i,z,5}) \cdot x_{d,z,5} = \\ &= 1,01 \cdot 22 + (2500 + 1,84 \cdot 22) \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 25,27 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{s.v.}} \end{aligned} \quad (72)$$

$$\dot{Q}_{o,5} = \dot{m}_{i,z,5} \cdot (h_{i,z,5} - h_{d,z,5}) = \frac{3348,0}{3600} \cdot (25,27 - 12,62) = 11,76 \text{ kW} \quad (73)$$

Výkon ohřivače může být nižší při použití přehřevu vzduchu nebo ohřevu ploch výměníku. Nicméně celková energie nutná pro úpravy vzduchu bude podobná. Provoz jednotky během roku je simulován v následující kapitole 4.

Vzduch o těchto parametrech je možné přivádět do prostoru edukačního centra. Relativní vlhkost přiváděného vzduchu je velmi nízká (7,4 %). Vzhledem k přerušovanému provozu jednotky a faktu, že výše uvedené výpočty platí pro extrémní zimní případ, není uvažováno s dodatečným vlhčením vzduchu.

Letní provoz

Vzduch opět prochází deskovým výměníkem. Zde je možnost použít obtok v případě, že vnitřní vzduch je teplejší než venkovní. Ve výpočtovém případě pro extrémní letní stav je však deskový výměník s výhodou použit.

$$t_{p2,l} = t_{e,l} + \Phi_p \cdot (t_{o1,l} - t_{e,l}) = 31,8 + 0,8 \cdot (26 - 32) = 27 \text{ °C} \quad (74)$$

Tab. 36 - parametry vzduchu za deskovým výměníkem – letní období

| | | | |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| teplota | $t_{d,l,5}$ | [°C] | 27 |
| relativní vlhkost | $\varphi_{d,l,5}$ | [%] | 52,9 |
| parciální tlak syté páry | $p''_{p,d,l,5}$ | [Pa] | 3568 |
| měrná vlhkost | $x_{d,l,5}$ | [g/kg _{s.v.}] | 11,80 |
| entalpie | $h_{d,l,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | 57,36 |

K chlazení bude použit vodní chladič o jmenovitém teplotním spádu 6 °C / 12 °C. Lze tedy uvažovat střední teplotu vody 9 °C. Teplota přiváděného vzduchu je volena 22 °C. Nejvyšší přípustná teplota je 26 °C.

K určení tepelných zisků jsou použity vzorce a postupy dle [31]. Jsou předpokládány tyto zdroje tepla.

Tab. 37 - tepelné zisky - EC

| typ zisku | citelná zátěž [W] | popis |
|--|-------------------|---|
| sluneční radiace | proměnná | Je vypočtena na základě polohy slunce, prosklených ploch a dalších. Je uvažováno s použitím stínících prvků – světlých venkovních žaluzií. |
| konvekce okny | proměnná | Vzhledem k poměrně nízké uvažované venkovní teplotě (denní max. 30 °C) se jedná o nevýznamnou položku. |
| konvekce stěnami | 70,8 | Široké stěny s vysokou akumulací schopností v podstatě anulují vliv konvekce. |
| lidé | 1705 | Je uvažováno s 5 dospělými a 30 dětmi. |
| světla | 734 | Konkrétní druh osvětlení není znám. Je uvažováno s produkcí tepla svítidel 10 W/m ² . |
| technologie | 170 | Je předpokládán provoz dvou počítačů a monitorů (promítací zařízení). |
| produkce tepla ventilátoru | 0 | Tato část tepelné zátěže bude pokryta chladičem ve vzduchotechnické jednotce. |
| ohřátí vzduchu ve vzduchovodech | 0 | Není uvažováno. |
| infiltrace | proměnná | Je uvažováno s minimální infiltrací, 0,1 násobnou výměnou. |
| tepelný tok z ostatních místností | 0 | Sousední místnosti budou buď chlazené (depozitáře) nebo nechlazené. S přihlédnutím k šířce a hmotnosti vnitřních stěn není uvažován vliv konvekce z okolních prostor. |

Výpočet je zpracován v programu excel a je uveden v elektronické příloze.

Největší zisky citelného tepla při provozu v 15:00 (probíhající přednáška) jsou rovny 4,37 kW. Tuto tepelnou zátěž bude odvádět jednak větrací vzduch – ohřátí v místnosti o 4 °C a taktéž samostatný systém chlazení. Vzduch bude schopen odvést tento výkon.

$$\dot{Q}_{\text{air}} = \frac{\dot{m}_{i,l,5}}{3600} \cdot c_{\text{air}} \cdot (t_{o1,l} - t_{p,l,5}) = \frac{3303,2}{3600} \cdot 1,01 \cdot (26 - 22) = 3,71 \text{ kW} \quad (75)$$

Zbytek tepelné zátěže bude odvádět systém chlazení (0,66 kW). Je důležité při výpočtu lokálního chlazení započítat i zisky latentního tepla generovaného lidmi. Pokud bude chlazení spínáno překročením maximální teploty vzduchu, mohl by systém větrání účinně odvádět tepelnou zátěž po většinu času. Lokální chlazení by mohlo být spouštěno při extrémních vedrech, případně s předstihem pro vychlazení prostoru před plánovaným programem. Schopnost akumulace, která je předpokládána velmi vysoká, může skutečně chování mikroklimatu výrazně změnit. Ke zvýšení potřebného výkonu může dojít i v důsledku latentního tepla produkovaného lidmi. Tato zátěž je součástí simulace v kapitole 4.

Požadovaný chladicí výkon chladiče vzduchu ve vzduchotechnické jednotce je určen stavem venkovního vzduchu, povrchovou teplotou chladiče a požadovanou teplotou. Z definice obtokového součinitele a výpočtu povrchové teploty chladiče lze získat :

$$t_{R5} = t_{d,l,5} - \eta_{\dot{z}} \cdot (t_{d,l,5} - t_{w,chl,5}) = 27 - 0,85 \cdot (27,0 - 9) = 11,7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (76)$$

$$F_5 = \frac{t_{p,l,5} - t_{R5}}{t_{d,l,5} - t_{R5}} = \frac{22 - 11,7}{27 - 11,7} = 0,673 \quad (77)$$

Tohoto obtokového součinitele lze opět docílit pomocí obtoku, nebo přesně vyrobeným chladičem. Z hlediska regulace je lepší použití obtoku a chladiče s vyšším potenciálem chlazení.

$$x_{R5} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{R1} \cdot p''_{p(t=11,7)}}{p_b - \varphi_{R1} \cdot p''_{p(t=11,7)}} = 0,622 \cdot \frac{1 \cdot 1376}{101325 - 1 \cdot 1376} = 8,33 \frac{g}{kg_{s.v.}} \quad (78)$$

$$\begin{aligned} h_{R5} &= 1,01 \cdot t_{R5} + (2500 + 1,84 \cdot t_{R5}) \cdot x_{R5} = \\ &= 1,01 \cdot 11,7 + (2500 + 1,84 \cdot 11,7) \cdot 8,33 \cdot 10^{-3} = 32,82 \frac{kJ}{kg_{s.v.}} \end{aligned} \quad (79)$$

$$h_{p,l,5} = h_{R5} + F_5 \cdot (h_{d,l,5} - h_{R5}) = 32,82 + 0,673 \cdot (57,36 - 32,82) = 49,34 \frac{kJ}{kg_{s.v.}} \quad (80)$$

$$\dot{Q}_{chl,5} = \frac{\dot{m}_{i,l,5}}{3600} \cdot (h_{p,l,5} - h_{d,l,5}) = \frac{3303,2}{3600} \cdot (49,34 - 57,36) = -7,36 \text{ kW} \quad (81)$$

Souhrn požadavků na výkony :

Tab. 38 – požadavky na výkon – edukační místnosti

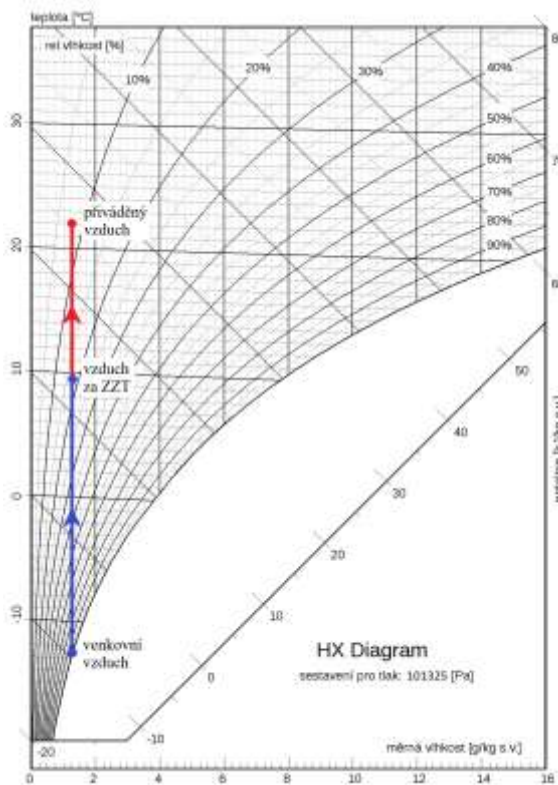
| zařízení číslo 5 | značení | jednotka | hodnota |
|------------------|---------------------|----------|---------|
| ohřívač | $\dot{Q}_{o,z,5}$ | [kW] | 11,30 |
| chladič | $\dot{Q}_{chl,l,5}$ | [kW] | -7,36 |

Těmto výkonům odpovídají následující průtoky vody :

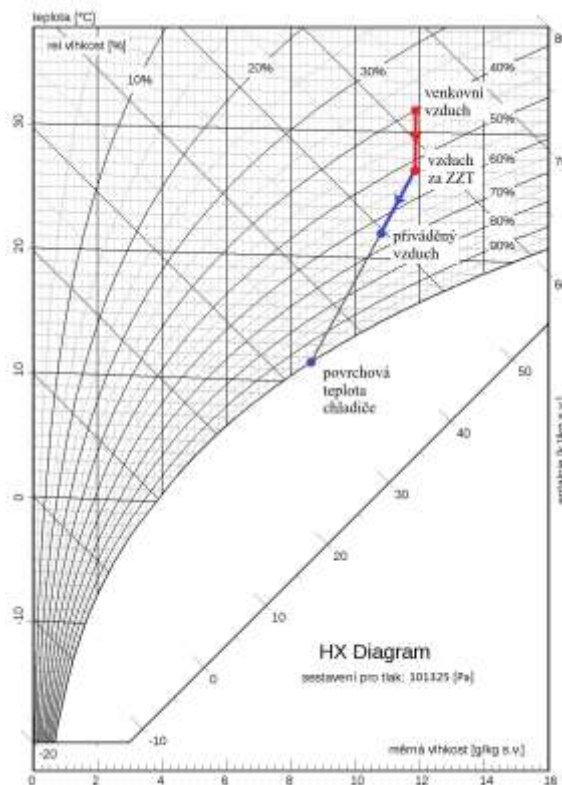
$$\dot{m}_{voda,o,5} = \frac{\dot{Q}_{o,z,5}}{c_w \cdot (t_{o,55} - t_{o,45})} = \frac{11300}{4180 \cdot (55 - 45)} = 0,27 \frac{kg}{s} \quad (82)$$

$$\dot{m}_{voda,chl,5} = \frac{\dot{Q}_{chl,l,5}}{c_w \cdot (t_{o,55} - t_{o,45})} = \frac{-7360}{4180 \cdot (6 - 12)} = 0,29 \frac{kg}{s} \quad (83)$$

Nakonec lze zobrazit letní a zimní stav v h-x diagramech. H-x diagram vygenerován pomocí softwaru dostupného na www.qpro.cz.



Obr. 23 - zimní období, z. č. 5



Obr. 24 - letní období, z. č. 5

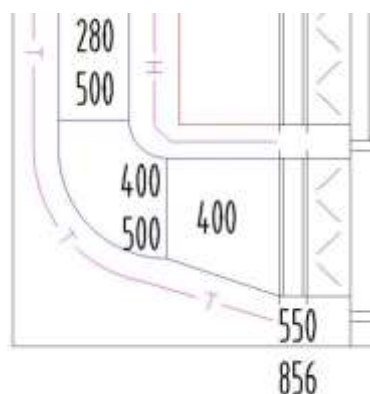
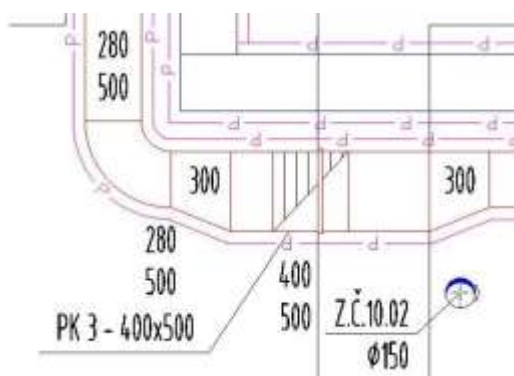
3.3 Hydraulický výpočet potrubní sítě

Pro návrh vzduchotechnické jednotky a zejména ventilátoru je nutné znát celkovou hydraulickou ztrátu systému. V této kapitole je popsán výpočet externích tlakových ztrát. Uveden je v příloze 5. Jedná se pouze o orientační výpočet největší externí tlakové ztráty, nikoliv o hydraulické zaregulování soustavy. Orientační je z důvodu, že je zatížen poměrně velkým množstvím nejistot uvedených níže. K výpočtu byly vybrány nejdelší potrubní úseky. U některých potrubních tras není na první pohled zřejmé, která větev bude mít nejvyšší tlakovou ztrátu. Proto byly provedeny výpočty více větví. Není vyloučené, že vyšší tlakovou ztrátu bude mít ve skutečnosti některá z odboček, vzhledem k vyšší tlakové ztrátě ve směru odbočujícího vzduchu. Rozdíl by však neměl být příliš výrazný a případnou nepřesnost by měla pokrýt rezerva mezi maximálním výkonem ventilátoru a vypočteným provozním stavem.

Výpočet byl proveden za pomoci softwaru dostupného z www.qpro.cz [45]. Na tomto portálu byly zpracovány tlakové ztráty třením a místní tlakové ztráty (odbočky, rozbočky, tvarovky, kolena). Pro určení tlakové ztráty jednotlivých elementů potrubní sítě (protidešťové kryty, tlumiče hluku, požární klapky) bylo využito podkladů jednotlivých výrobců. Tímto může vzniknout odchylka od výpočtu v důsledku použití produktu od odlišného výrobce.

Navrhnutá potrubní síť má určité specifika a faktory, které nebyly ve výpočtu zohledněny. Tyto mohou zapříčinit vyšší tlakové ztráty.

- Potrubí na straně sání ventilátoru (sání, odvod) je navrženo bez tvarových prvků. Jednotlivé rovné potrubní úseky na sebe přímo navazují (obr. 25). Toto řešení je levnější a prostorově méně náročné. Přestože se jedná o sání (strana podtlaku ventilátoru), může tento fakt zvýšit tlakové ztráty. Potrubí na výtlaku je vybaveno tvarovými prvky s náběhovými plechy.
- Umístění jednotlivých elementů za sebou (např. obr. 25). Na obrázku je vidět kaskáda tvarovek a požární klapky na přívodním potrubí. Před požární klapkou se potrubí rozšiřuje (aby bylo dosaženo rychlosti menší než 4 m/s jmenovitým průřezem klapky). Požární klapka může mít v důsledku vzniklého turbulentního víření za tvarovkou větší tlakovou ztrátu, než by měla na dlouhém rovném úseku.
- Na trase jsou použity tvarové kolena (obr. 26). Tyto nelze do výpočtového softwaru zadat. Namísto toho je tlaková ztráta odhadnuta jako koleno s náběhovými plechy a tvarovka souměrná délky 0,5 m.



Obr. 25 - návaznost - prvky potrubní sítě

Obr. 26 - tvarové koleno

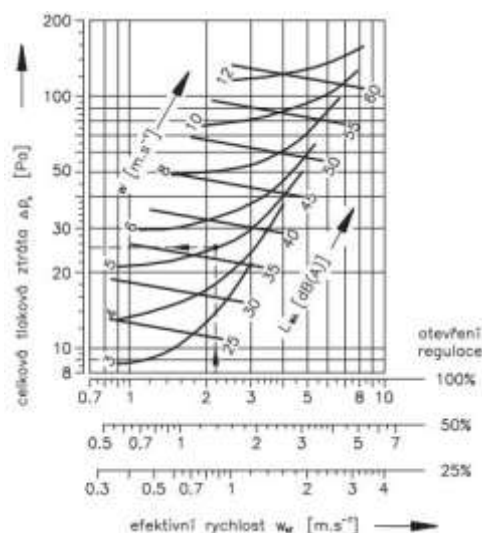
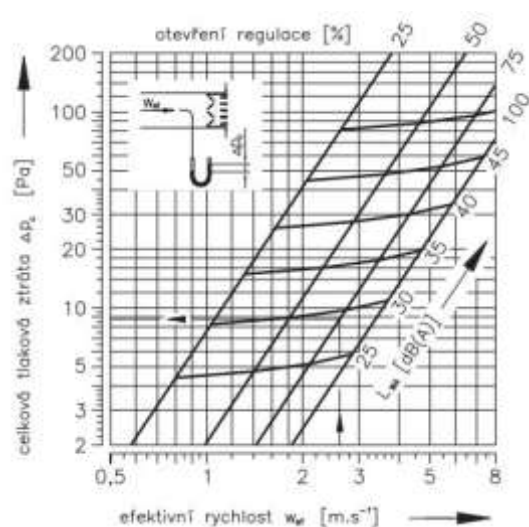
- Volba souměrné a nesouměrné přechodky je sama o sobě odhadem, jelikož není upřesněno, jak přesně je přechodka nesouměrná.
- Pro textilní výústky je odhadnut potřebný přetlak na vstupu 60 Pa.

Tlakové ztráty vybraných potrubních elementů:

Vliv **přívodních a odvodních vyústek** je odhadnut na základě diagramů (obr. 27 a obr. 28). Z diagramů je mimo jiné vidět, že hlučnost zkoumaných vyústek, provozovaných s následujícími parametry, nepřesáhne 30 dB(A).

$$w_{ef} \cong 2,5 \text{ m/s} \quad (84)$$

Rychlost w_{ef} je rychlost v efektivním průřezu, tyto jsou uvedeny opět v podkladech výrobce. Otevření regulace je pro nejvzdálenější koncový element uvažováno 100 %. U vyústek do kruhového potrubí je důležitá i střední rychlost v potrubí. Ta je u koncových elementů navržena přibližně na 3 m/s.



Obr. 27 - vyústka do hranatého potrubí - při- vod [46] Obr. 28 - vyústka do kruhového potrubí [47]

Tlakové ztráty **tlumičů hluku** jsou uvedeny v následující tabulce. K výpočtu byly opět použity podklady výrobce [48]. Uvažovány jsou buňky z děrovaného plechu se skosenými vstupními i výstupními hranami.

Tab. 39 - tlumiče hluku - tlakové ztráty

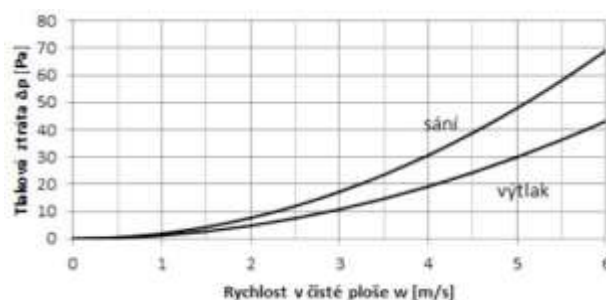
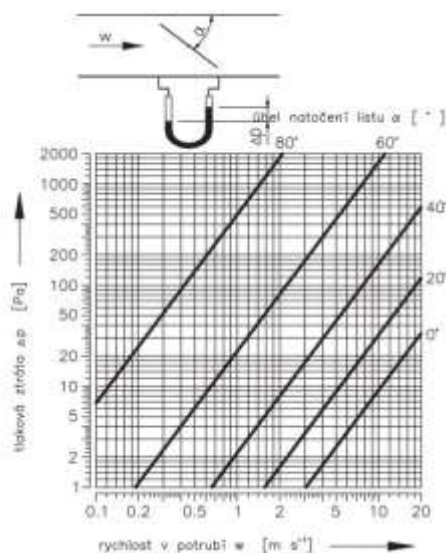
| úsek | rozměry (počet buněk x šířka x výška – délka) | součinitel místních ztrát | kusů | rychlost vzduchu | celková tlaková ztráta |
|-------------------------|--|---------------------------------|------|---------------------|------------------------------|
| [-] | [mm] | [-] | [-] | [m/s] | [Pa] |
| zařízení číslo 1 | | | | | |
| sání | 2x200x500-1000 | 3,72 | 2 | 4,86 | 105,5 |
| výfuk | 2x200x500-1000 | 3,72 | 2 | 4,86 | 105,5 |
| odvod | 2x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,72 | 47,13 |
| přívod | 2x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,72 | 47,13 |
| zařízení číslo 2 | | | | | |
| sání | 1x200x500-1000 | 3,72 | 2 | 3,47 | 53,8 |
| výfuk | 1x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,47 | 41,0 |
| odvod | 1x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,47 | 41,0 |
| přívod | 1x200x500-1000 | 3,72 | 2 | 3,47 | 53,8 |
| zařízení číslo 5 | | | | | |
| sání | 2x200x500-1500 | 4,69 | 1 | 3,89 | 42,6 |
| výfuk | 2x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,89 | 51,5 |
| odvod | 2x200x500-1500 | 4,69 | 1 | 3,89 | 42,6 |
| přívod | 2x200x500-2000 | 5,67 | 1 | 3,89 | 51,5 |

Vypočteno vzorcem [49] (zařízení číslo 1 – odvod) :

$$\Delta p_m = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 5,67 \cdot \frac{3,72^2}{2} \cdot 1,2 = 47,13 \text{ Pa} \quad (85)$$

Z tabulky je patrné, že tlumiče hluku jsou výrazným prvkem z hlediska hydraulických ztrát. Zejména při použití dvou kusů tlakové ztráty výrazně narůstají. Rozdělení na dvě části je použito z prostorových důvodů. Další možností je zvýšit počet buněk a tím snížit rychlost proudícího vzduchu. Opět je toto řešení nereálné z důvodu prostorových omezení.

Součinitele místních ztrát **požárních klapek** byly určeny z [50], **regulačních klapek** (při plném otevření $\alpha=0^\circ$) z diagramu (obr. 29) a **protidešťových žaluzií** z diagramu (obr. 30).



Obr. 29 - regulační klapka - tlakové ztráty Obr. 30 - protidešťový kryt - tlakové ztráty [52] [51]

Požární klapky jsou použity pouze u zařízení číslo 1. Pro klapky platí tyto parametry.

Tab. 40 - požární klapky - tlaková ztráta

| úsek | rozměr (AxB nebo d) | součinitel místní ztráty | rychlost vzduchu | celková tlaková ztráta |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|
| [-] | [mm] | [-] | [m/s] | [Pa] |
| zařízení číslo 1 | | | | |
| odvod | 500x400 | 0,346 | 3,72 | 2,88 |
| pří- vod | 500x400 | 0,346 | 3,72 | 2,88 |
| odvod | 315 | 0,438 | 3,92 | 4,04 |
| pří- vod | 315 | 0,438 | 3,92 | 4,04 |
| zařízení číslo 5 | | | | |
| odvod | 500x400 | 0,346 | 3,89 | 2,88 |
| pří- vod | 500x400 | 0,346 | 3,89 | 2,88 |

3.4 Větrání ostatních místností

Mimo výše popsané centrální vzduchotechnické jednotky jsou navrženy i lokální větrací systémy. Ve většině případů se jedná o podtlakové větrání s přirozeným přívodem vzduchu z okolních místností. K tomuto účelu jsou nade dveřmi do větraných místností umístěny stěnové

mřížky. Mřížky jsou navrhovány na rychlost vzduchu v efektivním průřezu menší než 1 m/s. V hranicích požárních úseků jsou použity požární větrací mřížky (obr. 31).



Obr. 31 - požární větrací mřížka [53]

3.4.1 Hygienické místnosti

Hygienické místnosti budou větrány podtlakově, objemy větracího vzduchu jsou určeny dle zařizovacích předmětů v souladu s vyhláškou č. 6/2003 Sb. [7]. Náhrada vzduchu je uvažována z okolních prostorů (chodby). Vzduch je odváděn kruhovým potrubím na střeše objektu. Potrubí je zakončeno dvěma segmentovými oblouky – 90°. Veškeré potrubní rozvody na střeše budou opatřeny tepelnou izolací tloušťky 10 cm s oplechováním. Toto je požadováno proto, aby nevznikal kondenzát na chladném povrchu vnitřních stěn odvodního potrubí. Voda by mohla následně stékat potrubím a případně se dostat až k ventilátoru nebo proniknout netěsnostmi mimo potrubní rozvody. Některá stoupačí potrubí jsou z tohoto důvodu opatřena v nejnižších bodech napojením na kanalizaci tak, aby byl umožněn odvod zkondenzované vody. Tato pojistka je použita pro odvádění většího množství vzduchu (např. výfuk zařízení číslo 5. – výkres 1. PP – poznámka ZTI).

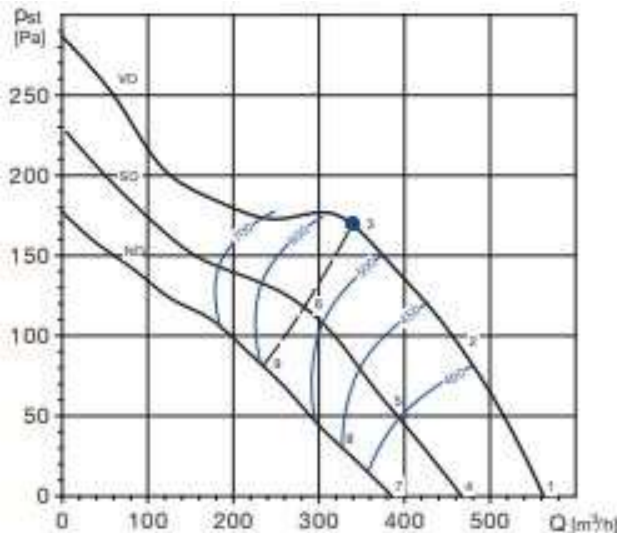
Tab. 41 - Hygienické místnosti - bilance větrání

| z. č. | m. č. | účel | objem vzduchu [m ³ /h] |
|---------------|-------|-----------------|--------------------------------------|
| 8.01 | -1.16 | WC | 50 |
| | -1.17 | Sprcha | 150 |
| | -1.18 | Úklidová komora | 50 |
| | -1.19 | Šatna | 50 |
| celkem | | | 300 |
| 8.02 | 1.07 | WC OTP | 80 |
| | 1.08 | WC muži | 160 |
| celkem | | | 240 |
| 8.03 | 1.09 | WC ženy | 210 |
| | 1.10 | Úklidová komora | 50 |
| celkem | | | 260 |

| | | | |
|-------------|------|--------------------------------|-----|
| 8.04 | 2.03 | WC a úklidová komora | 175 |
| 8.05 | 3.03 | WC + sprcha | 275 |
| 8.06 | 3.09 | Úklidová k. – vstup na střechu | 50 |

Zařízení 8.01 až 8.05 jsou potrubní axiální ventilátory. Součástí potrubí na straně odvodu jsou tlumiče hluku do kruhového potrubí pro průměr 150 mm, délky 900 mm. Poslední zařízení je radiální nástěnný ventilátor s požární úpravou. Podobně jako protipožární mřížky, hrdlo ventilátoru je vybaveno tzv. zpěňovacím krčkem, který v případě požáru ucpe potrubí nehořlavou hmotou a tím zamezí šíření požáru.

Při určování výkonnostních charakteristik byly použity opět podklady výrobce (např. obr. 32).



Obr. 32 - charakteristika ventilátoru (z. č. 8.01) [54]

3.4.2 Dílny

Pracovní prostory pro restaurování předmětů jsou vybaveny lokálními odvody vzduchu. Odvod je realizován nástřešním ventilátorem s regulací otáček. Jednotlivé odvodní místa jsou opatřena regulační klapkou se servopohonem. Dvě místnosti jsou vybaveny přípravou na skříňovou digestoř – potrubním rozvodem zakončeným na střeše objektu. Potrubí je dimenzováno na 250 m³/h.

Tab. 42 - dílny - větrání

| m. č. | účel | Objem vzduchu | Příprava pro digestoř |
|-------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| -1.08 | Špinavá dílna – kovy | 250 m ³ /h | ano |
| -1.10 | Špinavá dílna – keramika | 250 m ³ /h | ne |
| -1.11 | Čistá dílna – keramika | 250 m ³ /h | ne |
| -1.13 | Čistá dílna – kovy | 250 m ³ /h | ano |

3.4.3 Technické místnosti

Podtlakové nucené větrání o relativně nízkých průtocích vzduchu (50 m³/h) je navrženo ve v některých místnostech technického zázemí. V menších místnostech bez výrazných tepelných zisků je uvažováno s přirozeným větráním.

Tab. 43 - větrání technických místností

| m. č. | účel | Větrání | Chlazení |
|-------|--------------------------------|----------------------|----------|
| -1.04 | Serverovna | přirozené | ano |
| -1.05 | Strojovna VZT | 50 m ³ /h | ne |
| -1.06 | Strojovna ÚT, CHL | 50 m ³ /h | ne |
| -1.07 | Sklad | 50 m ³ /h | ne |
| -1.09 | Karanténa – sklad | přirozené | ne |
| -1.14 | Strojovna hydraulického výtahu | přirozené | ne |
| -1.21 | Záloha CBS | 50 m ³ /h | ne |

| | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------|----|
| 1.17 | EC sklad materiálu | přirozené | ne |
| 1.19 | EC Sklad mobiliáře | přirozené | ne |
| 1.22 | Příjem a sklad | přirozené | ne |
| 1.25 | Strojovna VZT | 50 m³/h | ne |
| 3.07 | Sklad | 50 m³/h | ne |

Místnost serveru je chlazena za pomoci split jednotky. Venkovní jednotka je umístěna na střeše objektu. Výkon vnitřní části zařízení je navržen na 3 kW. Jednotky jsou propojeny měděným potrubím s ekologickým chladivem R32 (hodnota GWP 675 [55]).

4 Simulace proudění vzduchu

Pro validaci navrženého systému je zpracována počítačová simulace proudění vzduchu pro všechny typy místností a objemových výměn vzduchu, které budou v prostorech použity. Cílem výpočtu je vyhodnocení rozložení stáří vzduchu a kontrola rychlosti proudění vzduchu. CFD model je zpracován v programu Star CCM+ v12.06.011 – R8. Přístup k tomuto softwaru a k potřebné výpočetní technice je zajištěn v počítačové učebně Energetického ústavu na oboru Techniky prostředí.

4.1 Stáří vzduchu

Stáří vzduchu (anglický název „age of air“) je parametr definovaný jako čas, který určité množství vzduchu stráví uvnitř sledovaného objemu. „Nejmladší“ vzduch je na vstupu do prostoru. „Nejstarší“ vzduch se může nacházet v některém místě v místnosti nebo v místě odvodu ze sledovaného objemu. Jednotky stáří vzduchu mohou být uváděny v sekundách (resp. minutách). Nejedná se přímo o určení efektivity větrání, nicméně tento parametr je všeobecně uznáván jako relevantní parametr pro zhodnocení kvality ovzduší. [8]

4.2 CFD model

Validace proudění vzduchu je zrealizována pro všechny místnosti depozitářů. V tab. 44 je přehled hlavních parametrů. Všechny depozitáře jsou navrženy s přívodem vzduchu pomocí textilních vyústek s jednobodovým odvodem vzduchu. Umístění elementů je navrženo tak, aby bylo docíleno co nejlepšího provětrání místnosti. Jedinou výjimku tvoří místnost č. 124, která svým umístěním v objektu a malými rozměry neumožňuje použití textilní vyústky. Místnost je větrána jednobodovým přívodem a odvodem vzduchu. Tyto jsou umístěny napříč místností. Je předpokládáno, že v tak malém objemu místnosti a větracího vzduchu se výrazně neprojeví toto zjednodušené řešení.

Tab. 44 - Bilance zkoumaných místností

| Č. m. | Objemový průtok | Hmotnostní průtok vzduchu | Délka vyústky | Průměr vyústky | Výstupní rychlost z vyústky | Objem místnosti | Výměna vzduchu |
|----------------|-------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| | m ³ /h | kg/s | m | m | m/s | m ³ | 1/h |
| 115,209 | 330 | 0,1104 | 8,65 | 0,20 | 0,0337 | 207,7 | 1,59 |
| 124 | 70 | 0,0234 | - | - | - | 40,3 | 1,74 |
| 127 | 590 | 0,1973 | 10,20 | 0,25 | 0,0409 | 391,5 | 1,51 |
| 213 | 590 | 0,1973 | 10,7 | 0,25 | 0,0390 | 380,6 | 1,55 |
| 205 | 330 | 0,1104 | 8,40 | 0,20 | 0,0347 | 216,2 | 1,53 |
| 206 | 170 | 0,0569 | 2,15 | 0,16 | 0,0874 | 94,8 | 1,79 |
| 207 | 250 | 0,0836 | 5,30 | 0,16 | 0,0521 | 160,3 | 1,56 |
| 208 | 170 | 0,0569 | 5,30 | 0,16 | 0,0355 | 104,6 | 1,63 |
| 305 | 360 | 0,1204 | 11,05 | 0,20 | 0,0288 | 237,9 | 1,51 |
| 308 | 230 | 0,0769 | 2,45 | 0,16 | 0,1038 | 149,2 | 1,54 |
| 310 | 180 | 0,0602 | 5,00 | 0,16 | 0,0398 | 115,0 | 1,57 |
| 311 | 330 | 0,1104 | 11,05 | 0,20 | 0,0264 | 236,0 | 1,40 |

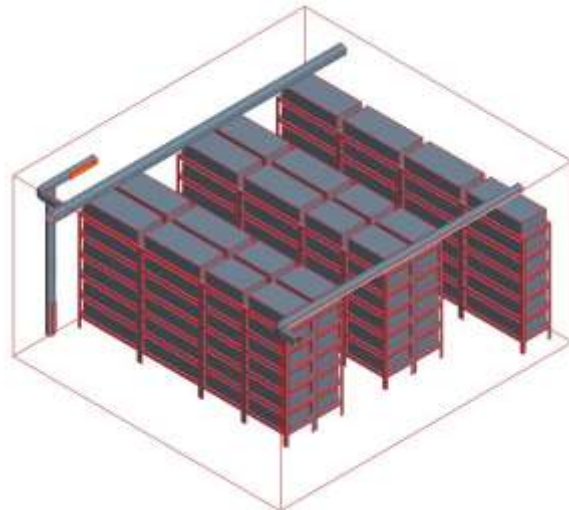
Pro výpočet hmotnostního toku je uvažována konstantní hustota vzduchu při barometrickém tlaku a pokojové teplotě.

V následujících odstavcích je popsán proces volby vhodné geometrie, fyzikálních modelů a výpočetní sítě.

4.2.1 Geometrie

Depozitáře jsou vybaveny třemi druhy regálů.

- Posuvnými regály, které lze modelovat jako neprůvzdušné, jelikož ve skutečnosti téměř neumožňují proudění vzduchu. Proto je lze modelovat jako jednoduché kvádry.
- Stacionárními regály (jejich reprezentace pro simulaci je na obr. 33), které na rozdíl od posuvných regálů nelze modelovat zjednodušeně. Předměty budou v depozitáři uloženy v krabicích. Jelikož v této fázi projektu není přesně dáno, jak budou předměty v regálech rozloženy, je stacionární regál modelován s předpokládaným rozložením skladovacích předmětů. V rámci CFD simulace je zachována předpokládaná průvzdušnost regálu a tím i výsledný vliv na celkové proudění vzduchu v místnosti.
- Neposuvnými regály. Tyto jsou modelovány stejně jako stacionární regály.

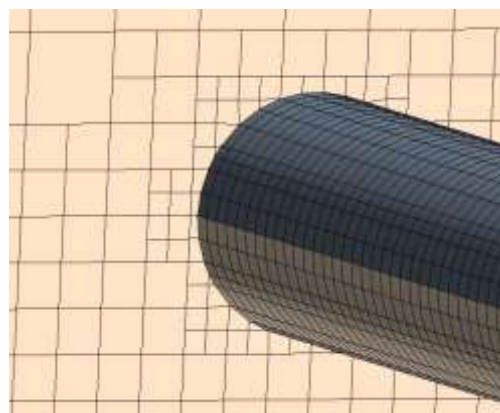


Obr. 33 – geometrie místnosti

Jako referenční geometrie byla vybrána místnost č. 310 (geometrie na obr. 33). Tato místnost je jeden z menších depozitářů, jednoduchého tvaru s typickým vybavením a rozložením vzduchotechnických a skladovacích zařízení. Lze tedy tuto místnost považovat za typickou a výsledky simulací v této místnosti považovat za vhodné pro použití v ostatních místnostech. Těmito výsledky je myšlena volba fyzikálních modelů, velikost a typizované rozložení výpočetní sítě (zjemnění sítě kolem vyústek apod.).

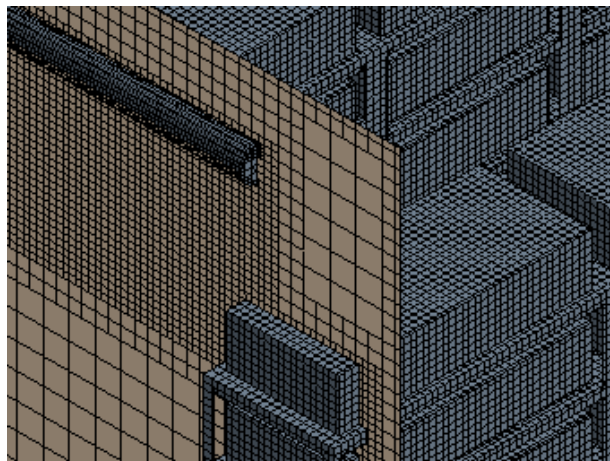
4.2.2 Výpočetní síť

Prvotní úvahou je volba typu výpočtové sítě. Je vybrána možnost Trimmer, neboli použití výpočtových buněk tvaru krychle, jako základního stavebního článku výpočtové sítě. Tato síť generuje na stejném objemu nejmenší počet výpočtových buněk v porovnání s ostatními alternativami. Jelikož místnosti jsou často rozlehlé a tvořené vesměs pravoúhlými a rovnými tvary, je tato volba ideální. Jedinou výjimku tvoří vzduchotechnické kruhové potrubí, které je modelováno pomocí hranolů nebo jiných tvarů tak, aby byl zachován oblý tvar potrubí. (obr. 34)



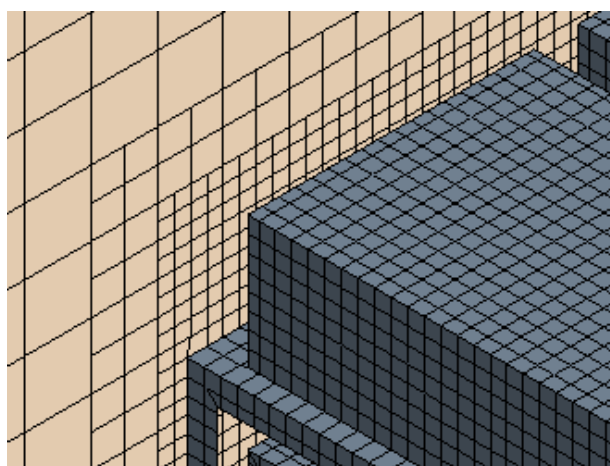
Obr. 34 – mesh, kruhové potrubí

V důležitých místech v místnosti je výpočtová síť zjemněna. Na **obr. 35** je vidět zjemnění sítě (50 % základní velikosti) v oblasti před vyústkami, kde lze předpokládat vyšší hodnoty rychlostních gradientů. Na **obr. 36** je zjemnění v blízkosti stacionárních regálů, to je realizováno buď pomocí kvádrů, ve kterých je definována jiná základní velikost buňky, nebo i zjemněním povrchové sítě regálů. Tímto by mělo být lépe zachyceno proudění v relativně úzkých kanálech mezi patry regálů.

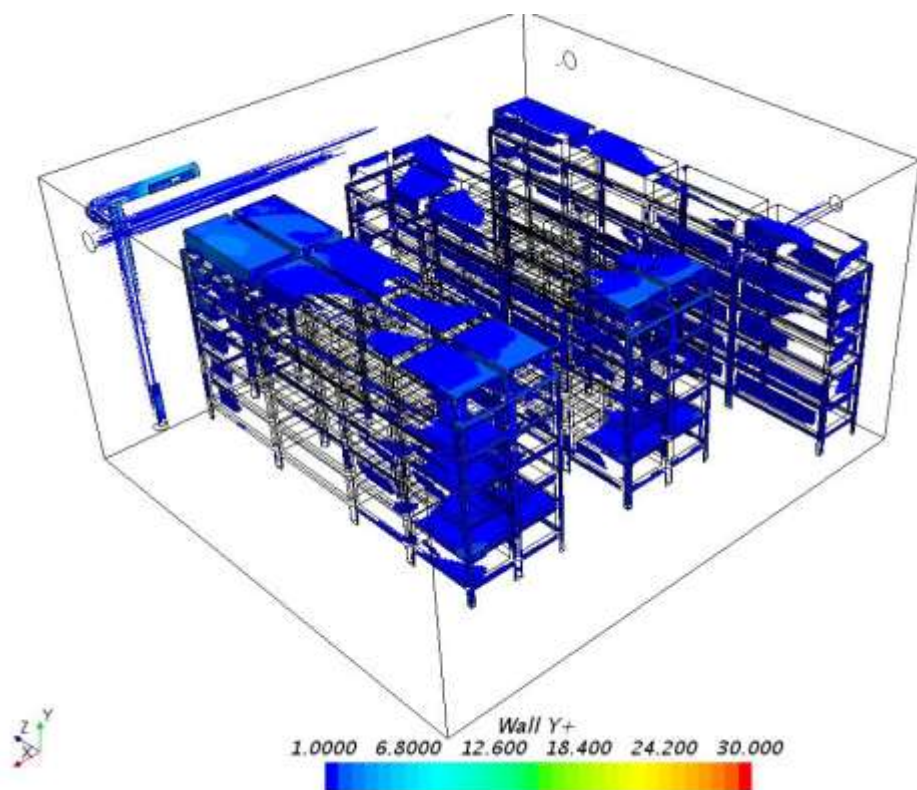


Obr. 35 – mesh, detail inlet

Z obrázků je dále vidět, že v použité výpočetní síti není použita prismatická mezní vrstva. Z důvodu časové náročnosti výpočtu je preferováno ošetření mezní vrstvy pomocí modelu „Realizable K-Epsilon Two-layer“. Tento model nevyžaduje modelování mezní vrstvy ve výpočtové síti. Model používá „all wall y+“ přístup pro ošetření mezní vrstvy. Pro tento přístup je dle návodu STAR-CCM+ adekvátní hodnota parametru „wall y+“ menší než 1, nebo větší než 30. Tato hodnota reprezentuje bezrozměrnou vzdálenost od stěny. Závisí na šířce buňky a rychlosti média u povrchu. Ke kvalitativnímu zhodnocení tohoto parametru může sloužit obr. 37. Na vykreslených plochách je nevyhovující hodnota „wall y+“. Nicméně z barevného rozložení je vidět, že se hodnoty pohybují blízko hodnotě 1. Taktéž většina ploch je nevykreslených (vyhovujících). Lze tedy usuzovat, že nedojde k výrazné chybě použitím tohoto ošetření mezní vrstvy.



Obr. 36 – mesh, detail regálu

**Obr. 37 - wall y+**

Pro volbu základní velikosti výpočtového elementu byl proveden **Grid independence test**, neboli ověření nezávislosti sítě na výsledcích simulace.

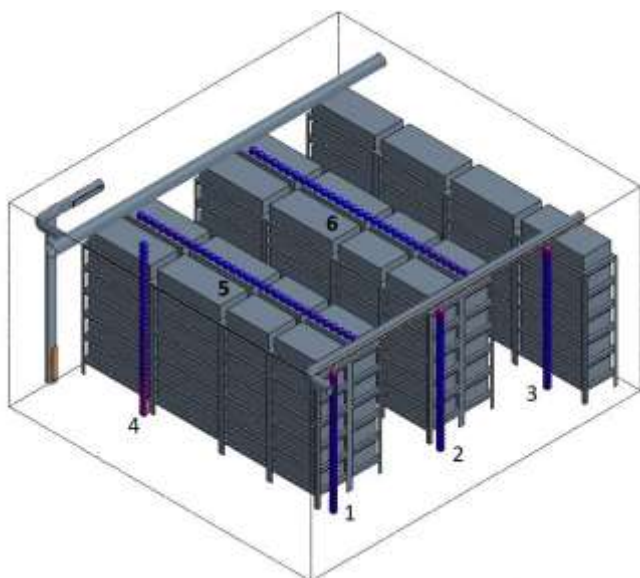
Test spočívá ve srovnání různých výpočetních sítí o různých počtech výpočetních buněk. Kontrolovanou veličinou je rychlost proudění. K tomu jsou použity lineární (přímkové) sondy. Umístění lineárních sond v místnosti lze vidět na obr. 38. Sondy se skládají z třiceti bodů ekvidistantně umístěných v přímce. V každém bodě je zachycena velikost rychlosti proudění vzduchu. Ve zkoumaných místech pod přírodní vyústkou (sondy 1 – 3) je předpokládána snižující se rychlost proudění se zvětšující se vzdálenosti od vyústky. U lineární sondy (sonda 4) umístěné u odvodní vyústky lze předpokládat zvýšenou rychlost zejména v blízkosti odvodu vzduchu. Lineární sondy nad regály (sonda 5 a 6) lze považovat za orientační, jelikož nelze předem předpokládat velikost rychlosti proudění v těchto bodech.

Srovnání proběhlo pro následující varianty:

Tab. 45 - Grid Independence test - přehled

| Typ výpočtové sítě | Základní velikost výpočtové sítě | Počet buněk |
|--------------------|----------------------------------|-------------|
| [-] | [m] | [-] |
| Trimmer | 0,07 m | 796 138 |
| Trimmer | 0,06 m | 1 172 097 |
| Trimmer | 0,05 m | 1 874 341 |
| Trimmer | 0,04 m | 3 279 340 |

V příloze 6 jsou uvedeny grafy pro výsledné rychlosti vzduchu ve sledovaných bodech. Le-



Obr. 38 - Lineární sondy

genda je uvedena pouze v prvním grafu, pro ostatní jsou datové řady stejné.

Na základě výsledků lze konstatovat, že s měnící se jemností sítě se výsledek výrazně neliší. Zejména u prvních tří sond je průběh rychlostí velmi podobný, korespondující s předpokládaným průběhem uvedeným výše. Stejně tak u ostatních sond jsou průběhy jak charakterem (tvarem rychlostního profilu) tak i velikostí rychlosti velmi podobné. Zároveň se zvyšující se jemností sítě hodnota rychlosti konverguje k určité hodnotě. Lze tedy usuzovat, že simulace je nezávislá na velikosti buňky výpočetní sítě.

S přihlédnutím k výsledkům a časové optimalizaci výpočtu je volená základní velikost pro další výpočty **0,06 m**.

Na vybrané výpočetní síti byla dále provedena simulace za použití laminárního fyzikálního modelu. Tato alternativa je modelována, jelikož z charakteru proudění (nízké přívodní rychlosti, absence teplotních gradientů) je patrné, že hodnota Reynoldsova čísla bude nízká a proudění může mít charakter laminárního proudění. Výsledky simulace jsou prezentovány v grafech pro test nezávislosti sítě (příloha 6). Rychlosti jsou tedy sledovány ve stejných místech a v grafech jsou prezentovány zelenou barvou.

Ověření vhodnosti lineárního modelu proudění - v prvních třech grafech se jak turbulentní, tak i laminární model chová srovnatelně. Nicméně u lineárních sond 4, 5 a 6 se chová odlišně. A to jak co se týče velikosti rychlosti, tak i rozložení rychlostí – vyskytují se zde větší změny rychlosti mezi sousedními body. Z těchto důvodů lze považovat lineární model jako nevyhovující.

4.2.3 Fyzikální model a okrajové podmínky

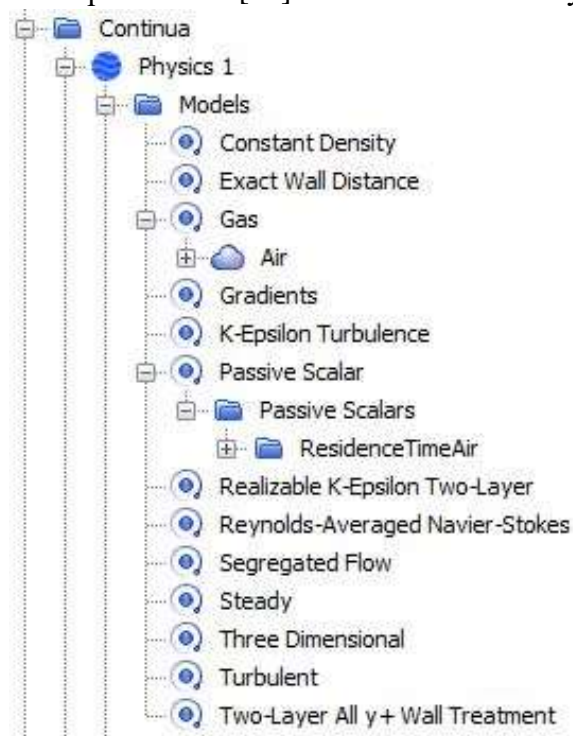
Důležitým faktorem pro spolehlivé výsledky simulace je zvolený fyzikální model a okrajové podmínky. Pro jednoznačné ověření CFD simulace je nutno provést měření. Jelikož však projekt v současnosti není realizován, není možné měření provést. Fyzikální předpoklady pro výpočet jsou tedy odhadovány dle charakteristiky místnosti, uvedeno na obr. 39 a doplňující nastavení uvedeno v tab. 46.

Tab. 46 - Fyzikální a okrajové podmínky

| Typ | Popis |
|----------------|---|
| Přívod vzduchu | Zadán hmotnostní průtok (vzduch proudí ve směru normály na povrch přívodní vyústky, rovnoměrně po celé ploše) |

| | |
|---------------|--|
| Odvod vzduchu | Zadán volný tlakový výstup (odvod vzduchu klade nulový odpor odváděnému vzduchu), definovaná podmínka množství odváděného vzduchu (stejný hmotnostní průtok jako přiváděný vzduch) |
| Stěny | Podmínka nulové rychlosti na povrchu |

Předmětem simulace je zjištění průměrných hodnot veličin v prostoru. Proto je použito rovnic „Reynolds-Averaged Navier-Stokes“. Turbulentní model „K-Epsilon“ je volen na základě poznatků z [57]. Tento článek se zabývá srovnáním turbulentních modelů s experimentálními výsledky. Množství výpočtových buněk se pohybuje kolem 1 350 000, použit je taktéž stejný způsob ošetření mezní vrstvy. Výsledky jsou uspokojivé pro K-Epsilon modely. [57]



Obr. 39 - fyzikální modely

Místnosti deponitářů jsou přizpůsobeny ke skladování exemplářů. Původní okna jsou zazděna a fasáda je izolována. V místnostech se nenacházejí lidé, ani jiné zdroje škodlivin, tepla nebo vlhkosti. V místnosti lze předpokládat, že se zde nebudou vyskytovat teplotní ani vlhkostní gradienty. Použitím zjednodušujících předpokladů uvedených v tab. 46 se nedopustíme výrazné odchylky od skutečného stavu.

Místnosti deponitářů jsou přizpůsobeny ke skladování exemplářů. Původní okna jsou zazděna a fasáda je izolována. V místnostech se nenacházejí lidé, ani jiné zdroje škodlivin, tepla nebo vlhkosti. V místnosti lze předpokládat, že se zde nebudou vyskytovat teplotní ani vlhkostní gradienty. Použitím zjednodušujících předpokladů uvedených v tab. 46 se nedopustíme výrazné odchylky od skutečného stavu.

4.2.4 Průběh výpočtu

Z hlediska průběhu výpočtu lze konstatovat, že výpočty ve většině případů konvergovaly úspěšně. Požadovaná hodnota reziduí je 10^{-4} během 3000 iterací. Při dosažení těchto limitů (počet iterací, nebo přesnost reziduí) je výpočet ukončen.

4.3 Vyhodnocení stáří vzduchu

4.3.1 Popis simulace

Požadovaná výměna vzduchu je 1,5 násobná za hodinu. Tomu odpovídá, že veškerý vzduch v místnosti by se měl kompletně vyměnit každých 45 minut. Tedy optimální (požadované) stáří vzduchu je 2700 sekund.

Místnosti mohou být větrány ve dvou režimech odvodu vzduchu:

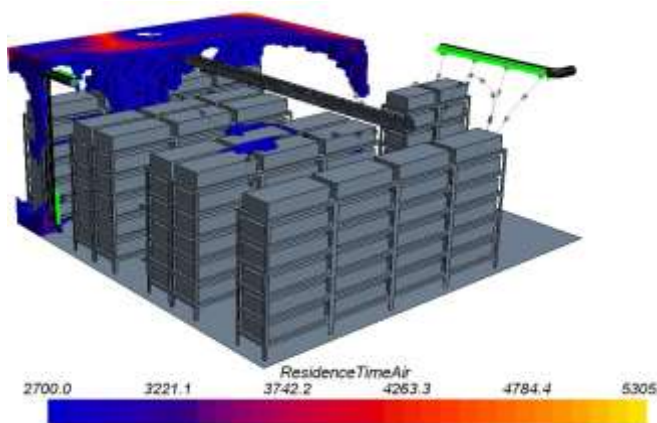
- odvádění vzduchu vyústkou umístěnou u stropu,
- odvádění vzduchu vyústkou umístěnou u podlahy.

Pro průběžné větrání je uvažováno s použitím vyústek u stropu. Vyústky u podlahy jsou do projektu zakomponovány na přání investora, za účelem možnosti odvětrání plynů nebo nečistot těžších než vzduch. Součástí simulace bude i srovnání vlivu umístění odvodní vyústky na celkovou, případně lokální, kvalitu větrání.

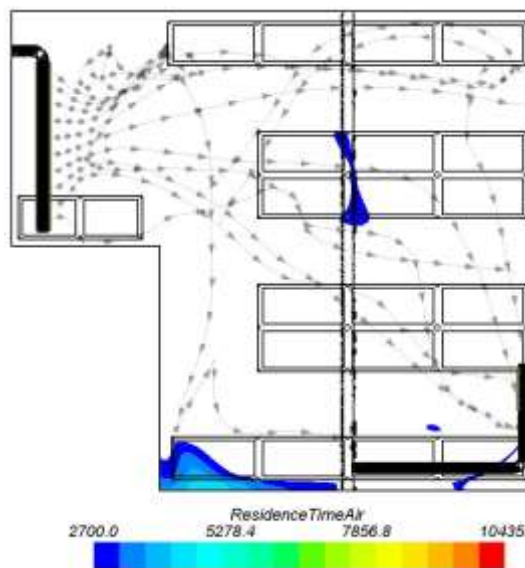
Výsledky jsou zpracovány jak kvalitativně, tak kvantitativně. Pro každou místnost je uveden orientační snímek se zvýrazněnými oblastmi s nevyhovujícím stářím vzduchu (obr. 41).

Snímky jsou pořízeny zejména pro přibližnou orientaci. Jejich účelem je vizualizace tvaru místnosti, rozložení vyústek a rozložení stáří vzduchu. Vyústky jsou zvýrazněny světle zelenou barvou. Buňky, ve kterých je stáří vzduchu větší než 2700 sekund, jsou zvýrazněny dle barevného schématu uvedeného ve spodní části obrázku. Číselné hodnoty jsou uvedeny v sekundách. Součástí obrázku jsou proudnice sledující proudění vzduchu od přívodní vyústky. Obrázky jsou za účelem co nejlepšího přiblížení tvaru a rozložení v jednotlivých místnostech různě natočeny. Zároveň mohou sloužit pro orientační srovnání výše zmíněných způsobů odvodu vzduchu.

Druhým kvalitativním výstupem je půdorysný pohled na větranou místnost. (obr. 42) Na obrázku lze vidět obrysy regálů, černými čarami je zvýrazněno kruhové vzduchotechnické potrubí. Tmavě zelenou barvou jsou zvýrazněny vyústky. Ve výšce 1,27 m nad úrovní podlahy je umístěna kontrolní rovina, na které je zobrazeno stáří vzduchu nad 2700 sekund. Barevná škála je opět uvedena ve spodní části obrázku, číselné hodnoty jsou uvedeny v sekundách. Součástí obrázku je naznačení proudění vzduchu pomocí proudnic. Výška sledované hladiny prochází střední částí regálů, lze z ní usuzovat, kde se vyskytují místa s horší kvalitou vzduchu.



Obr. 41 – Pohled z perspektivy, m.č. 308



Obr. 42 - Půdorysný pohled, m.č. 308

Celkem jsou tedy prezentovány dva orientační náhledy a dvě mapy stáří vzduchu pro každou místnost. Tyto výsledky jsou uvedeny v příloze 7.

4.3.2 Hodnocení stáří vzduchu

Pro kvantitativní zhodnocení celkové kvality větrání jsou ze simulace vybrány informace o objemu vzduchu v místnosti, objemu vzduchu staršího než 2700 sekund a hodnota průměrného stáří vzduchu. Uvedeno v následující tabulce.

Tab. 47 - Staří vzduchu vyhodnocení

| Místnost číslo | Odvod | Objem místnosti | Objem nevyhovujícího vzduchu | Průměrné stáří vzduchu | Procentuální podíl nevyhovujícího vzduchu |
|----------------|-----------|-------------------|------------------------------|------------------------|---|
| [-] | [-] | [m ³] | [m ³] | [s] | [%] |
| 115 | U stropu | 131,66 | 8,58 | 1138 | 6,5 |
| | U podlahy | | 14,05 | 1322 | 10,7 |
| 124 | U stropu | 31,63 | 0,00 | 1127 | 0,0 |
| | U podlahy | | | | |
| 127 | U stropu | 238,87 | 12,72 | 1056 | 5,3 |
| | U podlahy | | 15,53 | 1088 | 6,5 |
| 205 | U stropu | 133,70 | 4,98 | 1137 | 3,7 |
| | U podlahy | | 5,81 | 1190 | 4,3 |
| 206 | U stropu | 78,50 | 0,57 | 1091 | 0,7 |
| | U podlahy | | 0,40 | 1119 | 0,5 |
| 207 | U stropu | 122,00 | 7,87 | 1258 | 6,5 |
| | U podlahy | | 9,55 | 1310 | 7,8 |
| 208 | U stropu | 84,18 | 6,76 | 1314 | 8,0 |
| | U podlahy | | 9,51 | 1409 | 11,3 |
| 213 | U stropu | 258,59 | 24,20 | 1156 | 9,4 |
| | U podlahy | | 29,35 | 1185 | 11,4 |
| 305 | U stropu | 155,24 | 14,49 | 1623 | 9,3 |
| | U podlahy | | 23,02 | 1697 | 14,8 |
| 308 | U stropu | 124,66 | 8,80 | 1370 | 7,1 |
| | U podlahy | | 6,08 | 1310 | 4,9 |
| 310 | U stropu | 95,16 | 12,38 | 1617 | 13,0 |
| | U podlahy | | 15,15 | 1685 | 15,9 |
| 311 | U stropu | 152,96 | 19,44 | 1731 | 12,7 |
| | U podlahy | | 31,85 | 1912 | 20,8 |

Ve většině případů dle tab. 47 vychází celkové parametry pro odvod vzduchu u země hůře, než pro odvod vzduchu u stropu. Na první pohled se může zdát, že vyústka umístěná u země umožňuje provětrání napříč místností i ve vertikálním směru, tudíž by měla zaručit rovnoměrnější proudění vzduchu a zabránit recirkulaci a místům s vysokým stářím vzduchu. To však nemusí být po hlubším zkoumání pravda. Při pohledu na (obrázek – rychlostní profil – inlet) je vidět, že vzduch je z textilní vyústky přiváděn relativně nízkou rychlostí směrem kolmým k podlaze. Z důvodu nízké míry turbulence se dostane až do spodní části místnosti a odtud je až odváděn k odvodu vzduchu. Z toho vyplývá, a potvrzují to i vizualizace některých místností, že při odvodu vyústkou u podlahy vzduch zůstává přilnut k podlaze a zhoršuje se kvalita vzduchu zejména u stropu a horní části regálů. Na rozdíl od toho pomocí odvodu vzduchu u stropu docílíme zpětného nasávání vzduchu od podlahy ke stropu. Tak je docíleno obecně lepšího provětrání. Výsledkem simulace je tedy doporučení, aby bylo používáno pro běžné větrání vyústky u stropu.

Konkrétnější zhodnocení pro jednotlivé místnosti:

- **Místnost číslo 115 (209)**

Tyto místnosti jsou co do rozložení vzduchotechnických elementů a vnitřního vybavení identické. Při použití odvodu od podlahy se proud vzduchu výrazně zkratuje a téměř neprovětrá prostor za posuvným regálem (prostor stacionárního regálu). Použitím odvodu u stropu se situace výrazně zlepší.

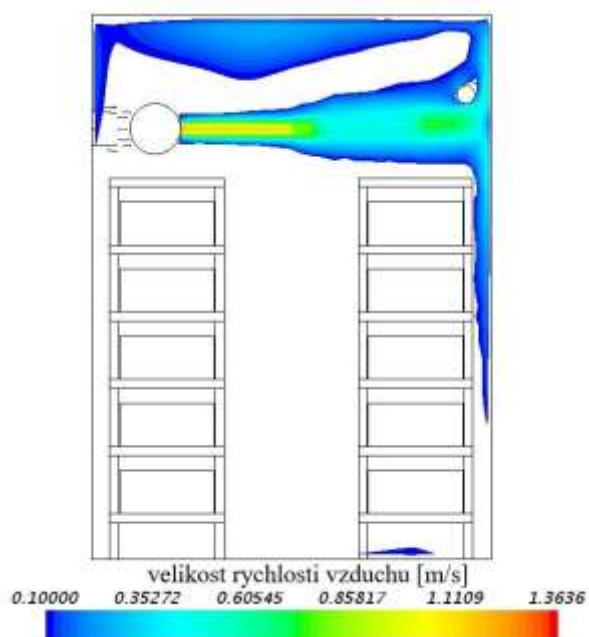
Za pozornost stojí i vysoké stáří vzduchu v mezeře mezi posuvným regálem a stěnou. Tento jev však může být ve skutečnosti menší, jelikož i posuvný regál má určitou průvzdušnost, která však v simulaci není zohledněna.

- **Místnost číslo 124**

Zde je situace výjimečná, jedná se o malý prostor, větraný pomocí obdélníkových vyústek. Jak lze vidět z výsledků simulace, na kvalitu vzduchu to nemá vliv. Dokonce parametry z hlediska stáří vzduchu vycházejí nejlépe právě v této místnosti (absence mapy stáří vzduchu znamená, že se ve zkoumané rovině nevyskytuje vzduch s nevyhovujícími parametry). Vzhledem k vyobrazeným proudnicím je důvodné zkontrolovat rychlost vzduchu v místnosti. Přívodní vyústka je volena záměrně menšího průřezu, jelikož se místnost nachází přímo vedle strojovny vzduchotechniky. Je tedy první místností za vzduchotechnickou jednotkou a zároveň požadovaný odběr vzduchu je relativně malý. Tyto skutečnosti mohou mít negativní vliv na regulaci a následnou hlučnost. Tyto vlivy nejsou v simulaci zohledněny. Taktéž skutečný proud vzduchu nejspíše nebude proudit kolmo k ploše vyústky, nicméně bude proudit směrem do místnosti vlivem kinetické energie proudění v potrubí. Tato skutečnost bude mít vliv zejména na rozložení rychlostí v místnosti. Z výše uvedených obrázků je patrné, že rychlosti v místnosti, zejména před přívodní vyústkou, jsou řádově vyšší než v ostatních místnostech řešených pomocí textilních vyústek. To může zapříčinit vyšší intenzitu víření prachu v místnosti. Vyšší rychlost vzduchu v prostoru před vyústkou není podstatná, vzhledem k tomu, že se v místnosti nebudou dlouhodobě zdržovat lidé.

- **Místnost číslo 127**

Vzhledem k rozměrnosti místnosti nemá na kvalitu vzduchu velký vliv umístění odvodní vyústky. Nedostatkem počítačové simulace v tomto případě je, že místnosti 127 a 213 jsou propojeny schodištěm. Tudy může proudit vzduch mezi místnostmi. Tento vliv je zanedbán a místnosti jsou simulovány odděleně. I přesto však lze důvěřovat výsledkům ve smyslu roz-



Obr. 43 - rozložení rychlostí - m. č. 124

ložení kvality vzduchu v místnosti. Jako nevhodný prostor vychází prostor stacionárního regálu v pravém horním rohu obrázku v příloze. Tento prostor je nejodlehlejší vzhledem k umístění vzduchotechnických elementů.

- **Místnost číslo 205**

Místnost je velmi podobná místnostem 115 (209). Nicméně kvůli menším rozdílům v objemu vzduchu, tvaru místnosti a vnitřního vybavení je provedena samostatná simulace. Tyto mírné rozdíly však nemají vliv na charakter provětrání a výsledky jsou podobné. V mezeře mezi posuvným regálem a rohem místnosti (pravý dolní roh) je mapa stáří vzduchu nevykreslena. To souvisí s podmínkou programované funkce pro stáří vzduchu, která filtruje buňky, ve kterých stáří vzduchu překročí určitou hodnotu. Takto lze zabránit rostoucí hodnotě stáří k nekonečnu. V rohu místnosti lze předpokládat téměř nulový pohyb vzduchu. Opět to odpovídá výsledkům a závěrům uvedeným u místností číslo 115 (209).

- **Místnost číslo 206**

Prostor je menší, vybaven stacionárními regály. Z hlediska kvantitativního je prostor větrán ideálně a nevyhovující parametry vzduchu se zde téměř nevyskytují. Z map a orientačních pohledů je vidět, že nejhůře je větrán prostřední regál. Tento výsledek je neočekávaný. Dlouhý regál (pravá strana obrázku mapy stáří vzduchu) je v místnosti nejdále od odvodní vyústky. Nicméně v pravém dolním rohu (mapa stáří vzduchu) je vidět, že zde dochází k recirkulaci a právě prostřední regál je vzduchem obtékán. Tento výsledný jev je však zatížen nejistotou – nevíme, jak budou regály obsazeny. Pokud by regály byly prázdné, prostřední regál by nejspíše nebyl obtékán vzduchem a charakter proudění by se změnil.

- **Místnost číslo 207**

Tento prostor je opět obsazen stacionárními regály. Místnost je větších rozměrů. Z pohledových obrázků je vidět, že u stropu a v horní části regálů je kvalita vzduchu nižší. Vzduch má tendenci proudit uličkami mezi regály a to i při použití odvodu vzduchu u stropu. Z map stáří vzduchu by se mohlo zdát, že vhodnější varianta v této místnosti je odvod vzduchu u podlahy. Nicméně z tab. 47 vyplývá, že celková kvalita vzduchu je lepší v případě opačném. Opět zde hraje roli i nejistota v podobě zaplněnosti regálů.

- **Místnost číslo 208**

Zde nastává obdobná situace jako v předchozí místnosti. Vliv odvodu vzduchu vyústkou u stropu je zde markantnější, nicméně celková kvalita vzduchu je zde horší. Zde je nejhůře větrán delší regál (pravá strana obrázku – mapa stáří vzduchu).

- **Místnost číslo 213**

Tento prostor je ve skutečnosti propojen s místností č. 127. Charakter místností i výsledky jsou zde velmi podobné.

- **Místnost číslo 305**

Situace velmi podobná jako v místnosti č. 205. Místnosti jsou v patře nad sebou, ze stavebního hlediska a vnitřního zařízení jsou identické. Z hlediska vzduchotechniky je zde malý rozdíl (z důvodu rozdílu rozvodů potrubí do místností). Z grafických i číselných výstupů lze velmi dobře vidět pozitivní vliv odvodu vzduchu vyústkou u stropu.

- **Místnost číslo 308**

Tento prostor se jako jediný zcela vymyká obecnému závěru o vhodnosti odvodu vzduchu u stropu. Zde vychází jako lepší varianta odvod vzduchu u podlahy a to zejména pro kvalitu vzduchu v prostoru regálu umístěného u odvodních vyústek (spodní část mapy stáří vzduchu). Pod přívodní vyústkou lze vidět zúžení proudu vzduchu. Vyústka je poměrně krátká, v tab. 44 je uvedena rychlost proudění vzduchu z přívodní vyústky. Tato vyšší rychlost a poměrně úzký proud vzduchu napomáhá recirkulaci v místnosti obecně a zejména v pravém dolním rohu mapy stáří vzduchu. Tento prostor je dispozičně náchylnější na zhoršení výměny vzduchu.

- **Místnost číslo 310**

Tato místnost má ze všech simulací nejhorší parametry. Zejména regály odlehlé od odvodních vyústek jsou větrány nedostatečně. Opět zde vystupuje nejistota zaplněnosti regálu. Je důvodné očekávat, že s menší obsazeností regálů bude provětrání místnosti a zejména exemplářů umístěných v regálech lepší.

- **Místnost číslo 311**

Situace obdobná jako v místnostech č. 305, 205 a dalších. Opět je zde vhodnější použití odvodu vzduchu u stropu.

4.3.3 Návrh zlepšení kvality větrání

Pro zlepšení kvality vnitřního mikroklimatu lze navrhnout více řešení. Mezi nejjednodušší řešení mohou patřit :

- **Použití více odvodních vyústek.**

Zejména pro rozlehlější místnosti (m. č. 127, 213) by se jednalo o výrazné zlepšení kvality provětrání. Ve fázi vytváření projektu byl brán zřetel i na minimalizaci rozvodů potrubí ve větrané místnosti – z důvodu usazování prachu a nečistot na špatně dosažitelných a čistitelných místech. V těchto místnostech se však návrh rozmístění vzduchotechnických prvků na základě tohoto parametru ukázal jako nevhodný. Taktéž pro místnosti menší, avšak s vyšší hustotou uložených exponátů by bylo důvodné použití více odvodních míst.

Z hlediska ekonomického by se jednalo o nepatrné navýšení nákladů.

- **Zvýšení intenzity výměny**

Tímto opatřením by se zvýšila rychlost a turbulence vzduchu. Zdali by však došlo ke zlepšení kvality vzduchu je nejisté.

Taktéž, jak vyplývá z výsledků v následující kapitole, toto řešení by nebylo ekonomické.

Z těchto důvodů lze považovat za nejefektivnější řešení použití **více odvodních vyústek**.

5 Energetická simulace

Cílem této kapitoly je zhodnotit výše uvedený návrh větrání z hlediska provozních nákladů. K tomuto je použit simulační program TRNSYS18 (Transient System Simulation Tool). Přístup k tomuto softwaru a k potřebné výpočetní technice je zajištěn v počítačové učebně Energetického ústavu na oboru Techniky prostředí.

Níže jsou zpracovány simulace systému větrání depozitářů a edukačního centra a odhady energetické náročnosti pro chlazení a vytápění celého objektu.

Celkem jsou simulovány provozy tří vzduchotechnických jednotek. První dvě slouží k větrání depozitářů, třetí k větrání edukačních místností. V simulacích jsou použity HVAC prvky, které jsou součástí rozšíření Trnsys (TESS library), rovnice pro jednoduché řízení, přepočty jednotek nebo psychrometrické výpočty. K simulaci provozu edukačních místností je použit model multizonální budovy.

Základem pro modely je datový soubor obsahující meteorologická data pro průměrný rok. Pro objekt muzea je použit soubor ze stanice Kuchařovice. Z České republiky jsou dostupná data pro Prahu, Ostravu, Hradec Králové, Churáňov a Kuchařovice. Zvolený datový soubor nejlépe odpovídá charakteru prostředí v okolí muzea – venkov, nížina a stejně jako obec Předklášteří se obec Kuchařovice nachází poblíž menšího města. Informace o stavu vzduchu a slunečního záření v průběhu roku slouží jako vstupní data pro simulace.

5.1 Spotřeba energie pro větrání depozitářů

5.1.1 Popis simulace - depozitáře

Simulace je provedena dle skutečného průběhu úprav vzduchu (směšování, chlazení, ohřev a vlhčení). Je uvažován nepřetržitý provoz zařízení. Jelikož je uvažováno s konstantní teplotou a vlhkostí vzduchu v depozitářích, lze simulaci systému větrání provést samostatně, bez simulace tepelného chování budovy. V prostorech jsou uvažovány sezónní útlumy teplot v závislosti na ročním období. Odhad sezónních teplot je uveden v tab. 48. Model je popsán v tab. 49. Každá úprava vzduchu je ošetřena jinými prvky (např. Type3c), které jsou součástí programu Trnsys a umožňují grafické a numerické zpracování systému. Prvek rovnice, neboli „Equation“ umožňuje nadefinovat vlastní veličiny a vlastní rovnice. Tyto prvky jsou použity např. pro přepočty jednotek (kJ/h na kW), pro rovnice směšování, jednoduché řízení a další.

Tab. 48 - sezónní průběhy teplot - depozitáře

| měsíc | teplota |
|----------------------------|--------------------|
| 1. leden – 31. březen | 18 °C |
| 1. duben – 31. květen | přechod 18 – 23 °C |
| 1. červen – 31. srpen | 23 °C |
| 1. září – 31. říjen | přechod 23 – 18 °C |
| 1. listopad – 31. prosinec | 18 °C |

Tab. 49 - popis modelu - depozitáře

| funkce | prvek | popis |
|-----------|----------|--|
| směšování | Equation | Vypočteno pomocí psychrometrických rovnic s použitím hmotnostních průtoků vlhkého vzduchu. |

| | | |
|-------------------------|-----------------------|---|
| ventilátory | Type3c | Výkony zadány dle výpočtů v kapitole 3.1.3. Je uvažováno s 60% účinností ventilátorů – zbytek energie je přenesen do proudu vzduchu v podobě citelného tepla. Regulace průtoku je uvažována pouze u venkovního okruhu, podrobněji uvedeno níže. |
| tepelné čerpadlo | Type508c, Type508d | V simulaci je nahrazeno modelem dvou vodních chladičů bez obtoku. Výkon chladičů je řízen změnou obtokového součinitele. Podrobněji je systém popsán níže. Průtok vody je nastaven na velmi vysokou hodnotu tak, aby bylo možné teplotu chladicí vody považovat za konstantní, odpovídající teplotě vypařování chladiva. Parametr EER je odhadnut a považován za konstantní (hodnota rovna 3). První chladič je řízen dle požadované výstupní teploty a druhý dle měrné vlhkosti. |
| vodní ohřivač | Type754e | Modelován pomocí vodního ohřivače řízeného výstupní teplotou. Prvek dodává aktuálně potřebné množství citelného tepla. Je sledováno množství energie předané vzduchu. |
| parní zvlhčovač | Type754h | Prvek nerozlišuje druh zvlhčovače. Je řízen požadovanou relativní vlhkostí. Je sledováno množství energie předané vzduchu. |
| sezónní teploty | Type14e | „Forcing function“ udávající požadované teploty v průběhu roku. Sezónní teploty jsou uvedeny v tab. 48. |
| regulace | Type33, Type85 | V potřebných místech jsou použity bloky pro dopočet parametrů vzduchu (Type33). Zvlhčovač je řízen signálem z čidla vlhčení (Type85). |
| grafické výstupy | Type65 | Pro kontrolu a grafický výstup hodnocených veličin jsou použity grafy integrované v programu Trnsys. |
| suma energií | Type55 | Pro sumu potřebné energie je použit integrál (resp. suma) aktuálních výkonů. Je sledován aktuální výkon chlazení, ohřevu, ventilátorů, kompresoru a zvlhčovače. Do celkové energetické sumy je započítána energie pouze pro provoz kompresoru. |

Při tvorbě modelu pro větrání depozitářů byly zavedeny následující **zjednodušení**.

- řízení ventilátoru pro venkovní okruh je nastaveno na 10 % maximálního výkonu, pokud není potřeba chlazení nebo odvlhčení a 100 % maximálního výkonu při požadavku na provoz tepelného čerpadla.

Ve skutečnosti bude ventilátor řízen frekvenčním měničem a otáčky budou regulovány dle aktuální potřeby chlazení nebo odvlhčení. Toto zjednodušení může vést k vyšší energetické spotřebě v modelu. Zároveň je možné, že z důvodu chlazení ventilátoru proudem vzduchu bude muset přes ventilátor proudit větší množství vzduchu než výše zmíněných 10 %.

- Tepelné čerpadlo je nahrazeno dvěma modely vodního chladiče. Je sledován aktuální chladicí výkon. Energetická spotřeba kompresoru je získána pomocí odhadu EER zařízení. Hodnota EER je volena 3. Namísto poměrně složitěho systému řízení obtoku je uvažováno dvoupolohové řízení obtokového součinitele 0,908 (resp. 0.8). Tyto hodnoty vznikly vynásobením obtokového součinitele 0,4 a zlomku průtoku proudícího chladičem rovnému 0,23 (resp. 0,5). Tímto je zajištěno snížení výkonu chladiče při nižší potřebě chlazení.

Tímto zjednodušením vzniká odchylka od skutečných provozních parametrů. V provozu se mění COP i další parametry. Jelikož však program nenabízí tepelné čerpadlo s plynule regulovatelným výkonem, je tento způsob přesnější než použití dvoupolohové regulace na modelu založeném na mapě naměřených provozních hodnot (neopodstatněné přechlazování vzduchu). Modelovaná regulace je jednoduchá a energeticky srovnatelná se skutečnou regulací.

- Úpravy vzduchu jsou nastaveny na přesné požadované parametry přiváděného vzduchu. Nejsou uvažovány dynamické změny stavu vzduchu ve větraných prostorech.

V reálném provozu bude systém zatížen nepřesnostmi při úpravách vzduchu, stav vzduchu se bude měnit z důvodu simultánního provozu systému chlazení (chladicí stěny), prostupu tepla z venku a možným uvolňováním vlhkosti ve vnitřním prostředí. Vliv těchto faktorů je minimalizován na úrovni stavebních úprav i systému chlazení (resp. vytápění). Proto by nemělo dojít k velkým relativním chybám mezi simulací a reálným provozem.

- Prvky měření a regulace nejsou součástí modelu. Jednotlivé zařízení jsou řízeny signálem „on/off“ a dodávaný výkon odpovídá aktuální potřebě energie pro změnu stavu vzduchu.

Ve skutečné aplikaci lze očekávat zvýšení energetické náročnosti v důsledku energetických ztrát, které nejsou v simulaci uvažovány. Dále není modelován systém měření a regulace, jehož provedení definuje konečnou spotřebu.

- Není uvažováno s účinnostmi zařízení pro zdroje tepla, ztrátami potrubních rozvodů a dalšími.

5.1.2 Výsledky simulace – deponitáře

Výstupem simulace jsou jednak aktuální výkony zařízení, tak i celková energie pro provoz.

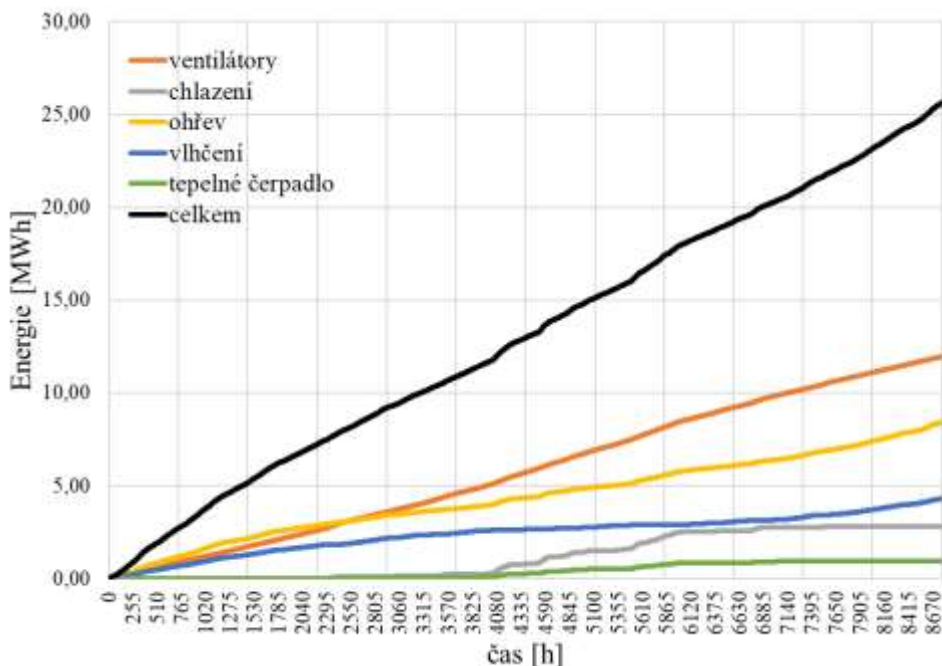
Tab. 50 – energetická náročnost – z. č. 1 - tabulka

| celkem | 25,63 | [MWh] | max. výkon | |
|---------------------------------------|-------|-------|------------|------|
| ventilátory | 11,96 | [MWh] | 1,99 | [kW] |
| ohřev | 8,43 | [MWh] | 1,37 | [kW] |
| vlhčení | 4,31 | [MWh] | 2,84 | [kW] |
| chlazení (teplo předané ve výparníku) | 2,82 | [MWh] | 4,83 | [kW] |
| kompresor (energie dodaná) | 0,94 | [MWh] | 1,61 | [kW] |

Z výše uvedených dat vyplývá, že nejvíce energie je potřeba pro pohon ventilátorů. Použití cirkulace je vzhledem k nepřetržitému chodu zařízení zcela zásadní. Nejmenší položku tvoří energie pro chlazení, která je díky použití tepelného čerpadla snížena.

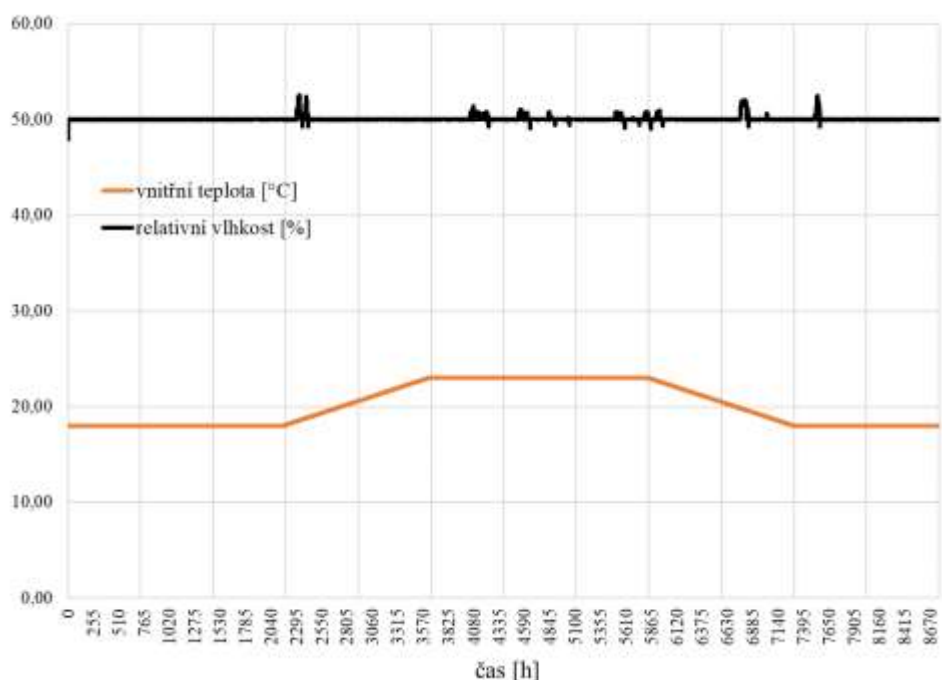
Maximální chladicí výkon převyšuje hodnotu vypočtenou v kapitole 3.1.3. To je očekávané, jelikož v simulaci uvažujeme se skokovým snížením obtokového součinitele – přechlazením vzduchu. Obdobný výsledek je dosažen u druhého zařízení.

V následujícím grafu (obr. 44) je zobrazena postupná kumulace potřebné energie. Hodnoty na konci grafu (8670 hodin) odpovídají hodnotám v tab. 50. Svislé čáry mřížky grafu přibližně ohraničují jednotlivé měsíce.



Obr. 44 - energetická náročnost z. č. 1 - graf

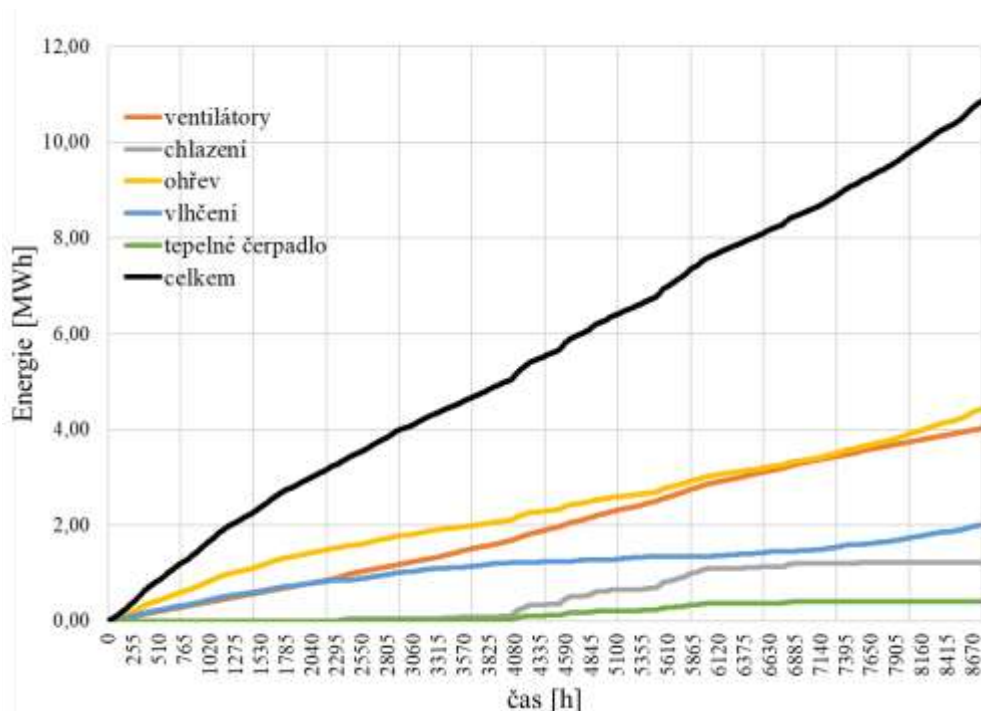
Pro kontrolu požadovaných parametrů přiváděného vzduchu slouží následující graf.



Obr. 45 - parametry přiváděného vzduchu - celoroční

Na základě grafu lze konstatovat, že požadované parametry jsou splněny, s mírnými výkyvy v extrémních podmínkách.

Pro druhé zařízení lze očekávat obdobný průběh výkonů, parametrů přiváděného vzduchu a celkové energie. Jednou ze změn je nižší podíl energie pro pohon ventilátorů. To je způsobeno zejména nižšími tlakovými ztrátami. Výsledky jsou uvedeny v tab. 51 a na obr. 46.



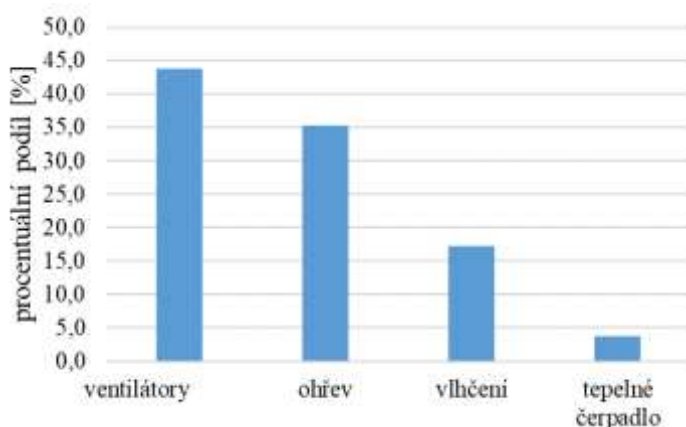
Obr. 46 - energetická náročnost z. č. 2 - graf

Tab. 51 - energetická náročnost - z. č. 2 - tabulka

| celkem | 10,87 | [MWh] | max. výkon |
|---------------------------------------|-------|-------|------------|
| ventilátory | 4,02 | [MWh] | 0,73 [kW] |
| ohřev | 4,43 | [MWh] | 0,64 [kW] |
| vlhčení | 2,01 | [MWh] | 1,39 [kW] |
| chlazení (teplo předané ve výparníku) | 1,23 | [MWh] | 2,19 [kW] |
| kompresor (energie dodaná) | 0,41 | [MWh] | 0,73 [kW] |

Celková spotřeba pro větrání depozitářů v období jednoho roku činí :

$$Q_{dep} = 25,63 + 10,87 = 36,5 \text{ MWh} \quad (86)$$



Obr. 47 - procentuální podíl prvků - depozitáře

Energie potřebná pro samotné větrání je poměrně vysoká. Největší podíl na energetické náročnosti má distribuce vzduchu, poté ohřev, vlhčení a nejméně energie je potřeba ke chlazení (obr. 47).

Další kapitoly se budou zabývat srovnáním a optimalizací provozních parametrů z pohledu energetické náročnosti. Nejdříve je však pro srovnání vyhodnoceno větrání edukačních místností a vytápění a chlazení celého objektu.

5.1.3 Popis simulace – edukační místnosti

Průběh úprav vzduchu je popsán v kapitole 3.2.4. Zařízení bude v provozu pouze během přednášek nebo jiných akcí v edukačním centru. Pro účel energetického modelu je navržen tento časový program.

- Pondělní přednášky, 8.00 – 14.00,
- čtvrtěční přednášky, 14.00 – 18.00.

Mimo tyto časy je jednotka vypnuta. Požadované rozmezí teplot je 22 – 26 °C. Teplota přiváděného vzduchu bude po celý rok konstantní, rovna 22 °C. V zimním období bude tepelné ztráty hradit systém vytápění a v letním při překročení horní hranice se spustí lokální chladicí systém. Z výsledků z kapitoly 3.2.4 lze předpokládat, že většinu tepla odvede větrací vzduch. Mimo časy, kdy budou prostory využívány, bude udržována minimální teplota 18 °C.

Důležitou roli hraje akumulární schopnost budovy a radiační zisky. Tyto faktory budou ovlivňovat nejen energii potřebnou pro chlazení a vytápění, ale i simulaci větrání. Proto je model větrací jednotky kombinován s modelem multizonální budovy (Type56). Nejprve je popsán model větrání :

Tab. 52 - popis modelu větrání – edukační místnosti

| funkce | typ | popis |
|----------------------|------------|---|
| ZZT | Type760 | Jedná se o model výměníku tepla vzduch – vzduch. Tepelný faktor je 80 %. Opatření proti zamrznutí výměníku není ošetřeno, jelikož se v simulaci nevyskytuje extrémní stav, kdy by teplota odpadního vzduchu klesla pod bod mrazu. Minimální teplota je 2,21 °C (přibližně 14. ledna). Z tohoto pohledu je výhodné, že je z odpadního vzduchu předáváno i teplo latentní. V důsledku kondenzace teplota vzduchu na výfuku neklesne pod bod mrazu. Namísto toho je kontrolována výstupní teplota přiváděného vzduchu. Zde není žádoucí překročit 22 °C. Tyto provozní stavy se vyskytují zejména v létě, kdy je teplota vzduchu ve vnitřním prostředí vlivem radiačních a vnitřních zisků vyšší než venkovní. Při dosažení požadované teploty je funkce výměníku přerušena (použití obtoku). |
| ventilátory | Type3c | Výkony zadány dle výpočtů v kapitole 3.2.3. Je uvažováno s 60% účinností ventilátorů – zbytek energie je přenesen do proudu vzduchu v podobě citelného tepla. Regulace průtoku není uvažována. |
| vodní chladič | Type508c | Vodní chladič s parametry odpovídajícími výsledkům předchozích výpočtů (teplota a průtok vody, obtokový součinitel). Prvek je řízen výstupní teplotou. Odpadá tedy problematika řízení vlhkosti a není uvažováno s dohříváním vzduchu. Je sledována energie předaná vzduchu. |
| vodní ohřivač | Type753e | Modelován pomocí vodního ohřivače řízeného výstupní teplotou. Prvek dodává aktuálně potřebné množství citelného tepla. Je sledováno množství energie předané vzduchu. |

| | | |
|--------------------|--------------------|--|
| harmonogram | Type14, Type41c | Opět je použita „forcing function“. Společně s blokem pro denní profil tvoří pravidelný týdenní program provozu jednotky. Svátky a další výjimečné dny nejsou uvažovány. |
| regulace | Type33, Type113 | Jsou použity bloky pro dopočet parametrů vzduchu (Type33). Prvky jsou řízeny dvoupolohovou regulací. Výkony jsou řízeny automaticky dle požadavku na teplotu. |

Obdobně jako u předchozí simulace jsou použity grafické výstupy, sumace výkonů a další.

Druhou částí je model multizonální budovy. Budova je rozdělena na 6 zón (tab. 53) s rozdílnými časovými a teplotními programy. V tab. 53 jsou uvedeny jednotlivé zóny a jsou zde specifikovány jednotlivé režimy charakterizující danou zónu, specifikace teplot pro vytápění je uvedena v tab. 54.

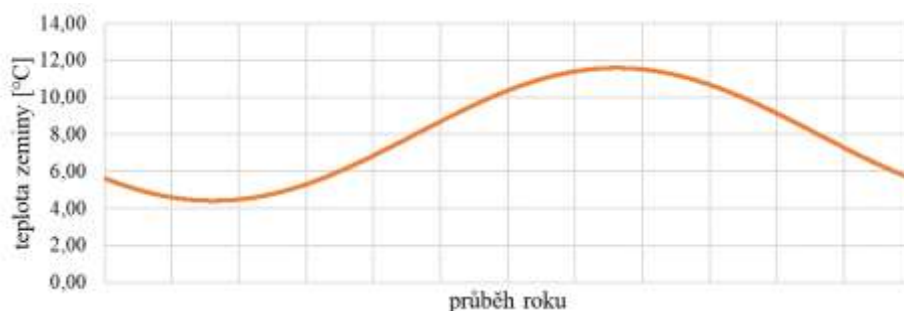
Tab. 53 – zóny – obecně

| zóna | Infiltrace | Nucené větrání | Vytápění | Chlazení | Vnitřní tepelné zisky |
|---|----------------------|----------------|----------|----------|-----------------------|
| EC (edukační centrum) | 0,05 h ⁻¹ | ano | ano | ano | ano |
| DEP (depozitáře) | 0 h ⁻¹ | ano | ano | ano | ne |
| HYG (hygienické zázemí) | 0,1 h ⁻¹ | ne | ano | ne | ne |
| PRAC (pracovny, dílny) | 0,1 h ⁻¹ | ne | ano | ne | ano |
| TECH (technické místnosti, sklady) | 0,1 h ⁻¹ | ne | ano | ne | ne |
| CHOD (chodby, schodiště) | 0,1 h ⁻¹ | ne | ano | ne | ne |

Zóny jsou modelovány zjednodušeně pomocí sumy ploch konstrukcí sousedících s venkovním prostorem, zemínou nebo sousední zónou. Tepelné odpory použitých konstrukcí odpovídají hodnotám v příloze 2. Hustoty a tepelné kapacity materiálů odpovídají hodnotám v tab. 17. Tímto zjednodušeným přístupem je zanedbán vliv tepelných mostů.

Důležitým parametrem je teplota zeminy. Pro odhad je použit prvek Type77 s těmito parametry (obr. 48).

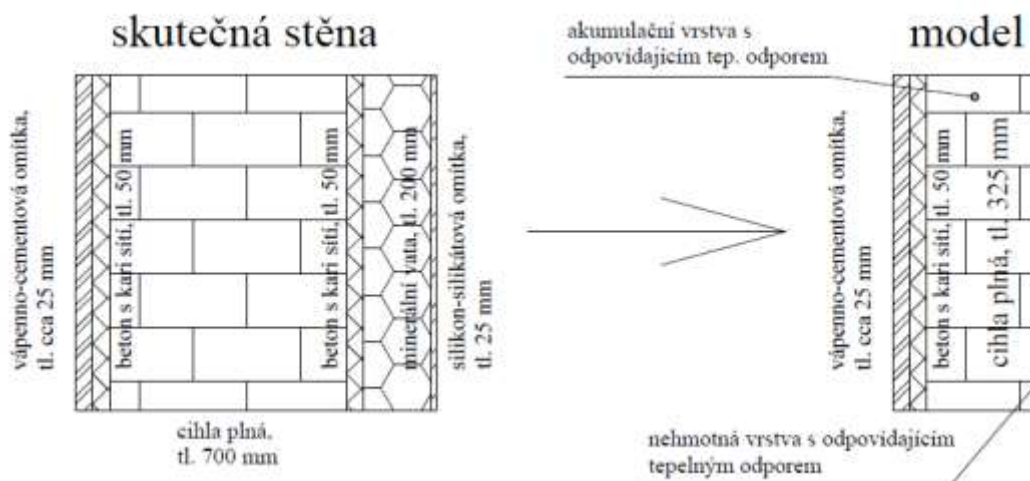
- Průměrná roční teplota volena 8 °C (resp. střední teploty zeminy),
- maximální teplotní výchylka během roku volena přednastavená, 5 °C,
- pro posun sinusového průběhu teplot je ponechána přednastavená hodnota 30 dní,
- teplota zeminy simulována v hloubce 1 m (1. PP je zasazeno přibližně 0,8 - 1,4 m pod úroveň zeminy).



Obr. 48 - teplota zeminy

Skutečné složení stavebních konstrukcí je v programu nahrazeno fiktivními stěnami s menší tloušťkou při stejném tepelném odporu a akumulační kapacitě. Toto opatření je zavedeno z důvodu problémů s vytvářením „wall transfer function coefficients“. Ty souvisí zejména s tloušťkou stěny, její akumulační schopností a s časovým krokem. Při použití skutečné stěny by bylo nutné zvětšit časový krok na 4 hodiny, což by však znemožnilo zachytit dynamické změny během provozu větrací jednotky a snížilo tak vypovídající hodnotu simulace.

Nahrazení stěn vychází z předpokladu, že akumulační schopnost stěny ovlivňují vrstvy materiálu do hloubky 40 cm. Tato hodnota je použita při výpočtu akumulace energie v ČSN 73 0548 [31]. Konstrukce jsou tedy modelovány jako fiktivní stěny se srovnatelnou schopností akumulace a stejným tepelným odporem, jak je zobrazeno na obr. 49. Odchytkou od skutečného stavu může být vliv dopadajícího záření na venkovní fasádu. Ve skutečnosti nebude mít oscilace povrchové teploty venkovní stěny téměř žádný vliv na přestup tepla. V modelovém případě může být tento vliv nadhodnocen právě snížením tloušťky stěny.



Obr. 49 - skutečná konstrukce – model

Takto lze provést simulaci s časovým krokem rovným 1 hodině. K akumulaci je nutno dodat, že skutečnou teplotní setrvačnost budovy lze očekávat vyšší, jelikož v simulaci nejsou modelovány stěny uvnitř jednotlivých zón (např. mezi místnostmi depozitářů).

Dále není uvažováno s výměnou vzduchu mezi zónami. Infiltrace venkovního vzduchu je volena konstantní. Hodnoty jsou voleny s ohledem na to, zdali je použito nucené větrání. Hodnota 0,1 násobné výměny přibližně koresponduje s vlastnostmi nových oken, jak napovídá např. měření [56], kde je naměřena výměna vzduchu při zavřených oknech $0,12 \pm 0,004 \text{ h}^{-1}$. Přesná intenzita výměny však záleží na více faktorech (rychlost větru, teplotní gradient, vlastnosti konstrukcí atd.) a mění se v průběh roku.

Předpokládané požadavky na vytápění jsou :

Tab. 54 - zóny - teploty

| zóna | min. teploty |
|-----------------------|---|
| EC (edukační centrum) | 22 °C v provozu, útlum na 18 °C mimo provoz |

| | |
|---|---|
| DEP (depozitáře) | průběh dle tab. 48, přidáno pásmo necitlivosti $\pm 0,5$ °C |
| HYG (hygienické zázemí) | pracovní dny od 6.00 do 18.00 je požadováno 18 °C, mimo to útlum na 15 °C |
| PRAC (pracovny, dílny) | pracovní dny od 6.00 do 18.00 předpokládáno 20 °C, mimo to útlum na 15 °C |
| TECH (technické místnosti, sklady) | min. teplota 5 °C po celý rok |
| CHOD (chodby, schodiště) | stejně jako hygienické místnosti |

Chlazení je uvažováno pouze v edukačních prostorech (max. 26 °C při provozu) a v depozitářích.

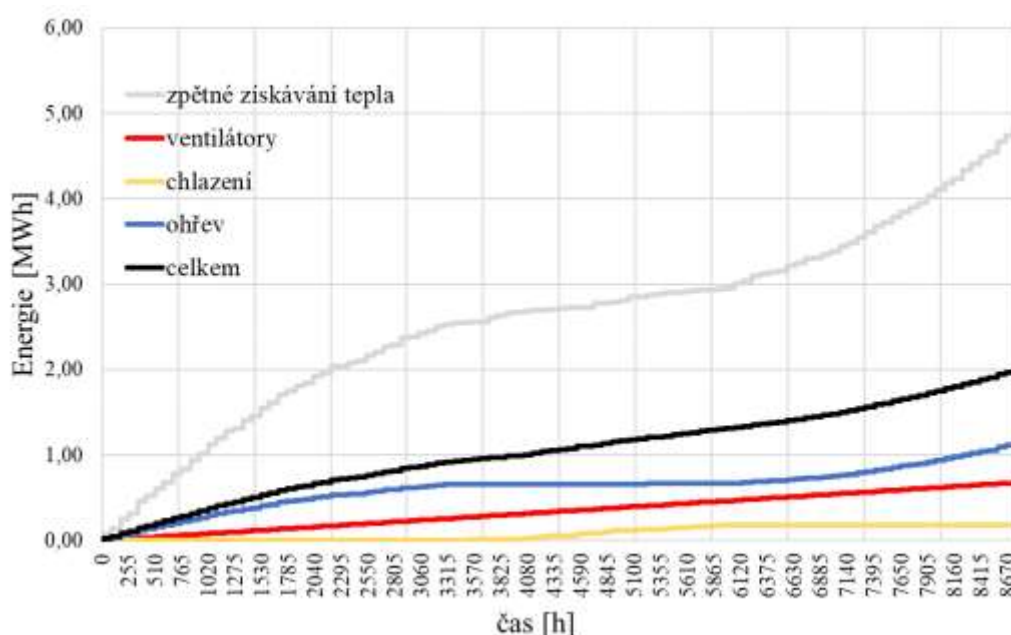
Vnitřní tepelné zisky jsou uvažovány v edukačních místnostech během přednášek a v pracovnách během pracovní doby. Vnitřní citelné zisky edukačních místností jsou zpracovány v programu excel a jsou součástí souboru v elektronické příloze na CD. K těmto je přidána zátěž vázaným teplem. Produkce na jednoho člověka je uvažována 116 g/h [7]. V pracovnách je uvažováno se dvěma lidmi a počítači v pracovně, v dílně s jedním člověkem.

Radiace je simulována pomocí integrovaných rovnic v multizonální budově. Venkovní konstrukce s okny jsou definovány včetně orientace na světovou stranu. U oken do pracoven a edukačních místností jsou uvažovány stínící prvky – venkovní světlé žaluzie se stínícím faktorem 0,15 [31]. Žaluzie budou zataženy během provozu, mimo to budou vytaženy.

Systém chlazení ani vytápění není součástí simulace. Jako energetická náročnost je brána energie potřebná k udržení výše stanovených teplot. Okamžitý výkon není nijak omezen. Zaniká tedy vliv zpoždění při zátopu, resp. chlazení.

5.1.4 Výsledky simulace – edukační místnosti

Zhodnocení obsahuje, podobně jako u depozitářů, celkovou energetickou bilanci a nejvyšší požadavky na okamžitý výkon - tab. 55 a obr. 50.

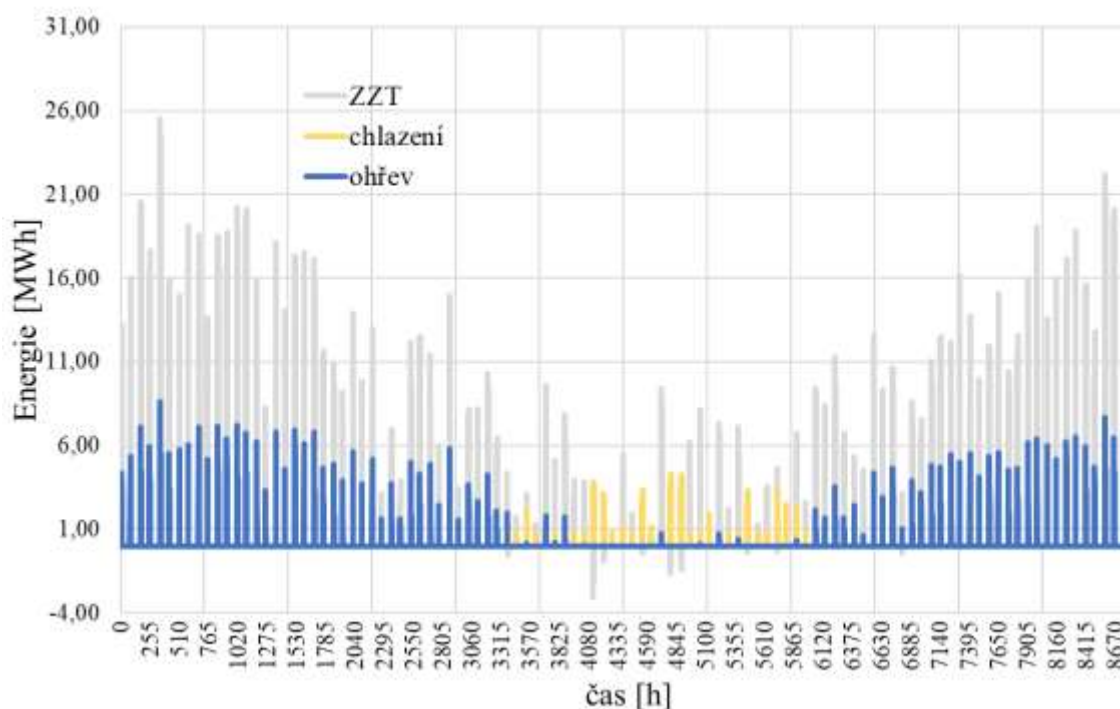


Obr. 50 - z. č. 5 - energetická bilance

Tab. 55 - z. č. 5 - výkony a energie

| celkem | 2,01 | [MWh] | max. výkon | |
|------------------------|------|-------|------------|------|
| zpětné získávání tepla | 4,84 | [MWh] | 25,50 | [kW] |
| ventilátory | 0,68 | [MWh] | 1,29 | [kW] |
| ohřev | 1,16 | [MWh] | 8,58 | [kW] |
| chlazení | 0,17 | [MWh] | 4,29 | [kW] |

Z obr. 50 a tab. 55 lze vidět, že největší energetický podíl má zpětné získávání tepla. Výměnkem se přeneše více než 2násobek celkové energie potřebné pro další úpravy a distribuci vzduchu. Celkově lze říci, že vzduch je většinu času potřeba ohřívát (obr. 51). Vyplývá to z požadavku přivádět po celý rok vzduch o teplotě 22 °C.



Obr. 51 - z. č. 5 - okamžité výkony

Z výsledků není zřejmé srovnání ekonomičnosti provozu mezi větráním edukačních prostorů a depozitářů. Jak lze vidět na obr. 51, provoz jednotky č. 5 je přerušovaný, proto je celková energie mnohem nižší. K získání kvantitativního srovnání mezi větracími zařízeními lze vypočítat průměrnou spotřebu na hodinu provozu. Ta je vypočítána jako celková energie podělená hodinami, kdy je zařízení v provozu.

$$T_5 = 526 \text{ h} \quad (87)$$

$$Q_{1h,5} = \frac{Q_{c,5}}{T_5} = \frac{2010}{526} = 3,82 \text{ kW} \quad (88)$$

A pro jednotky větrající depozitáře :

$$T_{1,2} = 8760 \text{ h} \quad (89)$$

$$Q_{1h,1,2} = \frac{Q_{c,1,2}}{T_{1,2}} = \frac{36500}{8760} = 4,17 \text{ kW} \quad (90)$$

Z tohoto vyplývá, že provoz edukačního centra je energeticky méně náročný. Nyní lze ještě vydělit tento „průměrný“ výkon hmotnostními toky vzduchu a získat orientační srovnání při započtení hmotnostních průtoků. Pro srovnání je použit odhad hmotnostních toků použitím jmenovitých průtoků a hustoty vzduchu rovné $1,2 \text{ kg/m}^3$.

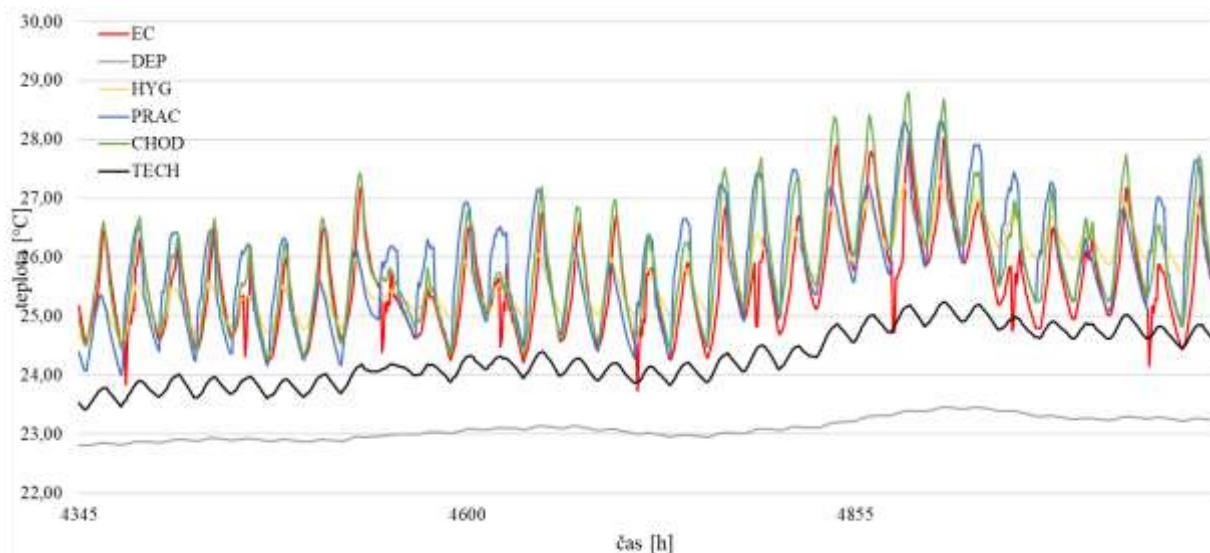
$$EN_{1,2} = \frac{Q_{1h,1,2}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} = \frac{4170}{3216 + 1500} = 0,884 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \quad (1)$$

$$EN_5 = \frac{Q_{1h,5}}{\dot{m}_5} = \frac{3820}{3360} = 1,137 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \quad (2)$$

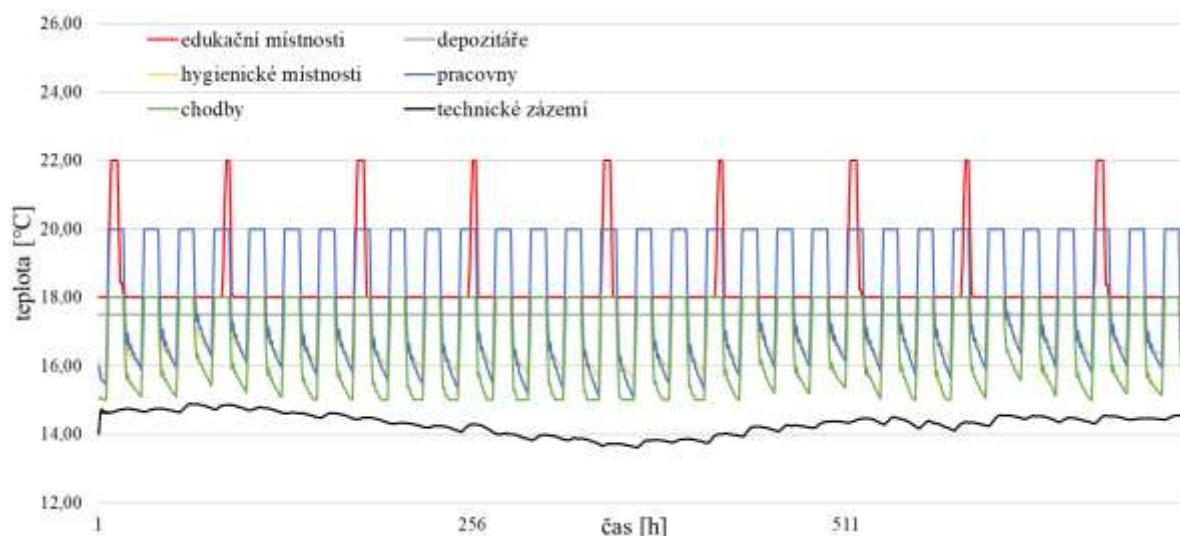
Z tohoto uměle vytvořeného srovnání lze vidět, že provoz depozitářů je úspornější. To však nic nemění na skutečnosti, že celková potřeba energie je velmi vysoká. Z tohoto důvodu jsou další kapitoly věnovány optimalizaci provozu, a to zejména větrání depozitářů.

Nejprve je však pro úplnost uveden výsledek simulace chlazení a vytápění objektu (obr. 54 a tab. 56). Tato simulace byla provedena společně s větráním edukačních místností, jelikož míra zpětného získávání tepla je závislá na stavu odpadního vzduchu. Zároveň poskytuje informace o průběhu teplot v průběhu roku (obr. 52 a obr. 53) a poskytuje referenční hodnotu pro srovnání energetických bilancí.

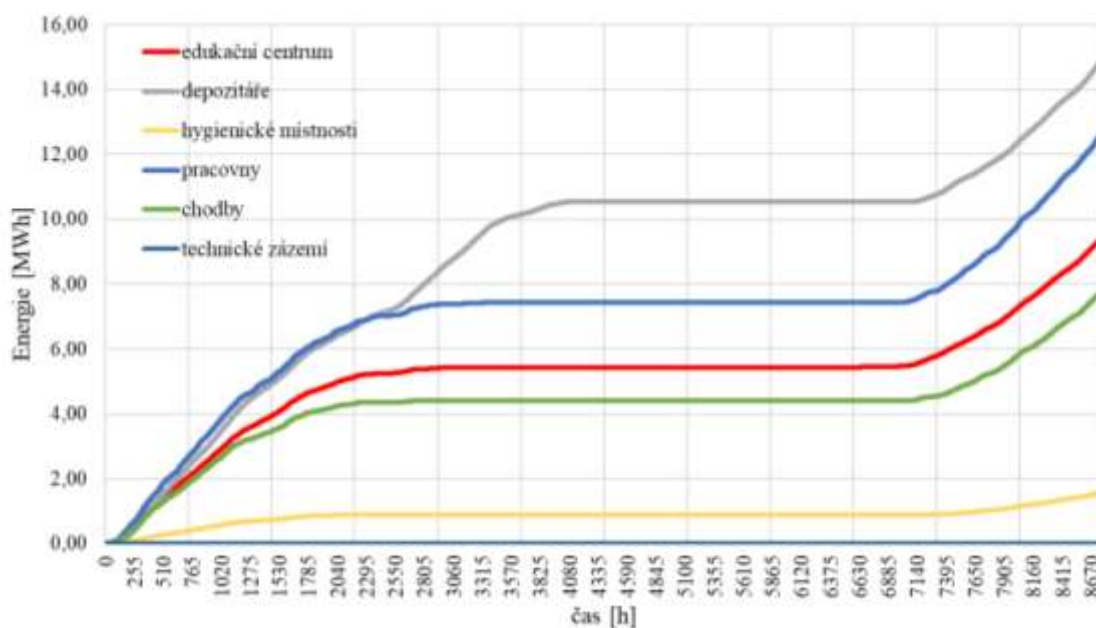
Z hlediska průběhu teplot jsou zobrazeny teploty v nejteplejším měsíci – červenci a v nejchladnějším – lednu. Z výsledků lze vyčíst poměrně velkou míru tepelné setrvačnosti budovy. Teploty v létě nepřesáhnou hranici $29 \text{ }^\circ\text{C}$, nicméně se pohybují velmi vysoko a zejména v pracovnách by bylo vhodné uvažovat o chlazení.



Obr. 52 - průběh teplot - červenec



Obr. 53 - průběh teplot - leden



Obr. 54 – vytápění

Tab. 56 - vytápění - tabulka

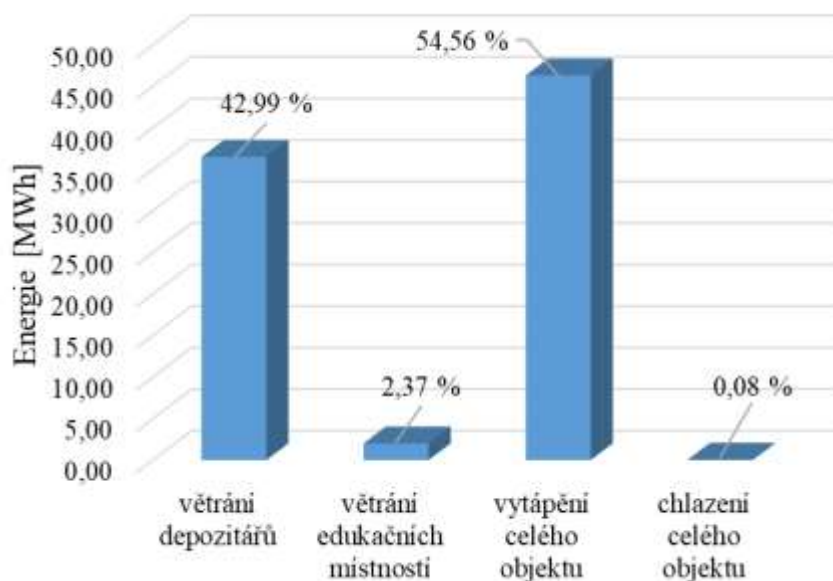
| | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| celkem | 46,33 | [MWh] |
| depozitáře | 14,91 | [MWh] |
| edukační centrum | 9,42 | [MWh] |
| pracovní | 12,66 | [MWh] |
| hygienické místnosti | 1,57 | [MWh] |
| chodby | 7,78 | [MWh] |
| technické zázemí | 0,00 | [MWh] |

Z obr. 54 lze vidět, že z hlediska vytápění není zvolený teplotní průběh během roku vhodný. V přechodovém období (duben, květen) se prostory z důvodu zvyšující se teploty musí vytápět, zatímco ostatní zóny již tolik energie nepotřebují. Dalším výsledkem je nulová potřeba vytápět

technické místnosti, minimální teplota je uvažována 5 °C, avšak teplota v simulaci neklesne pod 13,6 °C.

Dalším výsledkem je téměř nulová potřeba chlazení. Ze dvou zón, kde je s chlazením uvažováno je potřeba chladit pouze edukační místnosti a to během provozu v letních měsících. Celková energie na chlazení není vyšší než 68,5 kWh. Tato hodnota je zanedbatelná, velký podíl na tom má chlazení větrací jednotkou. Vzduch odvádí většinu tepelné zátěže.

Nakonec lze graficky zobrazit poměr energetických náročností jednotlivých systémů mezi sebou (obr. 55).



Obr. 55 - srovnání energetické náročnosti

5.1.5 Optimalizace provozu

Snížení energetických nároků může být docíleno jednak snížením podílu čerstvého vzduchu a poté snížením vlastní intenzity větrání. Jsou zhodnoceny různé provozní stavy.

- Verze 1 – původní stav (prezentováno výše),
- verze 2 – změna sezónních teplot v depozitáři – tab. 57 – tento teplotní program je použit i v následujících verzích,

Tab. 57 - sezónní teploty depozitáře - upravené

| měsíc | teplota |
|-----------------------------------|--------------------|
| 1. leden – 30. duben | 18 °C |
| 1. květen – 30. červen | přechod 18 – 22 °C |
| 1. červenec – 31. srpen | 22 °C |
| 1. září – 31. říjen | přechod 22 – 18 °C |
| 1. listopad – 31. prosinec | 18 °C |

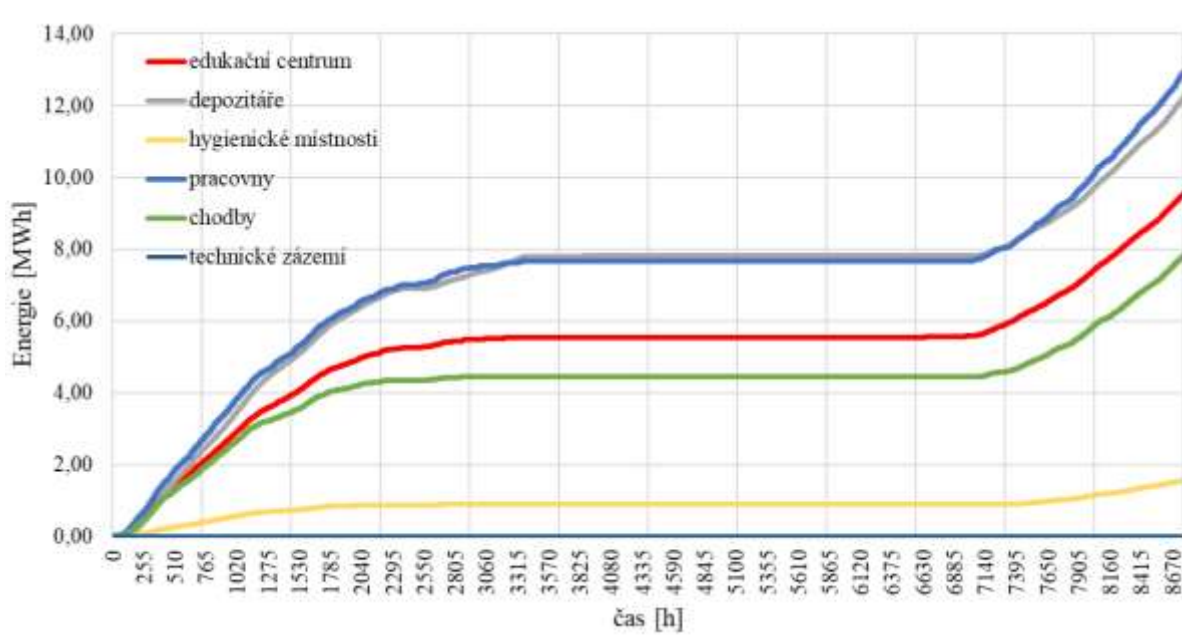
- verze 3 – větrání depozitářů – zachována 1,5násobná výměna, snížení na 5 % čerstvého vzduchu,
- verze 4 – 1násobná výměna, 5 % čerstvého vzduchu.

5.1.5.1 Verze 2

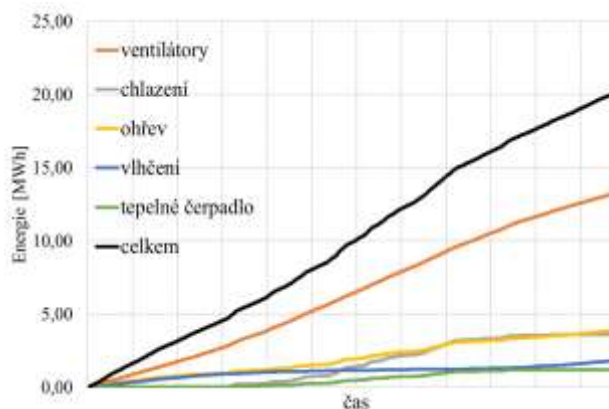
Změnou sezónního průběhu teplot se snížila energetická náročnost na vytápění (obr. 56), avšak mírně vzrostla energie pro chlazení větracího vzduchu. Celková bilance (tab. 58) ukazuje, že dojde k celkové úspoře 0,446 MWh za rok. Nárůst potřeby chlazení vychází ze snížení teploty v depozitářích v letním období. Přestože je celkový rozdíl téměř nulový, z průběhu potřeby energie během roku na obr. 56 lze vidět, že nový teplotní profil je příznivější.

Tab. 58 - srovnání verze 1,2

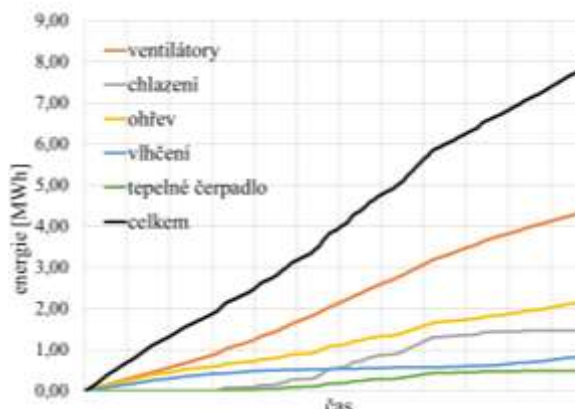
| | | |
|---------------------------|--------------|--------------|
| celková úspora | 0,446 | [MWh] |
| vytápění – verze 1 | 46,33 | [MWh] |
| větrání – verze 1 | 36,50 | [MWh] |
| vytápění – verze 2 | 44,09 | [MWh] |
| větrání – verze 2 | 38,20 | [MWh] |
| chlazení – verze 1 | 0,069 | [MWh] |
| chlazení – verze 2 | 0,163 | [MWh] |

**Obr. 56 - vytápění - verze 2****5.1.5.2 verze 3, 4 a 5 – konečná bilance**

Tyto verze ovlivňují pouze větrací systém depozitářů. Postupně se zavádí jednotlivé opatření ke snížení energetické náročnosti. Předmětem verze 3 je snížení podílu čerstvého vzduchu na 5 %. Toto opatření je velmi vhodné učinit, jelikož se tím výsledné parametry neodchýlí od doporučení pro provoz depozitářů, jak je popsáno v kapitole 3.1.1. Výsledky jsou následující.



Obr. 57 - z. č. 1 - verze 3

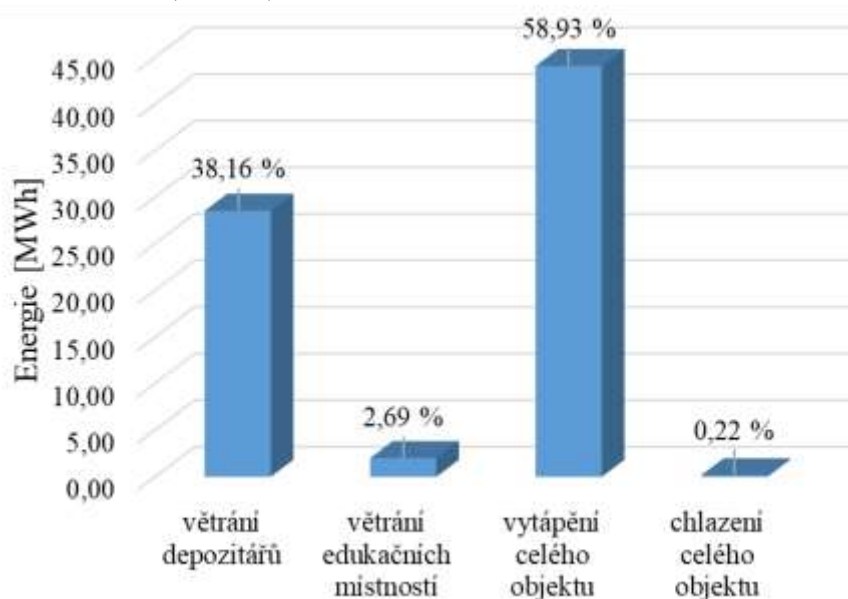


Obr. 58 - z. č. 2 - verze 3

Tab. 59 - srovnání verze 2, 3

| | | |
|-------------------------------------|-------------|--------------|
| celková úspora | 9,65 | [MWh] |
| větrání depozitářů – verze 2 | 38,20 | [MWh] |
| větrání depozitářů – verze 3 | 28,55 | [MWh] |

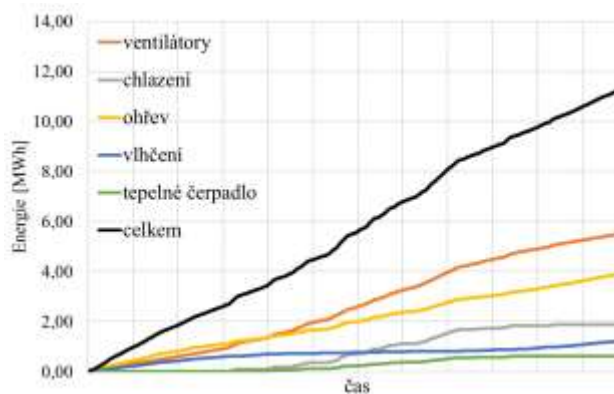
Tímto opatřením dojde k úspoře 9,65 MWh za rok, což odpovídá úsporám přibližně o 25 % oproti předchozím parametrům (verze 2). Z celkového hlediska dojde ke snížení energetického podílu o 4,8 % (obr. 59).



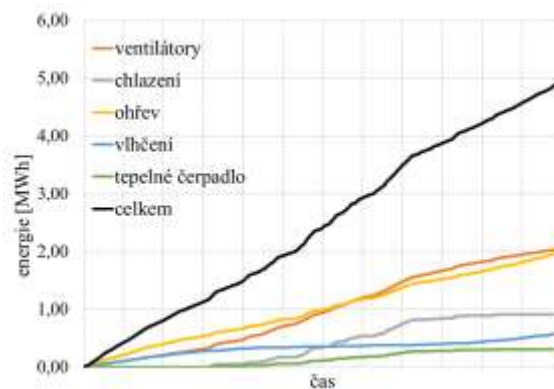
Obr. 59 – srovnání energetické náročnosti – verze 3

Dalším opatřením, které však již může výrazně ovlivnit kvalitu vzduchu, je snížení intenzity větrání na 1násobnou. Snížením průtoku o 1/3 se sníží otáčky o 1/3, tlakové ztráty poklesnou na $(2/3)^2$ jmenovité hodnoty a příkony ventilátorů na $(2/3)^3$ [1]. Snížení průtoků je uvažováno pouze na straně vnitřního okruhu. Jak lze vidět z obr. 57 a obr. 58., podíl energie ventilátorů je výrazný, tudíž lze očekávat výrazné snížení celkové energetické náročnosti. Výsledná výměna vzduchu za čerstvý při podílu 5 % čerstvého vzduchu bude 1,2násobná. Lze tedy konstatovat,

že se i při tomto opatření je dosaženo výměny v doporučeném rozsahu (1násobná až 2násobná výměna) [15].



Obr. 60 - z. č. 1 - verze 4

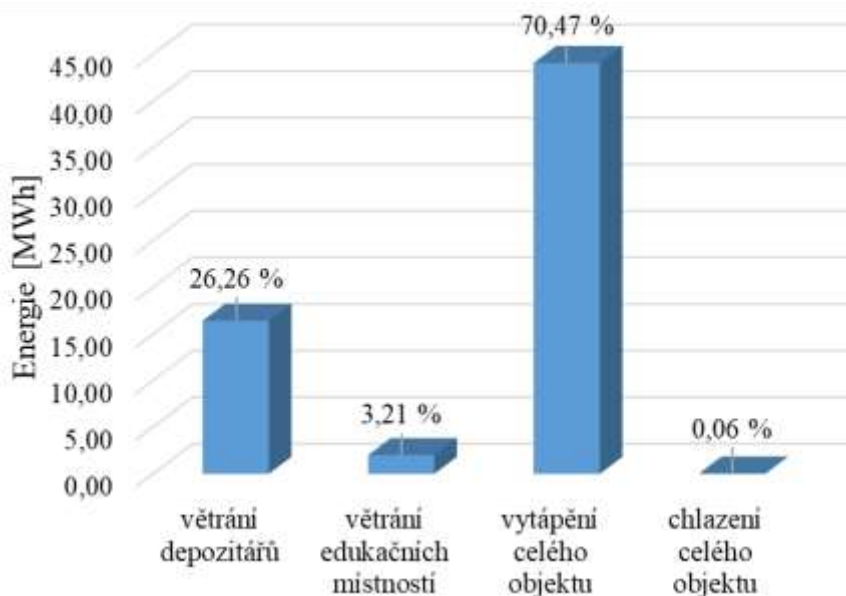


Obr. 61 - z. č. 2 - verze 4

Tab. 60 - srovnání verze 3, 4

| | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|
| celková úspora | 12,12 | [MWh] |
| větrání depozitářů – verze 3 | 28,55 | [MWh] |
| větrání depozitářů – verze 4 | 16,43 | [MWh] |

Tímto opatřením dojde k úspoře 12,12 MWh za rok, což odpovídá úsporám o dalších přibližně 42 % oproti předchozím parametrům (verze 3). Z celkového hlediska dojde ke snížení energetického podílu o dalších 11,9 % (obr. 59).



Obr. 62 – srovnání energetické náročnosti – verze 3

Provedenými úpravami parametrů provozu depozitářů bylo docíleno výrazného snížení energetické náročnosti celkového provozu. Zároveň byly dodrženy doporučené hodnoty výměn vzduchu a teplot. Celková úspora, včetně úspor pro vytápění, činí 22,34 MWh ročně. To je z původních 84,91 MWh přibližně úspora 26,3 %.

6 Závěr

V diplomové práci je navržen systém větrání na základě požadavků investora, platných norem a právních předpisů. Hlavní zónou jsou depozitáře, kde je kontrolována relativní vlhkost a teplota.

- Stabilní teplota (změna max. 1 °C za 24 hodin), dle sezónních průběhů 18 – 22 °C,
- 40 – 60 % relativní vlhkost.

Pro jejich větrání jsou navrženy dvě jednotky s velkým podílem cirkulace (90 – 95 %), filtry prachových a plyných nečistot, integrovaným tepelným čerpadlem a parním zvlhčovačem. Depozitáře se zvláštním klimatem jsou větrány vzduchem se stejnými parametry. Pro zajištění rozdílných vlhkostí jsou navrženy lokální zvlhčovače a odvlhčovače vzduchu.

Vedlejší zónou jsou edukační místnosti. Vzduchotechnická jednotka pracuje s čerstvým vzduchem, deskovým výměníkem tepla, filtry prachových nečistot, vodním ohřivačem a chladičem.

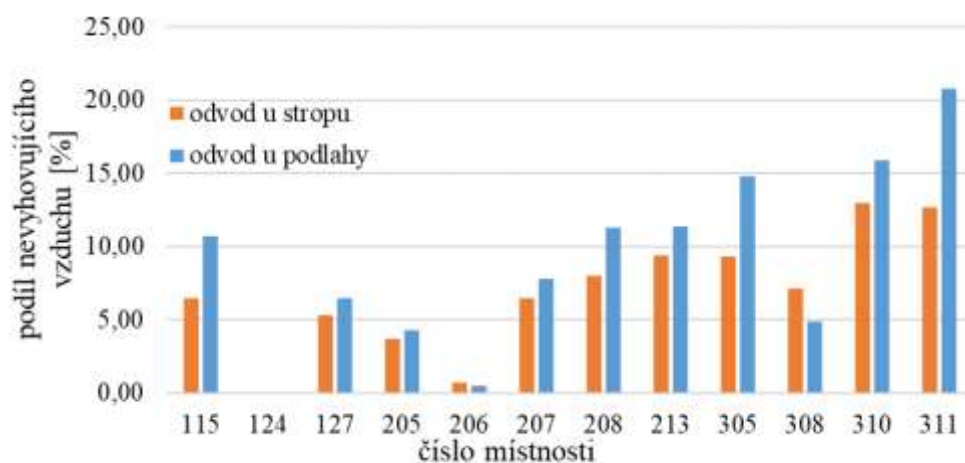
Součástí projektu větrání jsou také další menší zařízení pro větrání hygienických místností, technického zázemí a dalších.

Takto navržený projekt slouží jako podklad pro dva druhy simulací, které ověřují vhodnost návrhu z hlediska kvality provětrání depozitářů (kapitola 4) a poté z ekonomického hlediska provozu (kapitola 5).

Předmětem CFD simulace je zjištění parametru stáří vzduchu v depozitářích. Celkem je zkoumáno 13 místností. Hlavními výstupy simulací jsou :

- Srovnání možností odvádět vzduch vyústkou umístěnou u podlahy, nebo u stropu,
- Celkové zhodnocení kvality větrání a vytipování špatně větraných míst.

Výsledky jsou vyhodnoceny kvalitativně (příloha 7) a kvantitativně (kapitola 4.3.2). Hranice vyhovujícího stáří vzduchu je stanovena na 45 minut (resp. 1,5násobnou výměnu). Výsledky se pohybují v rozpětí od 0 % objemu nevyhovujícího vzduchu až po 20,8 %. Z výsledků vyplývá, že je vhodnější odvádět vzduch ve většině případů pomocí vyústky u stropu – obr. 63.



Obr. 63 - srovnání odvodu vzduchu

Ze simulace energetické náročnosti vyplývá, že nominální výkony a průtoky vzduchu pro větrání depozitářů jsou poměrně vysoké, zaujímající podíl až **43 %** na celkové energetické náročnosti pro větrání, vytápění a chlazení celého objektu (obr. 55). Navrhované úpravy jsou :

- Úprava teplotního profilu v depozitářích během roku,
- Snížení podílu čerstvého vzduchu z 10 % na 5 %,
- Snížení celkové intenzity větrání z 1,5násobné na 1násobnou.

Těmito opatřeními je docíleno snížení energetické náročnosti větrání depozitářů z **36,5 MWh** na **16,43 MWh (o 45 %)**, při zachování doporučených intenzit výměn [15]. Po aplikaci úprav již nelze předpokládat kvalitu ovzduší prezentovanou v kapitole 4.

7 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 - Požadavky na větrání obytných budov [5] | 17 |
| Tab. 2 - výběr polutantů a jejich limitů dle [6] | 17 |
| Tab. 3 - Intenzita větrání | 18 |
| Tab. 4 - Teploty a množství odváděného vzduchu pro hyg. zařízení u pobytových místností [6] | 18 |
| Tab. 5 – impregnace [15] | 24 |
| Tab. 6 - zdroje polutantů [15]..... | 29 |
| Tab. 7 - vliv polutantů na materiály [15] | 30 |
| Tab. 8 - přehled měřených depozitářů [22]..... | 31 |
| Tab. 9 - údaje o budově..... | 33 |
| Tab. 10 - Zadání teplot a vlhkosti | 34 |
| Tab. 11 - Depozitáře..... | 34 |
| Tab. 12 - Edukační místnosti..... | 35 |
| Tab. 13 - hygienické místnosti | 36 |
| Tab. 14 - Místnosti pro zaměstnance | 36 |
| Tab. 15 - dílny | 36 |
| Tab. 16 - Technické místnosti a sklady | 36 |
| Tab. 17 - Tepelně technické vlastnosti [32] | 37 |
| Tab. 18 - přehled zařízení..... | 39 |
| Tab. 19 - Bilance depozitářů | 40 |
| Tab. 20 - z. č. 1, 2 - parametry ventilátoru, vnitřní okruh | 43 |
| Tab. 21 - z. č. 1, 2 - tlakové ztráty, vnitřní okruh..... | 44 |
| Tab. 22 - z. č. 1, 2 - parametry ventilátoru, venkovní okruh..... | 45 |
| Tab. 23 - z. č. 1, 2 – interní tlakové ztráty, venkovní okruh | 45 |
| Tab. 24 – parametry venkovního vzduchu - depozitáře | 46 |
| Tab. 25 - parametry vnitřního vzduchu | 46 |
| Tab. 26 - průtoky vzduchu - zařízení číslo 1 | 47 |
| Tab. 27 - parametry vzduchu za tepelným čerpadlem | 53 |
| Tab. 28 – požadavky na výkon zařízení - depozitáře | 54 |
| Tab. 29 - EC místnosti - bilance..... | 55 |
| Tab. 30 - z. č. 5 - parametry ventilátoru, sání – přívod | 57 |
| Tab. 31 - z. č. 5 – tlakové ztráty, sání – přívod | 57 |
| Tab. 32 - z. č. 5 - parametry ventilátoru, odvod – výfuk..... | 58 |
| Tab. 33 – z. č. 5 - tlakové ztráty, odvod – výfuk..... | 58 |
| Tab. 34 - venkovní parametry vzduchu - edukační místnosti | 59 |
| Tab. 35 - stav vzduchu za deskovým výměníkem – zimní období | 60 |
| Tab. 36 - parametry vzduchu za deskovým výměníkem – letní období | 61 |
| Tab. 37 - tepelné zisky - EC | 61 |
| Tab. 38 – požadavky na výkon – edukační místnosti | 62 |
| Tab. 39 - tlumiče hluku - tlakové ztráty | 65 |
| Tab. 40 - požární klapky - tlaková ztráta | 66 |
| Tab. 41 - Hygienické místnosti - bilance větrání | 67 |
| Tab. 42 - dílny - větrání..... | 68 |

| | |
|---|----|
| Tab. 43 - větrání technických místností | 68 |
| Tab. 44 - Bilance zkoumaných místností | 71 |
| Tab. 45 - Grid Independence test - přehled..... | 74 |
| Tab. 46 - Fyzikální a okrajové podmínky | 75 |
| Tab. 47 - Staří vzduchu vyhodnocení..... | 78 |
| Tab. 48 - sezónní průběhy teplot - depozitáře | 83 |
| Tab. 49 - popis modelu - depozitáře..... | 83 |
| Tab. 50 – energetická náročnost – z. č. 1 - tabulka | 85 |
| Tab. 51 - energetická náročnost - z. č. 2 - tabulka | 87 |
| Tab. 52 - popis modelu větrání – edukační místnosti | 88 |
| Tab. 53 – zóny – obecně..... | 89 |
| Tab. 54 - zóny - teploty | 90 |
| Tab. 55 - z. č. 5 - výkony a energie | 92 |
| Tab. 56 - vytápění - tabulka | 94 |
| Tab. 57 - sezónní teploty depozitáře - upravené | 95 |
| Tab. 58 - srovnání verze 1,2 | 96 |
| Tab. 59 - srovnání verze 2, 3 | 97 |
| Tab. 60 - srovnání verze 3, 4 | 98 |

8 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 - Rozdělení nečistot dle velikosti částice [9] | 19 |
| Obr. 2 - Principy filtrace vzduchu [9] | 20 |
| Obr. 3 - Odlučivost filtrů třídy G a F [11]..... | 21 |
| Obr. 4 - Srovnání efektivity - laboratorní a praktické měření [9] | 22 |
| Obr. 5 - Vývoj efektivity zachycení částic [9] | 22 |
| Obr. 6 - Orientační převodní tabulka firmy DELBAG [13]..... | 23 |
| Obr. 7 - Filtrační sestava s aktivním uhlím [14] | 24 |
| Obr. 8 - Detail vrstveného filtru [9] | 24 |
| Obr. 9 - vliv relativní vlhkosti na kvalitu vzduchu [16]..... | 26 |
| Obr. 10 - zanesení varných tyčí [17] | 26 |
| Obr. 11 - koncentrace prachových částic [23]..... | 31 |
| Obr. 12 - Situační pohled (pohled z jihozápadu) - stávající stav [24]..... | 33 |
| Obr. 13 - obdélníková vyústka do kruhového potrubí, jednořadá [40] | 42 |
| Obr. 14 - textilní vyústka - druhy perforace [41] | 42 |
| Obr. 15 - schéma zařízení - větrání depozitářů | 43 |
| Obr. 16 - návrhové stavy vzduchu dle percentilu [43] | 45 |
| Obr. 17 - Ideové schéma úprav vzduchu - depozitáře | 47 |
| Obr. 18 - zimní období, z. č. 1, 2..... | 55 |
| Obr. 19 - letní období, z. č. 1, 2..... | 55 |
| Obr. 20 - rozložení distribučních elementů | 56 |
| Obr. 21 - schéma zařízení - větrání edukačních místností | 57 |
| Obr. 22 - ideové schéma - edukační místnosti | 59 |
| Obr. 23 - zimní období, z. č. 5..... | 63 |
| Obr. 24 - letní období, z. č. 5..... | 63 |
| Obr. 25 - návaznost - prvky potrubní sítě..... | 64 |
| Obr. 26 - tvarové koleno | 64 |
| Obr. 27 - vyústka do hranatého potrubí - přívod [46] | 65 |
| Obr. 28 - vyústka do kruhového potrubí [47]..... | 65 |
| Obr. 29 - regulační klapka - tlakové ztráty [51]..... | 66 |
| Obr. 30 - protidešťový kryt - tlakové ztráty [52] | 66 |
| Obr. 31 - požární větrací mřížka [53]..... | 67 |
| Obr. 32 - charakteristika ventilátoru (z. č. 8.01) [54]..... | 68 |
| Obr. 33 – geometrie místnosti | 72 |
| Obr. 34 – mesh, kruhové potrubí..... | 72 |
| Obr. 35 – mesh, detail inlet | 73 |
| Obr. 36 – mesh, detail regálu | 73 |
| Obr. 37 - wall y+ | 74 |
| Obr. 38 - Lineární sondy | 75 |
| Obr. 39 - fyzikální modely | 76 |
| Obr. 40 - Fyzikální modely | 76 |
| Obr. 41 – Pohled z perspektivy, m.č. 308 | 77 |
| Obr. 42 - Půdorysný pohled, m.č. 308 | 77 |
| Obr. 43 - rozložení rychlostí - m. č. 124 | 79 |

| | |
|---|----|
| Obr. 44 - energetická náročnost z. č. 1 - graf | 86 |
| Obr. 45 - parametry přiváděného vzduchu - celoroční..... | 86 |
| Obr. 46 - energetická náročnost z. č. 2 - graf | 87 |
| Obr. 47 - procentuální podíl prvků - depozitáře..... | 87 |
| Obr. 48 - teplota zeminy..... | 89 |
| Obr. 49 - skutečná konstrukce – model..... | 90 |
| Obr. 50 - z. č. 5 - energetická bilance | 91 |
| Obr. 51 - z. č. 5 - okamžité výkony..... | 92 |
| Obr. 52 - průběh teplot - červenec..... | 93 |
| Obr. 53 - průběh teplot - leden | 94 |
| Obr. 54 – vytápění..... | 94 |
| Obr. 55 - srovnání energetické náročnosti | 95 |
| Obr. 56 - vytápění - verze 2..... | 96 |
| Obr. 57 - z. č. 1 - verze 3..... | 97 |
| Obr. 58 - z. č. 2 - verze 3..... | 97 |
| Obr. 59 – srovnání energetické náročnosti – verze 3 | 97 |
| Obr. 60 - z. č. 1 - verze 4..... | 98 |
| Obr. 61 - z. č. 2 - verze 4..... | 98 |
| Obr. 62 – srovnání energetické náročnosti – verze 3 | 98 |
| Obr. 63 - srovnání odvodu vzduchu | 99 |

9 Seznam použité literatury

- [1] DRKAL, František a ZMRHAL, Vladimír. *Větrání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06378-1.
- [2] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.
- [3] Vyhláška č. 410/2005 Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.
- [4] Vyhláška č. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby.
- [5] ČSN EN 15665/Z1: 2011. *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [6] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [7] CHYSKÝ, Jaroslav a HEMZAL, Karel. *Větrání a klimatizace*. 3. vyd., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [8] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.. (2017). *2017 ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAEQ1/ashrae-handbook-fundamentals/ashrae-handbook-fundamentals>
- [9] GUSTAVSSON, Jan, GINESTET, Alain, TRONVILLE, Paolo a HYTTINEN, Marko. (2011). *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA. ISBN 978-2-930521-01-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpREHVAG82/rehva-guidebook-no-11/rehva-guidebook-no-11>
- [10] CHEN, Yi-Ping, CUI, Ying, DONG, Jun-Gang. *Variation of airborne bacteria and fungi at Emperor Qin's Terra-Cotta Museum, Xi'an, China, during the "Oct. 1" gold week period of 2006*. Environmental Science and Pollution Research, 2010, 17.2: 478-485. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0161-1>
- [11] HEMERKA, Jiří. Filtrace atmosférického vzduchu II. In: *tzb-info.cz*. [online]. 17. 8. 2009 [cit. 14.02.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- [12] ČSN EN ISO 16890-1: 2018. *Vzduchové filtry pro všeobecné větrání – Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

-
- [13] FläktGroup – Delbag, 2018. Katalog – Filtrační média, Nová norma ČSN EN ISO 16890. In: *www.flaktgroup.com*. [online]. 11/2018. [cit.04.03.2019]. Dostupné z: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=8a9ab540-ece2-4b5f-9368-4f12a003204d>
- [14] Ulpatek – Air filter technology. *Gas phase filtration*. [online]. [cit.05.03.2019]. Obrázek ve formátu PNG. Dostupné z: <https://www.ulpatek.com/filter-technology/gas-phase-filtration/>
- [15] Autorský kolektiv: Technické muzeum v Brně, Národní památkový ústav a Moravská galerie v Brně, 2018. Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy. Certifikovaná metodika. In: *technicalmuseum.cz*. [online]. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018. [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <https://mck.technicalmuseum.cz/clanky/metodika-uchovavani-predmetu-kulturni-povahy-optimalizace-podminek-s-cilem-dosazeni-dlouhodobe-udrzitelnosti-2013-2017/>
- [16] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.. (2016). *2016 ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAEM6/ashrae-handbook-heating/ashrae-handbook-heating>
- [17] RUBINA, Aleš. Polytropické vlhčení parou. In: *tzb-info.cz*. [online]. 17. 8. 2009 [cit.14.05.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/18019-polytropicke-vlhčení-parou>
- [18] ANDRES, Petr. Srovnání adiabatických a izotermických zvlhčovacích systémů. Firemní článek. FLAIR, a.s. In: *tzb-info.cz*. [online]. 21. 1. 2019 [cit.15.05.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/18537-srovnani-adiabatickych-a-izotermickych-zvlhčovacich-systemu>
- [19] SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu (III). In: *tzb-info.cz*. [online]. 26. 6. 2006 [cit.15.05.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypočty-vetrani-klimatizace/3382-teorie-vlhkeho-vzduchu-iii>
- [20] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.. (2015). *2015 ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASHRAEI1/ashrae-handbook-heating/ashrae-handbook-heating>
- [21] RYHL-SVENDSEN, Morten. Corrosivity measurements of indoor museum environments using lead coupons as dosimeters. *Journal of Cultural Heritage*, 2008, 9.3: 285-293. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.01.005>
- [22] MAŠKOVÁ, Ludmila, SMOLÍK, Jiří a ĎUROVIČ, Michal. *Characterization of indoor air quality in different archives—Possible implications for*
-

- books and manuscripts. Building and Environment*, 2017, 120: 77-84. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317301907>
- [23] MAŠKOVÁ, Ludmila, SMOLÍK, Jiří a VODIČKA, Petr. *Characterisation of particulate matter in different types of archives. Atmospheric Environment*, 2015, 107: 217-224. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015001685>
- [24] Předklášteří - 3D pohled. [online]. [cit. 15.03.2019]. Dostupné z: <https://mapy.cz/s/3qtQR>
- [25] ŠAFAŘÍK, Pavel a VESTFÁLOVÁ, Magda. *Termodynamika vlhkého vzduchu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06020-9.
- [26] ZMRHAL, Vladimír a DRKAL, František, 2007. *Návrh a dimenzování chladivového klimatizačního systému*. [online]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. [cit. 07.04.2019]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/CHKS_2007.pdf
- [27] ČSN 38 3350. Zásobování teplem, všeobecné zásady. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1989.
- [28] ČSN 06 0210. Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [29] CHYSKÝ, Jaroslav. *Vlhký vzduch*. 2. dopln. vyd. Praha: SNTL, 1977, 156 s.
- [30] ČSN 73 0540-2:2011. Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky. Praha: Centrum technické normalizace, 2011.
- [31] ČSN 73 0548: 1985. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
- [32] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. In: *tzb-info.cz*. [online]. [cit. 04.03.2019]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html#ytong
- [33] Stavební konstrukce – tepelný odpor a součinitel prostupu tepla, teorie. In: *Ekowatt.cz*. [online]. [cit. 04.03.2019]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/ztraty.shtml>
- [34] *Izolace – info, informace o izolacích a zateplení*. [online]. © 2008-2018 [cit. 15.02.2019]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog/drevoce-mentove-izolace/knauf-heraklith/740646-drevoce-mentova-izolacni-deska-heraklith-c-p.html>
- [35] Lehký izolační zásyp stropů. In: *Liapor.cz* [online]. [cit. 15.02.2019]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/kamenivo/pro-stavebni-ucely/aplikace/zasyp-stropu>

-
- [36] ČSN 73 0872: 1996. Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením. Praha: český normalizační institut, 1996.
- [37] Vyhláška č. 246/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva vnitra o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)
- [38] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [39] ČSN EN ISO 20645: 2005. Plošné textilie – Zjišťování antibakteriální aktivity – Zkouška šíření agarovou destičkou.
- [40] *Elektrodesign – ventilátory s. r. o.* [online]. © 2003–2009 [cit. 25.03.2019]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/kvk2-h-1-0-200x75-vyustka-komfortni> Path: Homepage; Úplný sortiment; Produkty; Příslušenství – distribuční elementy; Vyústky; Vyústky komfortní; Vyústky komfortní pro kruhové potrubí jednořadé.
- [41] *Textilní potrubí a vyústky - Příhoda.* [online]. © 2012 – 2019 [cit. 25.03.2019]. Dostupné z: <http://www.prihoda.com/cs/distribuce-vzduchu>
- [42] ZMRHAL, Vladimír, 2006. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) – 1. část. In: *tzb-info.cz.* [online]. Praha: 4. 12. 2016. [cit. 03.04.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-ventracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>
- [43] ZMRHAL, Vladimír, 2016. Výběr stavů venkovního vzduchu pro dimenzování výměníků tepla ve vzduchotechnice. In: *researchgate.net.* [online]. 1/2016. [cit. 04.05.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/297765145_Selection_of_the_outdoor_air_parameters_for_designing_of_heat_exchangers_in_air-conditioning
- [44] KUCHYNKA, Lubomír. AC heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel. In: *tzb-info.cz.* [online]. 10. 10. 2012 [cit. 05.05.2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [45] *Technika prostředí – základní vzduchotechnické výpočty.* [online]. © 2006 – 2019 [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Vypocty-online-pro-vzduchotechniku-a-klimatizaci>
- [46] MANDÍK, a.s., 2017. Vyústka nastavitelná VNM. In: *www.mandik.cz.* [online]. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/20017287-e759-42e4-bbc8-5e3558044b29/015_01_cz_VNM.aspx
- [47] MANDÍK, a.s., 2016. Vyústka pro kruhové potrubí VNKM. In: *www.mandik.cz.* [online]. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/2029f876-ad69-41a9-805b-69520c6bd486/034_04_cz_VNKM.aspx
- [48] Greif-akustika, s.r.o. Buňkové tlumiče hluku. In: *www.greif.cz.* [online]. Copyright © 2013 Greif-akustika, s.r.o. [cit. 04.04.2019]. Dostupné
-

- z: http://www.greif.cz/download/2018/ITS102-01_Bunkove_tlumice_hluku_G.pdf
- [49] Tlaková ztráta místními odpory. In: *tzb-info.cz*. [online]. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/46-tlakova-ztrata-mistnimi-odpory>
- [50] MANDÍK, a.s., 2019. Požární klapka PKTM 90. In: *www.mandik.cz*. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/c603b14b-b5d5-4937-b750-aa6763b55a0d/018_01_cz_PKTM-90.aspx
- [51] MANDÍK, a.s., 2019. Regulační klapka kruhová RKKM. In: *www.mandik.cz*. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/00ea8733-9eb5-4863-bc4a-fa324045aa98/030_03_cz_RKKM.aspx
- [52] AZ KLIMA a. s., 2019. Katalog vzduchotechnického příslušenství. In: *www.azklima.com*. [online]. [cit. 04.04.2019]. Dostupné z: <https://www.azklima.com/ke-stazeni/>
- [53] Požární větrací mřížka ARADEx - stěnový uzávěr. In: *www.hasmat.cz*. [online]. [cit. 16.04.2019]. Dostupné z: <http://www.hasmat.cz/produkty-pozarni-vetraci-mrizka-aradex-stenovy-uzaver-detail-43>
- [54] *Elektrodesign – ventilátory s. r. o.* [online]. © 2003–2009. [online]. [cit. 14.04.2019]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/td-500-150-3v-ip44-triotackovy-ventilator> Path: Homepage; Úplný sortiment; Produkty; Ventilátory; Ventilátory do kruhového potrubí; Produktová řada TD MIXVENT; Ventilátory TD MIXVENT.
- [55] KRAINER, Robert a DUDA, Jiří, 2015. Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. In: *tzb-info.cz*. [online]. [cit. 14.04.2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [56] GUO, H., MORAWSKA, L., HE, C., GILBERT, D. Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom. In: *Sciencedirect.com*. [online]. 2008, Pages 757-768, ISSN 1352-2310, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.070>.
- [57] TEODOSIU, Catalin, ILIE, Viorel, TEODOSIU, Raluca, 2014. *Appropriate CFD Turbulence Model for Improving Indoor Air Quality of Ventilated Spaces*. Mathematical Modelling in Civil Engineering. [online]. [cit. 05.02.2019]. Dostupné z: 10. 10.2478/mmce-2014-0020.

TABULKA POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

| <u>Zkratka/symbol</u> | <u>Jednotka</u> | <u>Definice</u> |
|------------------------------|------------------------|--|
| 1.NP | [–] | první nadzemní podlaží |
| 1.PP | [–] | první podzemní podlaží |
| 2.NP | [–] | druhé nadzemní podlaží |
| 3.NP | [–] | třetí nadzemní podlaží |
| α | [°] | úhel otevření klapky |
| α_i | [W/m ² · K] | součinitel prostupu tepla ve vnitřním prostředí |
| α_e | [W/m ² · K] | součinitel prostupu tepla ve venkovním prostředí |
| B | [°C/m] | koeficient lineárního poklesu teploty |
| c | [J/kg · K] | měrná tepelná kapacita, obecně |
| C | [ppm] | Pettenkoferovo kritérium |
| c_{air} | [J/kg · K] | měrná tepelná kapacita vzduchu |
| C_P | [ppm] | celosvětový průměr koncentrace CO ₂ v ovzduší |
| c_w | [J/kg · K] | měrná tepelná kapacita vody |
| Δp | [Pa] | tlaková ztráta |
| Δp_m | [Pa] | místní tlaková ztráta |
| d_i | [m] | tloušťka konstrukce |
| EER | [–] | koeficient účinnosti provozu tepelného čerpadla v režimu chlazení |
| $EN_{1,2}$ | [W/kg] | výkon potřebný na úpravu jednoho kilogramu vzduchu pro deponitáře, „průměrná“ hodnota během roku |
| EN_5 | [W/kg] | výkon potřebný na úpravu jednoho kilogramu vzduchu pro edukační místnosti, „průměrná“ hodnota během roku |
| η_c | [–] | účinnost ventilátoru |
| η_z | [–] | účinnost žebrování |
| F_1 | [–] | obtokový součinitel chladiče, z. č. 1, 2 |
| F_5 | [–] | obtokový součinitel chladiče, z. č. 5 |
| φ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, obecně |
| $\varphi_{d,l,5}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, letní období |
| $\varphi_{d,z,5}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, zimní období |
| $\varphi_{e,l}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, venkovní, letní období |

| | | |
|-------------------|--------------------------|--|
| $\varphi_{e,l,5}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, venkovní, letní období, návrh pro z. č. 5 |
| $\varphi_{e,z}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, venkovní, zimní období |
| $\varphi_{chl,l}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu za chladičem, z. č. 1, 2 |
| $\varphi_{i,l}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, vnitřní, letní období |
| $\varphi_{i,z}$ | [%] | relativní vlhkost vzduchu, vnitřní, zimní období |
| Φ_o | [–] | teplotní faktor ZZT, přiváděný vzduch |
| Φ_p | [–] | teplotní faktor ZZT, odváděný vzduch |
| φ_{R1} | [%] | relativní vlhkost vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 1, 2, 5 |
| h | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, obecně |
| H | [m] | nadmořská výška |
| $h_{d,l,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu za deskovým výměníkem, z. č. 5, letní období |
| $h_{d,z,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu za deskovým výměníkem, z. č. 5, zimní období |
| $h_{e,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, venkovní, letní období |
| $h_{e,l,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, venkovní, letní období, návrh pro z. č. 5 |
| $h_{e,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, venkovní, zimní období |
| $h_{chl,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu za chladičem, z. č. 1, 2 |
| $h_{i,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, vnitřní, letní období |
| $h_{i,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, vnitřní, zimní období |
| $h_{i,z,5}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu, vnitřní, zimní období, pro z. č. 5 |
| h_p | [kJ/kg] | entalpie syté páry |
| $h_{p,l,5}$ | [kJ/kg] | entalpie přiváděného vzduchu (za chladičem), letní období, z. č. 5 |
| $h_{o,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu za ohřívačem, zimní období |
| h_{R5} | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 5 |
| h_{smes} | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie směsi vzduchu a absorbované páry, obecně |
| $h_{s,l}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu po smísení cirkulačního a venkovního, letní období |
| $h_{s,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie vzduchu po smísení cirkulačního a venkovního, zimní období |
| $h'_{i,z}$ | [kJ/kg _{s.v.}] | entalpie přiváděného vzduchu po vlhčení |
| g | [m/s ²] | gravitační zrychlení |
| ξ | [–] | součinitel místní tlakové ztráty |

| | | |
|------------------------|-----------------|--|
| λ_i | $[W/m \cdot K]$ | součinitel tepelné vodivosti konstrukcí |
| \dot{m} | $[kg/h]$ | hmotnostní průtok, obecně |
| \dot{m}_{chl} | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu procházejícího obtokem chladiče |
| $\dot{m}_{i,l,5}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, letní období, z. č. 5 |
| $\dot{m}_{i,z,5}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, zimní období, z. č. 5 |
| $\dot{m}_{kond,1}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok kondenzátu z chladiče, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{kond,2}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok kondenzátu z chladiče, z. č. 2 |
| \dot{m}_{ob} | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu procházejícího chladičem |
| \dot{m}_p | $[kg/h]$ | hmotnostní tok syté páry, obecně |
| $\dot{m}_{p,1}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok syté páry, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{p,2}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok syté páry, z. č. 2 |
| \dot{m}_s | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, obecně |
| \dot{m}_{smes} | $[kg/h]$ | hmotnostní tok směsi vzduchu a absorbované páry, obecně |
| $\dot{m}_{voda,chl,5}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vody v chladiči, z. č. 5 |
| $\dot{m}_{voda,o,1}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vody v ohřivači, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{voda,o,2}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vody v ohřivači, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{voda,o,5}$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vody v ohřivači, z. č. 5 |
| \dot{m}'_1 | $[kg/h]$ | odhad hmotnostního průtoku vzduchu během roku, z. č. 1 |
| \dot{m}'_2 | $[kg/h]$ | odhad hmotnostního průtoku vzduchu během roku, z. č. 2 |
| \dot{m}'_5 | $[kg/h]$ | odhad hmotnostního průtoku vzduchu během roku, z. č. 5 |
| $\dot{m}_{i,l,1}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, vnitřní okruh, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{i,l,2}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, vnitřní okruh, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{i,z,1}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, vnitřní okruh, zimní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{i,z,2}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, vnitřní okruh, zimní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{s,l,1}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, směšování, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{s,l,2}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, směšování, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{s,z,1}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, směšování, zimní období, z. č. 1 |

| | | |
|---------------------|-----------------|---|
| $\dot{m}_{s,z,2}^s$ | $[kg_{s.v.}/h]$ | hmotnostní tok suchého vzduchu, směšování, zimní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{i,l,1}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, vnitřní okruh, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{i,l,2}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, vnitřní okruh, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{i,z,1}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, vnitřní okruh, zimní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{i,z,2}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, vnitřní okruh, zimní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{s,l,1}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, směšování, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{s,l,2}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, směšování, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{m}_{s,z,1}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, směšování, zimní období, z. č. 1 |
| $\dot{m}_{s,z,2}^v$ | $[kg/h]$ | hmotnostní tok vlhkého vzduchu, směšování, zimní období, z. č. 2 |
| P | [W] | výkon ventilátoru |
| p_{atm} | [Pa] | atmosférický tlak v nadmořské výšce 256 m. n. m. |
| P_b | [Pa] | standartní atmosférický tlak |
| P_p | [W] | příkon ventilátoru |
| p_p'' | [Pa] | parciální tlak syté páry, obecně |
| $p_{p(t=7,9)}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry při teplotě 7,9 °C |
| $p_{p(t=11,7)}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry při teplotě 11,7 °C |
| $p_{p,d,l,5}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, letní období |
| $p_{p,d,z,5}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, zimní období |
| $p_{p,e,l}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry, venkovní, letní období |
| $p_{p,e,l,5}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry, venkovní, letní období, návrhový stav pro z. č. 5 |
| $p_{p,e,z}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry, venkovní, zimní období |
| $p_{p,ch,l,l}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry ve vzduchu za chladičem, z. č. 1, 2 |
| $p_{p,i,l}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry, vnitřní, letní období |
| $p_{p,i,z}''$ | [Pa] | parciální tlak syté páry, vnitřní, zimní období |
| ω | $[m/s]$ | rychlost, obecně |

| | | |
|-------------------|------------------------|--|
| ω_{ef} | [m/s] | rychlost v efektivním průřezu |
| $Q_{1h,1,2}$ | [kW] | „průměrný“ výkon zařízení při 1 hodině provozu během roku, z. č. 1, 2 |
| $Q_{1h,5}$ | [kW] | „průměrný“ výkon zařízení při 1 hodině provozu během roku, z. č. 5 |
| $Q_{c,1,2}$ | [kWh] | celková energie potřebná na provoz zařízení č. 1 a 2 během roku |
| $Q_{c,5}$ | [kWh] | celková energie potřebná na provoz zařízení č. 5 během roku |
| Q_{dep} | [MWh] | celková energie potřebná na větrání depozitářů během roku |
| \dot{Q}_{air} | [W] | tepelná zátěž odvedená větracím vzduchem z edukačních místností |
| $\dot{Q}_{chl,1}$ | [W] | výkon chladiče, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{Q}_{chl,2}$ | [W] | výkon chladiče, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{Q}_{chl,5}$ | [W] | výkon chladiče, letní období, z. č. 5 |
| $\dot{Q}_{o,5}$ | [W] | výkon ohřívače, z. č. 5 |
| $\dot{Q}_{o,l,1}$ | [W] | výkon ohřívače, letní období, z. č. 1 |
| $\dot{Q}_{o,l,2}$ | [W] | výkon ohřívače, letní období, z. č. 2 |
| $\dot{Q}_{o,z,1}$ | [W] | výkon ohřívače, zimní období, z. č. 1 |
| $\dot{Q}_{o,z,2}$ | [W] | výkon ohřívače, zimní období, z. č. 2 |
| r | [J/kg · K] | plynová konstanta, obecně |
| r_p | [J/kg · K] | plynová konstanta syté páry |
| $r_{s,l}$ | [J/kg · K] | plynová konstanta vlhkého vzduchu, zimní období |
| $r_{s,z}$ | [J/kg · K] | plynová konstanta vlhkého vzduchu, letní období |
| ρ | [kg/m ³] | hustota, obecně |
| r_s | [J/kg · K] | plynová konstanta suchého vzduchu |
| ΣR_i | [m ² · K/W] | suma odporů konstrukcí |
| t | [°C] | teplota, obecně |
| $T_{1,2}$ | [h] | doba provozu z. č. 1, 2 během roku |
| T_5 | [h] | doba provozu z. č. 5 během roku |
| $t_{d,l,5}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem, letní období, z. č. 5 |
| $t_{d,z,5}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem, zimní období, z. č. 5 |
| $t_{e,l}$ | [°C] | teplota vzduchu, venkovní, letní období |
| $t_{e,l,5}$ | [°C] | teplota venkovního vzduchu, letní období, návrh pro z. č. 5 |

| | | |
|----------------|---------------------|---|
| $t_{e,z}$ | [°C] | teplota vzduchu, venkovní, zimní období |
| $t_{chl,2,l}$ | [°C] | teplota vzduchu za chladičem (před smísením s obtokovým vzduchem), z. č. 1, 2, letní období |
| $t_{chl,l}$ | [°C] | teplota vzduchu za chladičem (po smísení s obtokovým vzduchem), z. č. 1, 2, letní období |
| $t_{i,l}$ | [°C] | teplota vzduchu, vnitřní, letní období |
| $T_{i,l}$ | [K] | termodynamická teplota vzduchu, vnitřní, letní období |
| $T_{i,l,5}$ | [K] | termodynamická teplota vzduchu, vnitřní, letní období, pro z. č. 5 |
| $t_{i,z}$ | [°C] | teplota vzduchu, vnitřní, zimní období |
| $T_{i,z}$ | [K] | termodynamická teplota vzduchu, vnitřní, zimní období |
| $T_{i,z,5}$ | [K] | termodynamická teplota vzduchu, vnitřní, zimní období, pro z. č. 5 |
| $t_{p2,l}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, letní období |
| $t_{p2,z}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, zimní období |
| T_0 | [°C] | standartní teplota |
| $t_{o1,z}$ | [°C] | teplota odváděného vzduchu před deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, zimní období |
| $t_{o2,z}$ | [°C] | teplota odváděného vzduchu za deskovým výměníkem tepla, z. č. 5, zimní období |
| t_{R1} | [°C] | teplota vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 1, 2 |
| t_{R5} | [°C] | teplota vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 5 |
| $t_{s,l}$ | [°C] | teplota směsi cirkulačního a venkovního vzduchu, letní období |
| $t_{s,z}$ | [°C] | teplota směsi cirkulačního a venkovního vzduchu, zimní období |
| $t_{w,chl}$ | [°C] | teplota vypařování chladiva, z. č. 1, 2 |
| $t_{w,chl,5}$ | [°C] | střední teplota vody v chladiči |
| $t'_{i,z}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu po vlhčení |
| $t'_{p2,z}$ | [°C] | teplota přiváděného vzduchu za deskovým výměníkem tepla, po zavedení protimrazové ochrany |
| \dot{V} | [m ³ /h] | průtok vzduchu ve ventilátoru |
| \dot{V}_e | [m ³ /h] | průtok venkovního vzduchu na osobu potřebný pro udržení koncentrace max. 1000 ppm |
| \dot{V}_{e1} | [m ³ /h] | průtok venkovního vzduchu, z. č. 1 |

| | | |
|-----------------|-----------------|---|
| \dot{V}_{e2} | $[m^3/h]$ | průtok venkovního vzduchu, z. č. 2 |
| \dot{V}_{i1} | $[m^3/h]$ | průtok vnitřního vzduchu, z. č. 1 |
| \dot{V}_{i2} | $[m^3/h]$ | průtok vnitřního vzduchu, z. č. 2 |
| \dot{V}_{i5} | $[m^3/h]$ | průtok vzduchu, z. č. 5 |
| \dot{V}_{s1} | $[m^3/h]$ | průtok směřovaného vzduchu, z. č. 1 |
| \dot{V}_{s2} | $[m^3/h]$ | průtok směřovaného vzduchu, z. č. 2 |
| \dot{V}_{ξ} | $[m^3/h]$ | objemový průtok vydechovaného CO ₂ |
| x | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, obecně |
| $x_{d,l,5}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost přívodního vzduchu za deskovým výměníkem, z. č. 5, letní období |
| $x_{d,z,5}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost přívodního vzduchu za deskovým výměníkem, z. č. 5, zimní období |
| $x_{e,l}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, venkovní, letní období |
| $x_{e,l,5}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, venkovní, letní období, návrh pro z. č. 5 |
| $x_{e,z}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, venkovní, zimní období |
| $x_{chl,l}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost vzduchu za chladičem, z. č. 1, 2 |
| $x_{i,l}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, vnitřní, letní období |
| $x_{i,z}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost, vnitřní, zimní období |
| x_{R1} | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 1, 2 |
| x_{R5} | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost vzduchu na povrchu chladiče, z. č. 5 |
| x_{smes} | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost směsi vzduchu a absorbované páry, obecně |
| $x_{s,l}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost směsi cirkulačního a venkovního vzduchu, letní období |
| $x_{s,z}$ | $[g/kg_{s.v.}]$ | měrná vlhkost směsi cirkulačního a venkovního vzduchu, zimní období |

SEZNAM PŘÍLOH

| | | | |
|----|--|-------|-----|
| P1 | Složení stavebních konstrukcí | | 119 |
| P2 | Výpočet součinitelů prostupu tepla | | 121 |
| P3 | Schémata zařízení | | 124 |
| P4 | Tabulka výkonů | | 128 |
| P5 | Výpočet tlakových ztrát potrubních rozvodů | | 129 |
| P6 | Test nezávislosti sítě | | 145 |
| P7 | Stáří vzduchu – výsledky | | 147 |

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

| Číslo výkresu | Název |
|---------------|--------------------|
| 01 | 01_PUDORYS_1PP |
| 02 | 02_PUDORYS_1NP |
| 03 | 03_PUDORYS_2NP |
| 04 | 04_PUDORYS_3NP |
| 05 | 05_PUDORYS_STRECHA |
| 06 | 06_REZY |

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

| Název souboru | |
|--|---|
| PRILOHA_TEPELNE_ZISKY_EDUKACNI_MISTNOSTI.xlsx | |
| 115_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 115, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 115_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 115, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 124_Outlet.sim | CFD simulace – m. č. 124 |
| 127_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 127, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 127_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 127, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 205_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 205, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 205_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 205, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 206_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 206, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 206_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 206, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 207_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 207, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 207_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 207, odvod vzduchu vyústkou u stropu |

| | |
|-----------------------------------|--|
| 208_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 208, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 208_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 208, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 213_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 213, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 213_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 213, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 305_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 305, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 305_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 305, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 308_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 308, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 308_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 308, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 310_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 310, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 310_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 310, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| 311_LOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 311, odvod vzduchu vyústkou u země |
| 311_UOutlet.sim | CFD simulace – m. č. 311, odvod vzduchu vyústkou u stropu |
| DP_zar_cislo_1_verze_1.tpf | energetická simulace, z. č. 1 – verze 1 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_1_verze_2.tpf | energetická simulace, z. č. 1 – verze 2 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_1_verze_3.tpf | energetická simulace, z. č. 1 – verze 3 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_1_verze_4.tpf | energetická simulace, z. č. 1 – verze 4 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_2_verze_1.tpf | energetická simulace, z. č. 2 – verze 1 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_2_verze_2.tpf | energetická simulace, z. č. 2 – verze 2 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_2_verze_3.tpf | energetická simulace, z. č. 2 – verze 3 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_2_verze_4.tpf | energetická simulace, z. č. 2 – verze 4 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_5_verze_1.tpf | energetická simulace vč. chlazení a vytápění, z. č. 5 – verze 1 (verze dle kap. 5.1.5) |
| DP_zar_cislo_5_verze_2.tpf | energetická simulace vč. chlazení a vytápění, z. č. 5 – verze 2 (verze dle kap. 5.1.5) |
| složka TRNBUILD | složka souborů s nastavením multi-zonální budovy |
| CZ-Kucharovice-116980.tm2 | soubor s klimatickými daty pro Kuchařovice |

P1 Složení stavebních konstrukcí

Složení **obvodové stěny** je směrem z interiéru:

| Interiér | Popis |
|-----------------------------------|---|
| Otěru vzdorná disperzní malba | 2 vrstvy |
| Vápenocementová třívrstvá omítka | tl. 25 mm |
| Stávající konstrukce – Cihla plná | tl. 700 mm, u některých obvodových stěn jiná |
| Stříkaný beton s kari sítí | tl. 60 mm, použit pro stěny přilehlé k zemině |
| Vyztužené rohože z minerální vaty | tl. 150 mm nebo 200 mm |
| Fasádní cementový flexibilní tmel | 2 vrstvy |
| Silikon-silikátová omítka | tl 1,5 mm |

Složení **podlahy přilehlé k zemině** směrem z místnosti:

| Interiér | Popis |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Podlahová krytina | koberec (tl. 5 mm) nebo jiné |
| Cementový potěr | tl. 60 mm |
| Separáčnı pěnová fólie | tl. 5 mm |
| Desky extrudovaného polystyrenu | tl. 50 mm |
| Asfaltové pásy s minerální tkaninou | 2 vrstvy tl. 2x4 mm |
| Vyrovnávacı cementový potěr | tl. 5 mm |
| Železobetonová základová deska | tl. 150 mm |
| Cementová malta | tl. 50 mm |
| Štěrık z pěnového skla | tl. 250 mm |
| Rostlá zemina | - |

Složení **podlahy mezi patry 1. NP a 1. PP** směrem z vyššího patra:

| Hornı patro | Popis |
|----------------------------------|-----------|
| Podlahový nátěr | - |
| Cementový potěr | tl. 60 mm |
| Podlahová pěnová fólie | tl. 5 mm |
| Podlahové desky cemento-vláknitě | tl. 20 mm |
| Ocelové válcované nosníky | - |
| Železobetonová stropní deska | tl. 70 mm |
| Vápenocementová omítka | tl. 20 mm |
| Disperznı malba | 2 vrstvy |

Složení **podlahy mezi nadzemními patry** směrem z vyššího patra:

| Horní patro | Popis |
|-----------------------------------|------------|
| Podlahový nátěr | - |
| Cementový potěr | tl. 45 mm |
| Železobetonová stropní deska | tl. 100 mm |
| Trapézový pozinkovaný plech | - |
| Ocelové válcované nosníky | - |
| Ocelový pozinkovaný rošt | - |
| Podhled ze sádrokartonových desek | tl. 15 mm |
| Latexová malba | 2 vrstvy |

Složení **střechy** směrem z exteriéru:

| Exteriér | Popis |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Střešní krytina | koberec (tl. 5 mm) nebo jiné |
| Desky extrudovaného polystyrenu | tl. 120 mm + 140 mm (spádování 3%) |
| Asfaltové pásy | 3 vrstvy |
| Betonová mazanina | tl. 20 mm |
| Exteriérová mazanina | tl. 50 mm |
| Heraklitové desky | tl. 25 mm |
| Polystyrenové desky | tl. 50 mm |
| Experlitový násyp | tl. 200 – 400 mm |
| Železobetonové stropní desky | tl. 70 mm |
| Vápencová omítka | tl. 20 mm |
| Disperzní malba | 2 vrstvy |

Vnitřní stěny jsou složeny následovně:

| Interiér | Popis |
|-------------------------|----------------|
| Disperzní malba | 2 vrstvy |
| Vápenná omítka | tl. 5 mm |
| Cihla plná ² | různé tloušťky |
| Vápenná omítka | tl. 5 mm |
| Disperzní malba | 2 vrstvy |

² Některé vnitřní stěny jsou stejně jako obvodové stěny přilehlé k zemině opatřeny betonovým nástřikem. Rovněž tloušťky stěn se různí.

P2 Výpočet součinitelů prostupu tepla

| Stěna obvodová - přilehlá k zemině | | | |
|------------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenocementová omítka | 0,0250 | 0,9700 | 0,026 |
| cihla plná | 0,7000 | 0,8000 | 0,875 |
| beton s kari sítí | 0,0600 | 1,3000 | 0,046 |
| minerální vata - rohože | 0,1500 | 0,0390 | 3,846 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,067 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 4,985 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,201 |

| Stěna obvodová - bez vyztužení | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenocementová omítka | 0,0250 | 0,9700 | 0,026 |
| cihla plná | 0,7000 | 0,8000 | 0,875 |
| minerální vata - rohože | 0,2000 | 0,0390 | 5,128 |
| sikikonsilikátová omítka | 0,0015 | 0,1000 | 0,015 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,067 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 6,236 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,160 |

| Stěna obvodová - s vyztužením | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenocementová omítka | 0,0250 | 0,9700 | 0,026 |
| beton s kari sítí | 0,0600 | 1,3000 | 0,046 |
| cihla plná | 0,7000 | 0,8000 | 0,875 |
| beton s kari sítí | 0,0500 | 1,3000 | 0,038 |
| minerální vata - rohože | 0,1500 | 0,0390 | 3,846 |
| sikikonsilikátová omítka | 0,0015 | 0,1000 | 0,015 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,067 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 5,038 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,198 |

| Stěna vnitřní - celkové tl. 850 mm | | | |
|---|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| cihla plná | 0,8500 | 0,8000 | 1,063 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 1,324 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,755 |

| Stěna vnitřní - celkové tl. 670 mm | | | |
|---|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| cihla plná | 0,6700 | 0,8000 | 0,838 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 1,099 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,910 |

| Stěna vnitřní - celkové tl. 550 mm | | | |
|---|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| cihla plná | 0,5500 | 0,8000 | 0,688 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,949 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,054 |

| Stěna vnitřní - celkové tl. 340 mm | | | |
|---|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| cihla plná | 0,3400 | 0,8000 | 0,425 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,686 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,457 |

| Stěna vnitřní - celkové tl. 250 mm | | | |
|---|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| cihla plná | 0,2500 | 0,8000 | 0,313 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,574 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,742 |

| Podlaha - přilehlá k zemině | | | |
|------------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Cementový potěr | 0,0600 | 1,1600 | 0,052 |
| Extrudovaný polystyren | 0,0500 | 0,0340 | 1,471 |
| Železobetonová základová deska | 0,1500 | 1,5800 | 0,095 |
| Cementová malta | 0,0500 | 1,1600 | 0,043 |
| Štěrk z pěnového skla | 0,2500 | 0,9300 | 0,269 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,000 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 2,064 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,487 |

| Podlaha - mezi 1.NP a 1.PP | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Cementový potěr | 0,0600 | 1,1600 | 0,052 |
| Cementovláknité desky | 0,0200 | 0,0340 | 0,588 |
| Železobetonová stropní deska | 0,0700 | 1,5800 | 0,044 |
| Vápenocementová omítka | 0,0200 | 0,9700 | 0,021 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,492 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,047 |

| Podlaha - mezi nadzemními patry | | | |
|--|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Cementový potěr | 0,0450 | 1,1600 | 0,052 |
| Cementovláknité desky | 0,0200 | 0,0340 | 0,588 |
| Železobetonová stropní deska | 0,0700 | 1,5800 | 0,044 |
| Vápenocementová omítka | 0,0200 | 0,9700 | 0,021 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,950 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,062 |

| Střecha | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,067 |
| Extrudovaný polystyren | 0,1900 | 0,0340 | 5,588 |
| Betonová mazanina | 0,0700 | 1,3000 | 0,054 |
| Dřevocementové desky | 0,0250 | 0,0900 | 0,278 |
| Polystyrenové desky | 0,0200 | 0,0370 | 0,541 |
| Experlitový násyp | 0,3000 | 0,1000 | 3,000 |
| Vápená omítka | 0,0200 | 0,8700 | 0,023 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 9,675 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 0,103 |

| Stěna vnitřní - porobetonová tl. 150 mm | | | |
|--|--------|-----------------------|-----------------------|
| MATERIÁL | d | λ | R |
| | [m] | [W/m.K] | [m ² .K/W] |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Porobeton | 0,1500 | 0,2100 | 0,714 |
| Vápenná omítka | 0,0050 | 0,8700 | 0,006 |
| Součinitel přestupu tepla | | | 0,125 |
| Výsledný odpor konstrukce | R | [m ² .K/W] | 0,976 |
| Součinitel prostupu tepla celkový | U | [W/m ² .K] | 1,025 |

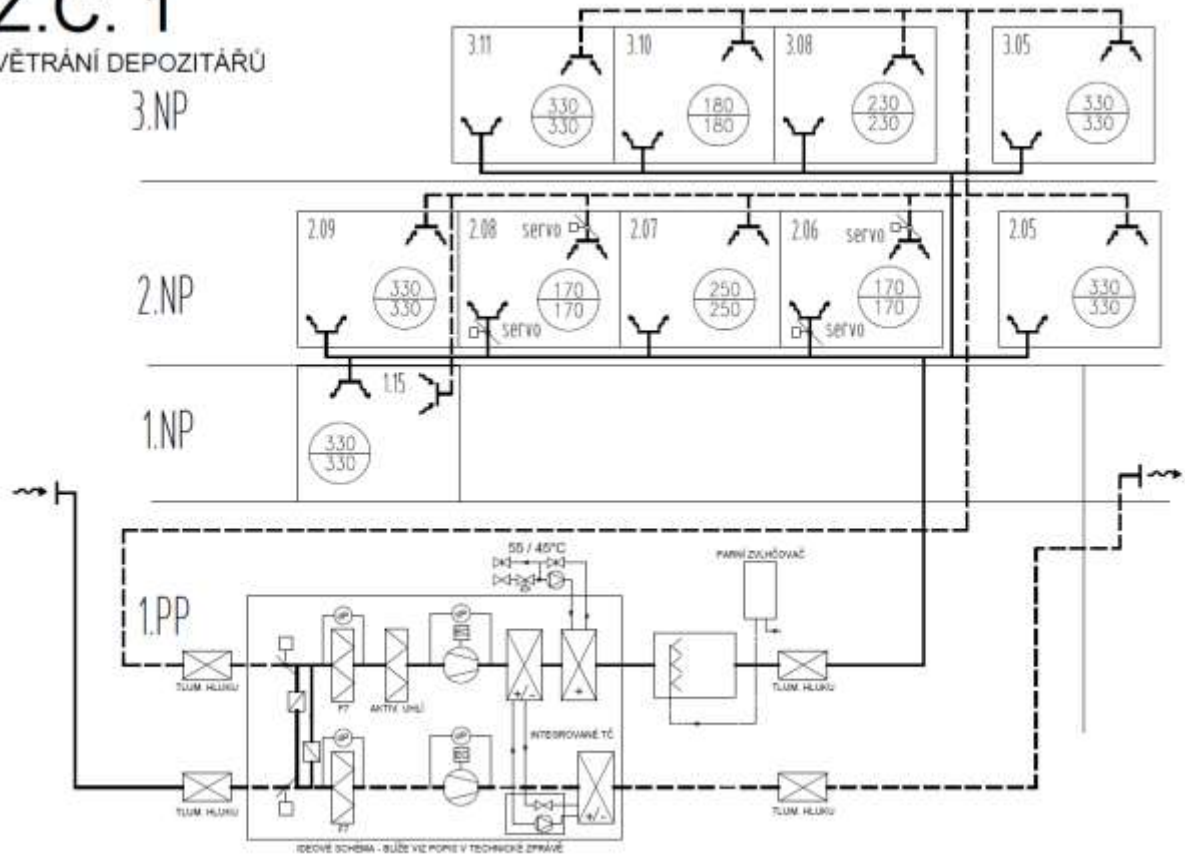
| Výplně otvorů | |
|--------------------------------|-----------------------|
| | R |
| | [W/m ² .K] |
| Okno dvojité | 1,2 |
| Dveře do venkovního prostoru | 1,2 |
| Dveře mezi vytápěnými prostory | 2,3 |

P3 Schémata zařízení

Z.Č. 1

VĚTRÁNÍ DEPOZITÁŘŮ

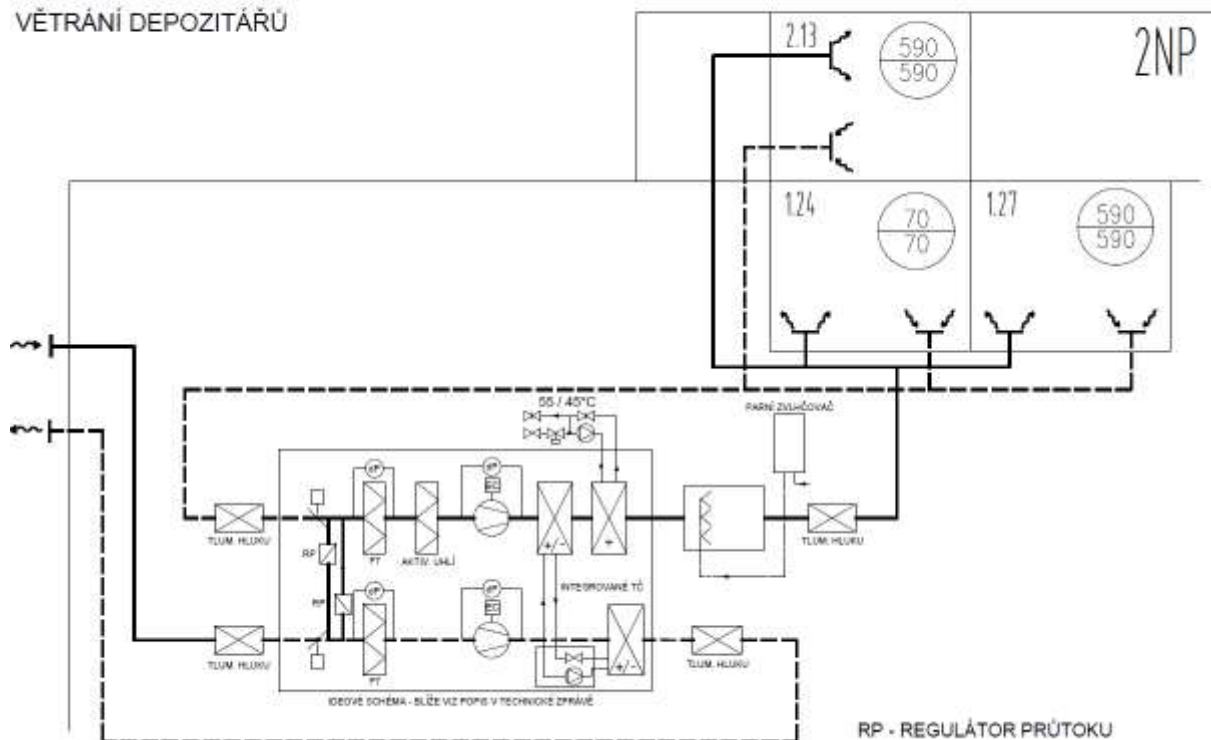
3.NP



Z.Č. 2

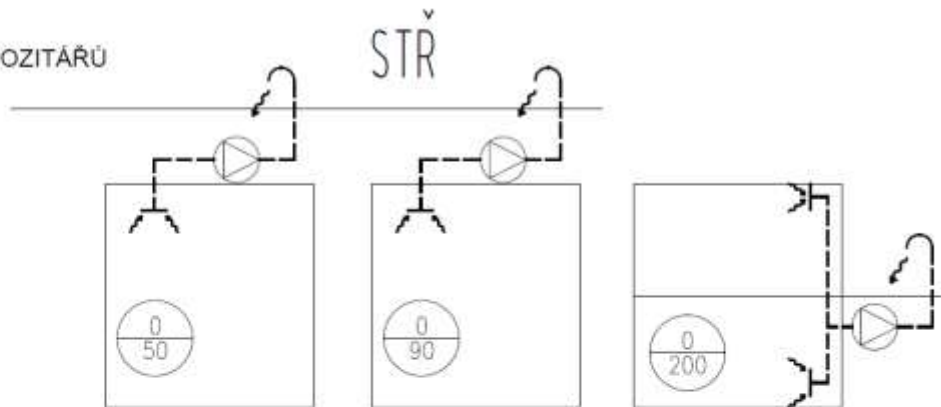
VĚTRÁNÍ DEPOZITÁŘŮ

2NP



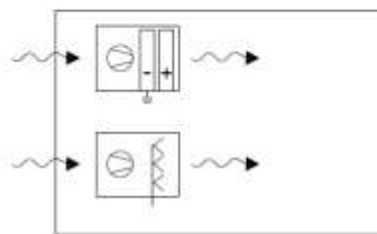
Z.Č. 3

ODPLYNĚNÍ DEPOZITÁŘŮ



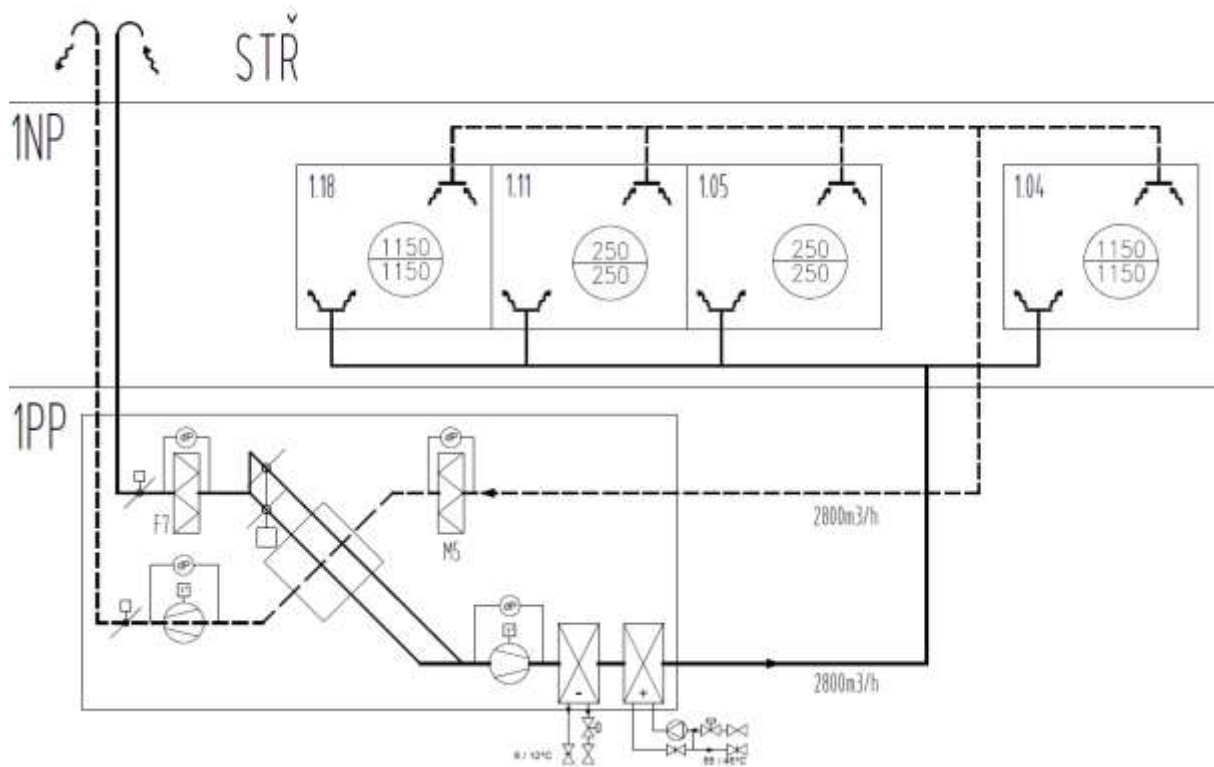
Z.Č. 4

MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ - ZVLHČOVAČE A ODVLHČOVAČE VZDUCHU



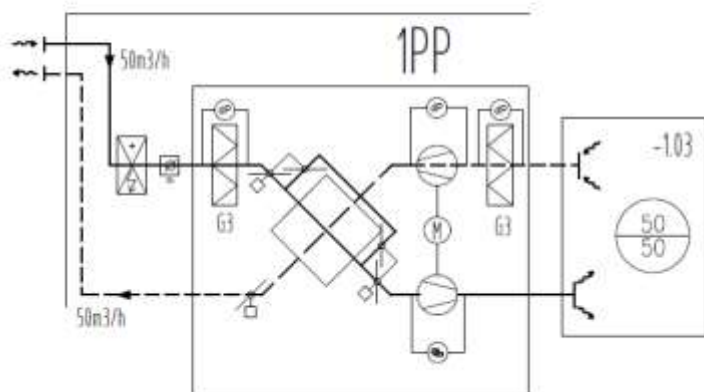
Z.Č. 5

VĚTRÁNÍ EC MÍSTNOSTÍ



Z.Č. 6

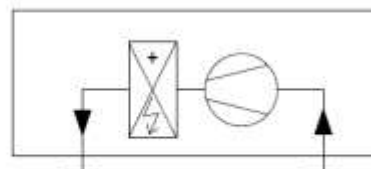
VĚTRÁNÍ DIGITALIZAČNÍHO PRACOVIŠTĚ



Z.Č. 7

DVEŘNÍ CLONA - VSTUPNÍ HALA

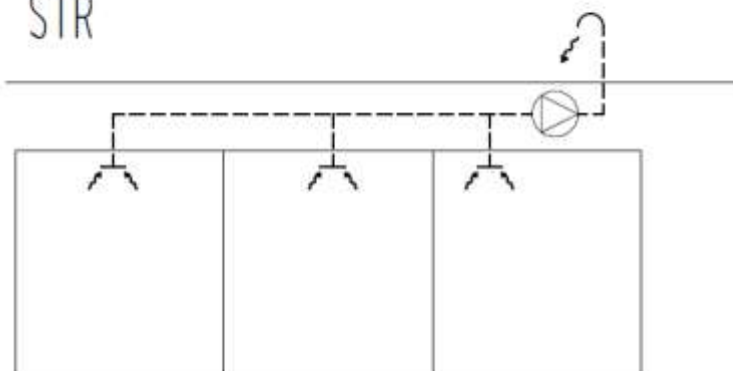
1NP



Z.Č. 8

VĚTRÁNÍ HYGIENICKÝCH MÍSTNOSTÍ

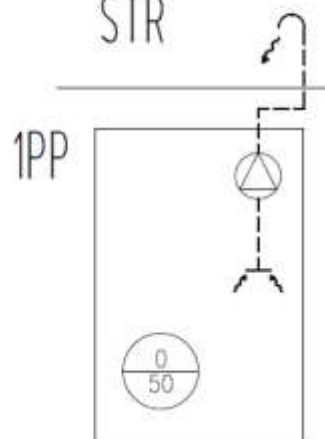
STR



Z.Č. 9

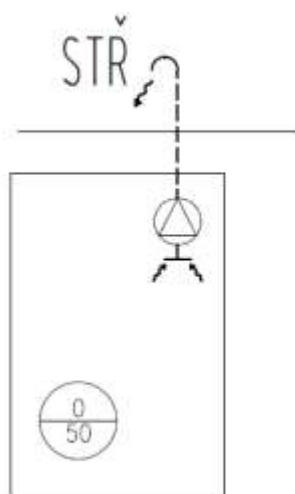
VĚTRÁNÍ ČAJOVÉ KUCHYŇKY

STR



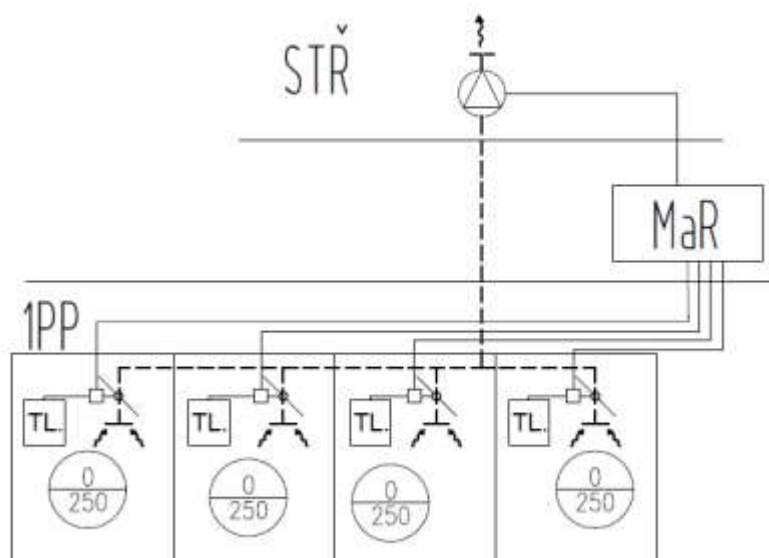
Z.Č. 10

VĚTRÁNÍ TECHNICKÝCH MÍSTNOSTÍ



Z.Č. 11

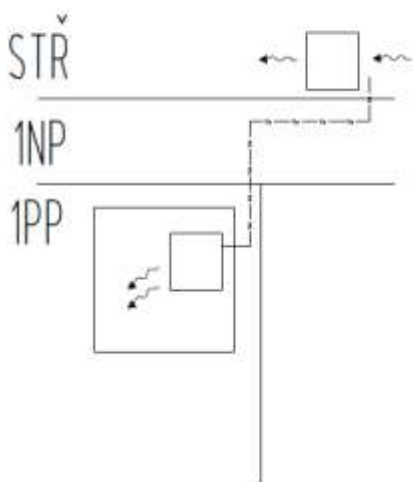
DIGESTOŘE



POZN. MaR MONITORUJE POČET OTEVŘENÝCH KLAPEK

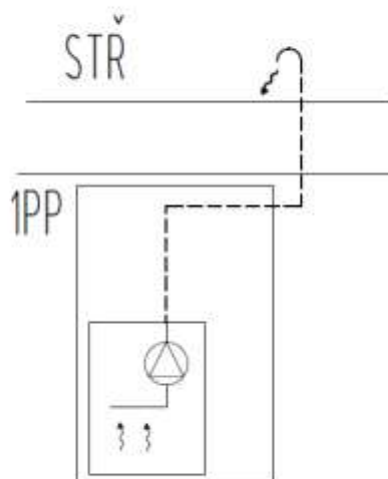
Z.Č. 12

CHLAZENÍ SERVEROVNY



Z.Č. 13

SKŘÍŇOVÁ DIGESTOŘ



POZN. DIGESTOŘ S VENTILÁTOREM JSOU SOUČÁSTÍ SKŘÍŇ. DIG.

Z.Č. 14

VĚTRÁNÍ VÝTAHOVÉ ŠACHTY



P4 Tabulka výkonů

| Zař. číslo | Název zařízení | Zařízení | | | | Umístění | | Ventilátor | | | Ohřev | | | Chlazení | | | Vlhčení | Elektrina | | | | | Ovl. | Poznámka |
|------------|---|--------------------------------|---------------------------|---------------|---------|----------|------------------|--------------|------|----------|------------------|-----------|--------|----------|-----------|----------|-------------|-------------------------------|---------------------------|-------|---------|------------------|--|-----------------------------|
| | | Popis zařízení | přívod odvod | číslo pozice | podlaží | m.č. | množství vzduchu | externí tlak | ks | hmotnost | výkon (55/45° C) | tl Ztráta | průtok | výkon | tl Ztráta | průtok | Pára (voda) | elektrický příkon jednotkov ý | elektrický příkon celkový | prond | jištění | napětí/frekvence | - | - |
| - | - | - | - | - | - | (m³/h) | (Pa) | - | (kg) | (kW) | (kPa) | (kg/h) | (kW) | (kPa) | (kg/h) | (kg/hod) | (kW) | (kW) | (A) | (A) | (V/Hz) | - | - | |
| 1 | Větrání depozitářů č.1 | VZT jednotka s integrovaným TČ | přívod+odvod (sání+výfuk) | 1.01 | 1.PP | -1.05 | 2680 / 3500 | 410 / 560 | 1 | | 2,76 | max. 20 | 240 | 2,73 | - | - | - | 13,6 | 13,6 | 19,62 | 25 | 400/50 | regulace součástí VZT, regulační klapky MaR (pozn. *1) | komunikace s nadřazenou MaR |
| | | Parní zvlhčovač | zvlhčovač regulace | 1.02 1.02a | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1,64 | 1,1 | 1,1 | 2,75 | - | 400/50 230/50 |
| 2 | Větrání depozitářů č.2 | VZT jednotka s integrovaným TČ | přívod+odvod (sání+výfuk) | 2.01 | 1.NP | 1.25 | 1250 / 2500 | 250 / 335 | 1 | | 1,29 | max. 20 | 120 | 1,21 | - | - | - | 10,6 | 10,6 | - | 25 | 400/50 | regulace součástí VZT | komunikace s nadřazenou MaR |
| | | Parní zvlhčovač | zvlhčovač regulace | 2.02 2.02a | | | | | | 1 | | | | | | | | | 0,765 | 0,5 | 0,5 | 1,25 | - | 400/50 230/50 |
| 3 | Odplynění depozitářů | radiální protipožární vent. | odvod | 3.01 a-e | 1-3.NP | více | 90 | 110 | 5 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | 0,04 | 0,2 | 0,18 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač | |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 3.02 | 1.NP | 1.25 | 400 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač |
| | | radiální ventilátor | odvod | 3.03 a-b | 1-2.NP | více | 50 | 220 | 2 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | 0,034 | 0,068 | 0,15 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač |
| | | radiální ventilátor | odvod | 3.04 a-b | 2-3.NP | více | 90 | 110 | 2 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | 0,04 | 0,08 | 0,18 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač |
| 4 | Mobilní zařízení - zvlhčovače a odvlhčovače vzduchu | zvlhčovač vzduchu | cirkulační | 4.01 a-b | 2.NP | více | 300 / 500 | - | 2 | 20 | - | - | - | - | - | - | 1,2 | 0,05 | 0,1 | - | 230/50 | Ele (autonomní) | (2x přívod vody) | |
| | | odvlhčovač vzduchu | cirkulační | 4.02 a-b | 2.NP | více | 510 | - | 2 | 26 | - | - | - | - | - | - | - | -0,4 | 0,52 | 1,04 | - | 230/50 | Ele (autonomní) | (2x kanalizace) |
| 5 | Větrání přednáškových místností | VZT jednotka | přívod | 5.01 | 1.PP | -1.05 | 2800 | 150 | 1 | 995 | 11,3 | max 20 | 970 | 7,36 | max 20 | 1050 | - | 2,5 | 2,5 | 4 | - | 400/50 | MaR | |
| | | | odvod | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Větrání kanceláře | Rekuperace VZT jednotka | přívod + odvod | 6.01 | 1.PP | -1.05 | 50 | 130 | 1 | 12 | - | - | - | - | - | - | - | 0,72 | 0,72 | 0,59 | - | 230/50 | Ele (autonomní) | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Dveřní clona | elektrická dveřní clona | cirkulační | 7.01 | 1.NP | 1.01 | 3300 | - | 1 | 40 | - | - | - | - | - | - | - | 19 | 19 | 27,5 | - | 400/50 | Ele (autonomní) | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Větrání hygienických místností | potrubní ventilátor | odvod | 8.01 | 1.PP | -1.19 | 300 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele (místní + doběh) | s osvětlením |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 8.02 | 1.NP | 1.10 | 240 | 140 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 1,053 | 1,053 | 1,21 | - | 230/50 | Ele (místní + doběh) | s osvětlením |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 8.03 | 1.NP | 1.10 | 240 | 140 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 2,053 | 2,053 | 2,21 | - | 230/50 | Ele (místní + doběh) | s osvětlením |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 8.04 | 2.NP | 2.03 | 200 | 150 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 3,053 | 3,053 | 3,21 | - | 230/50 | Ele (místní + doběh) | s osvětlením |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 8.05 | 3.NP | 3.06 | 280 | 120 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 4,053 | 4,053 | 4,21 | - | 230/50 | Ele (místní + doběh) | s osvětlením |
| | | radiální požární ventilátor | odvod | 8.06 | 3.NP | 3.09 | 50 | 220 | 1 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | 0,034 | 0,034 | 0,15 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač |
| 9 | Větrání čajové kuchyňky | radiální ventilátor | odvod | 9.01 | 3.NP | 3.02 | 90 | 110 | 1 | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | 0,04 | 0,04 | 0,18 | - | 230/50 | Ele (místní) | vypínač |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Větrání technických místností | potrubní ventilátor | odvod | 10.01 | 1.PP | -1.05 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 10.02 | 1.PP | -1.06 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 10.03 | 1.PP | -1.07 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 10.04 | 1.PP | -1.21 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 10.05 | 3.NP | 3.07 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| | | potrubní ventilátor | odvod | 10.06 | 1.NP | 1.25 | 50 | 130 | 1 | 2,7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,053 | 0,053 | 0,21 | - | 230/50 | Ele | s osvětlením + čas. program |
| 11 | Digestoře | násťřešň ventilátor | odvod | 11.01 | STR | - | 1000 | 150 | 1 | 8,2 | - | - | - | - | - | - | - | 0,165 | 0,165 | 1,4 | - | 230/50 | MaR | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Chlazení serverovny | kondenzační j. - vnitřní | - | 12.01 | 1PP | -1.04 | - | - | 1 | 8,3 | - | - | - | - | - | 780 | - | 0,98 | 0,98 | 7 | 15 | 230/50 | MaR | |
| | | kondenzační j. - venkovní | - | 12.02 | STR | - | - | - | 1 | 30,5 | - | - | - | 3,5 | - | 2100 | - | - | - | - | - | 230/50 | MaR | stř. - nad 1NP |
| 13 | Skříňová digestoř (pozn. *2) | příprava | odvod | 13.01 | - | -1.13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Napojení digestoře |

Poznámky

1) MaR bude ovládat 4 servopohony na potrubním rozvodu v m.č. 2.02, 2.06 (2-polohově)

2) Digestoře jsou dodávkou profese vnitřní vybavení. VZT pouze digestoře napojuje na potrubí VZT

P5 Výpočet tlakových ztrát potrubních rozvodů

Zařízení číslo 1

| sání | hrnaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení ³ | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | protidešťová žaluzie | 0,600 | 0,500 | 0,26 | | | | | | 3500 | 3,67 | | 26,00 |
| | potrubí - hrnaté | 0,280 | 0,710 | 0,20 | 2,00 | | | | | 3500 | 4,89 | 0,648 | 1,30 |
| | potrubí - hrnaté | 0,250 | 0,710 | 0,18 | 2,67 | | | | | 3500 | 5,48 | 0,887 | 2,37 |
| | potrubí - hrnaté | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,20 | | | | | 3500 | 4,86 | 0,563 | 0,68 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 3500 | 4,86 | | 52,74 |
| | potrubí - hrnaté | 0,315 | 0,500 | 0,16 | 0,95 | | | | | 3500 | 6,17 | 1,040 | 0,99 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 3500 | 4,86 | | 52,74 |
| | potrubí - hrnaté | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,40 | | | | | 3500 | 4,86 | 0,563 | 0,23 |
| | potrubí - hrnaté | 0,560 | 0,280 | 0,16 | 2,00 | | | | | 3500 | 6,20 | 1,100 | 2,20 |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 139,2 | |

| výfuk | hrnaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,600 | 0,600 | 0,36 | 0,15 | | | 0,4 | 0,5 | 3500 | 2,70 | | 0,70 |
| | koleno | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | 0,15 | | | | 3500 | 4,86 | | 3,90 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 3500 | 4,86 | | 52,74 |
| | koleno | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | 0,15 | | | | 3500 | 4,86 | | 3,90 |
| | koleno | 0,500 | 0,400 | 0,20 | | 0,15 | | | | 3500 | 4,86 | | 4,53 |
| | potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,45 | | | | | 3500 | 4,86 | 0,563 | 0,25 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 3500 | 4,86 | | 52,74 |
| | tvarovka - souměrná | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,50 | | | 0,25 | 0,71 | 3500 | 4,86 | | 0,34 |
| | potrubí | 0,250 | 0,710 | 0,18 | 0,90 | | | | | 3500 | 5,48 | 0,887 | 0,80 |
| | potrubí | 0,280 | 0,710 | 0,20 | 1,60 | | | | | 3500 | 4,89 | 0,648 | 1,04 |
| | protidešťová žaluzie | 0,600 | 0,500 | 0,26 | - | | | | | 3500 | 3,67 | | 17,00 |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 137,9 | |

³ kolena rotují vždy kolem prvního uvedeného rozměru (šířky)

| odvod - společný | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 1,46 | | | | | 2680 | 5,32 | 0,870 | 1,27 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 3,80 | | | | | 2680 | 5,32 | 0,870 | 3,31 |
| | potrubí | 0,280 | 0,500 | 0,14 | 0,65 | | | | | 2680 | 5,32 | 0,870 | 0,57 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2680 | 3,72 | | 47,13 |
| | potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,05 | | | | | 2680 | 3,72 | 0,345 | 0,36 |
| | požární klapka | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | | | | | 2680 | 3,72 | | 2,88 |
| | potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,30 | | | | | 2680 | 3,72 | 0,345 | 0,45 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,30 | | | 0,5 | 0,28 | 2680 | 3,72 | | 0,34 |
| | potrubí | 0,280 | 0,500 | 0,14 | 7,18 | | | | | 2680 | 5,32 | 0,870 | 6,25 |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 62,5 | |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|--|--|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | Tvarovka | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 0,30 | | 0,28 | | | 1100 | 2,18 | | 1,33 |
| | kruhové potrubí - element ⁴ | průměr (počáteční) | délka | obsah | úhel (kolena) | průměr (koncový) | popis | | | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 7,620 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1100 | 4,96 | 1,060 | 8,08 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | segmentové | | | 1100 | 4,96 | | 4,03 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 45,00 | | segmentové | | | 1100 | 4,96 | | 4,03 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 45,00 | | segmentové | | | 1100 | 4,96 | | 4,03 |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,315 | souměrná | | | 1100 | 4,96 | | 0,55 |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,225 | souměrná | | | 1100 | 4,96 | | 0,61 |
| | potrubí - rovné | 0,315 | 0,200 | 0,08 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1100 | 3,92 | 0,589 | 0,12 |
| | požární klapka | 0,315 | | 0,08 | | | | | | 1100 | 3,92 | | 4,04 |
| | tvarovka - přechod | 0,315 | 0,100 | 0,08 | | 0,28 | souměrná | | | 1100 | 3,92 | | 0,18 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 12,650 | 0,04 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 740 | 5,17 | 1,560 | 19,73 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 740 | 5,17 | | 4,51 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 740 | 5,17 | | 4,51 |
| | tvarovka - přechod | 0,225 | 0,100 | 0,04 | | 0,2 | souměrná | | | 740 | 5,17 | | 0,31 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 1,100 | 0,03 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 510 | 4,51 | 1,400 | 1,54 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 10,710 | 0,03 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 330 | 2,92 | 0,625 | 6,69 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | segmentové | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | segmentové | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | regulační klapka | 0,200 | | 0,03 | | | těsná | | | 330 | 2,92 | | 1,00 |
| | vyústka do kruhového potrubí | 0,825 | 0,085 | 0,04 | | | jednořadá, regulace lamelami | | | 330 | 2,46 | | 16,00 |
| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |

⁴ kolena jsou zadávána s poloměrem rovným jejich průměru (d = r)

| | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
|---------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|---------------------|----------|---|--------------|
| | 0,200 | 0,000 | 510 | 0,200 | 0,000 | 330 | 0,150 | 0,000 | 180 | odbočka | | 2,39 |
| | 0,225 | 0,000 | 740 | 0,225 | 0,000 | 510 | 0,150 | 0,000 | 230 | odbočka | | 3,06 |
| | 0,280 | 0,000 | 1100 | 0,280 | 0,000 | 740 | 0,280 | 0,000 | 360 | rozbočka | | 14,00 |
| | 0,500 | 0,280 | 2680 | 0,500 | 0,280 | 1100 | 0,315 | 0,280 | 1580 | odbočka | | 4,75 |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 108,4 |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rychlost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta |
|--|---|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|----------|---------------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | Tvarovka | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,10 | | 0,315 | | | 1580 | 5,60 | | 0,23 |
| | kruhové potrubí - element | průměr (po- čáteční) | délka | obsah | úhel (ko- lena) | průměr (kon- cový) | popis | | | průtok | rychlost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,315 | 4,030 | 0,08 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1580 | 5,63 | 1,150 | 4,63 |
| | koleno | 0,315 | | 0,08 | 90,00 | | segmentové | | | 1580 | 5,63 | | 5,12 |
| | tvarovka - pře- chod | 0,315 | 0,100 | 0,08 | | 0,28 | souměrná | | | 1580 | 5,63 | | 0,37 |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 5,820 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1080 | 4,87 | 1,020 | 5,94 |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 5,500 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 830 | 3,74 | 0,657 | 3,61 |
| | tvarovka - pře- chod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,225 | souměrná | | | 830 | 3,74 | | 0,35 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 1,700 | 0,04 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 830 | 5,80 | 1,930 | 3,28 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 8,300 | 0,04 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 660 | 4,61 | 1,260 | 10,46 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 660 | 4,61 | | 3,59 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 660 | 4,61 | | 3,59 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 660 | 4,61 | | 3,59 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 660 | 4,61 | | 3,59 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 660 | 4,61 | | 3,59 |
| | tvarovka - pře- chod | 0,225 | 0,100 | 0,04 | | 0,2 | souměrná | | | 660 | 4,61 | | 0,25 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 6,170 | 0,03 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 330 | 2,92 | 0,625 | 3,86 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | segmentové | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | segmentové | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | regulační klapka | 0,200 | | 0,03 | | | těsná | | | 330 | 2,92 | | 1,00 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------|--------------|----------------|
| vyústka do kruhového potrubí | 0,825 | 0,085 | 0,04 | | | jednořadá, regulace lamelami | | | | 330 | 2,46 | | 16,00 |
| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,225 | 0,000 | 660 | 0,225 | 0,000 | 330 | 0,225 | 0,000 | 330 | rozbočka | | 9,51 |
| | | 0,225 | 0,000 | 830 | 0,225 | 0,000 | 660 | 0,150 | 0,000 | 170 | odbočka | | 2,99 |
| | | 0,280 | 0,000 | 1080 | 0,280 | 0,000 | 830 | 0,150 | 0,000 | 250 | odbočka | | 2,41 |
| | | 0,315 | 0,000 | 1250 | 0,315 | 0,000 | 1080 | 0,150 | 0,000 | 170 | odbočka | | 1,70 |
| | | 0,315 | 0,000 | 1580 | 0,315 | 0,000 | 1250 | 0,315 | 0,000 | 330 | rozbočka | | 18,60 |
| | 0,500 | 0,280 | 2680 | 0,500 | 0,280 | 1100 | 0,315 | 0,280 | 1580 | odbočka | | 15,30 | |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 126,5 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| přívod - společný | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | koleno tvarové potrubí | 0,600 | 0,600 | 0,36 | | 0,15 | | 0,44 | 0,6 | 2680 | 2,07 | | 0,95 |
| | koleno tvarové potrubí | 0,600 | 0,440 | 0,26 | 1,20 | | | | | 2680 | 2,82 | 0,148 | 0,18 |
| | koleno tvarové potrubí | 0,600 | 0,440 | 0,26 | | 0,15 | | 0,28 | 0,44 | 2680 | 2,82 | | 2,43 |
| | koleno potrubí | 0,280 | 0,440 | 0,12 | 1,20 | | | | | 2680 | 6,04 | 1,110 | 1,33 |
| | koleno tvarovka - nesouměrná potrubí | 0,280 | 0,440 | 0,12 | 0,30 | | | 0,4 | 0,5 | 2680 | 6,04 | | 4,03 |
| | tlumič hluku potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,70 | | | | | 2680 | 3,72 | 0,345 | 0,24 |
| | požární klapka | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2680 | 3,72 | | 47,13 |
| | požární klapka tvarovka - nesouměrná potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | | | | | 2680 | 3,72 | | 2,88 |
| | tvarovka - nesouměrná potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,28 | 0,5 | 2680 | 3,72 | | 0,42 |
| | koleno potrubí | 0,280 | 0,500 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2680 | 5,32 | | 3,55 |
| | koleno potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 7,53 | | | | | 2680 | 5,32 | 0,870 | 6,55 |
| | Celkem | | | | | | | | | | | | 74,3 |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|----------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| přívod 2NP-1NP | potrubí - rovné | 0,280 | 1,800 | 0,06 | | | | | | 1250 | 5,64 | 1,340 | 2,41 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | | | | 1250 | 5,64 | | 5,22 |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 4,220 | 0,06 | | | | | | 1080 | 4,87 | 1,020 | 4,30 |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 5,300 | 0,06 | | | | | | 830 | 3,74 | 0,657 | 3,48 |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,225 | souměrná | | | 830 | 3,74 | | 0,35 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 1,810 | 0,04 | | | | | | 830 | 5,80 | 1,930 | 3,49 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 6,800 | 0,04 | | | | | | 660 | 4,61 | 1,260 | 8,57 |
| | tvarovka - přechod | 0,225 | 0,100 | 0,04 | | 0,2 | souměrná | | | 660 | 4,61 | | 0,25 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 11,400 | 0,03 | | | | | | 330 | 2,92 | 0,625 | 7,13 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | koleno | 0,200 | | 0,03 | 90,00 | | | | | 330 | 2,92 | | 1,46 |
| | regulační klapka | 0,200 | | 0,03 | | | | | | 330 | 2,92 | | 1,00 |
| | textilní vyústka | 0,200 | 8,650 | 1,73 | | | | | | 330 | 0,05 | | 60,00 |
| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,280 | 0,000 | 1250 | 0,280 | 0,000 | 1080 | 0,160 | 0,000 | 170 | odbočka | | 3,38 |
| | | 0,280 | 0,000 | 1080 | 0,280 | 0,000 | 830 | 0,160 | 0,000 | 250 | odbočka | | 3,16 |
| | 0,225 | 0,000 | 830 | 0,225 | 0,000 | 660 | 0,160 | 0,000 | 170 | odbočka | | 3,73 | |
| | 0,225 | 0,000 | 660 | 0,200 | 0,000 | 330 | 0,200 | 0,000 | 330 | rozbočka | | 13,80 | |
| | 0,500 | 0,280 | 2350 | 0,500 | 0,280 | 1100 | 0,315 | 0,315 | 1250 | odbočka | | 10,10 | |
| | 0,500 | 0,280 | 2680 | 0,500 | 0,280 | 2350 | 0,200 | 0,000 | 330 | odbočka | | 3,41 | |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 136,7 | |

| | hrnaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rychlost | měr. tlak. ztr. | tlaková ztráta |
|--|---|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------|--------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | Tvarovka | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 0,30 | | 0,28 | | | 1100 | 2,18 | | 0,49 |
| | kruhové potrubí - element | průměr (po- čáteční) | délka | obsah | úhel (ko- lena) | průměr (koncový) | popis | | | průtok | rychlost | měr. tlak. ztr. | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 3,800 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1100 | 4,96 | 1,060 | 4,03 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | segmentové | | | 1100 | 4,96 | | 4,03 |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,315 | souměrná | | | 1100 | 4,96 | | 0,55 |
| | potrubí - rovné | 0,315 | 0,200 | 0,08 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1100 | 3,92 | 0,589 | 0,12 |
| | tvarovka - přechod | 0,315 | 0,100 | 0,08 | | 0,28 | souměrná | | | 1100 | 3,92 | | 0,18 |
| | požární klapka | 0,315 | | 0,08 | | | | | | 1100 | 3,92 | | 4,04 |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 2,600 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1100 | 4,96 | 1,060 | 2,76 |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | segmentové | | | 1100 | 4,96 | | 4,03 |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,225 | souměrná | | | 1100 | 4,96 | | 0,61 |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 3,520 | 0,04 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 740 | 5,17 | 1,560 | 5,49 |
| | tvarovka - přechod | 0,225 | 0,100 | 0,04 | | 0,2 | souměrná | | | 740 | 5,17 | | 0,31 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 7,200 | 0,03 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 510 | 4,51 | 1,400 | 10,08 |
| | potrubí - rovné | 0,200 | 6,900 | 0,03 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 330 | 2,92 | 0,625 | 4,31 |
| | regulační klapka | 0,200 | | 0,03 | | | těsná | | | 330 | 2,92 | | 1,00 |
| | textilní vyústka | 0,200 | 4,900 | 0,98 | | | | | | 330 | 0,09 | | 60,00 |
| | odbočky/roz- bočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | prům./šířka (výstup 1) | výška (vý- stup 1) | průtok (výstup 1) | prům./šířka (výstup 2) | výška (vý- stup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,500 | 0,280 | 2680 | 0,500 | 0,280 | 2350 | 0,200 | 0,000 | 330 | odbočka | | 3,41 |
| | | 0,500 | 0,280 | 2350 | 0,500 | 0,280 | 1100 | 0,315 | 0,315 | 1250 | odbočka | | 6,10 |
| | | 0,280 | 0,000 | 1100 | 0,225 | 0,000 | 740 | 0,200 | 0,000 | 360 | rozbočka | | 19,20 |
| | | 0,225 | 0,000 | 740 | 0,200 | 0,000 | 510 | 0,160 | 0,000 | 230 | odbočka | | 3,61 |
| | | 0,200 | 0,000 | 510 | 0,200 | 0,000 | 330 | 0,160 | 0,000 | 180 | odbočka | | 3,18 |
| | | 0,200 | 0,000 | 330 | 0,200 | 0,000 | 165 | 0,200 | 0,000 | 165 | rozbočka | | 5,10 |
| | | | | | | | | | | | | Celkem | 142,6 |

Zařízení číslo 2

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (vý- stupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rych- lost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta |
|------|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| sání | protidešťová žaluzie | 0,600 | 0,630 | 0,20 | | | | | | 2500 | 3,48 | | 23,00 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,600 | 0,630 | 0,38 | 0,20 | | | 0,400 | 0,400 | 2500 | 1,84 | | 0,78 |
| | potrubí | 0,400 | 0,400 | 0,16 | 0,70 | | | | | 2500 | 4,34 | 0,522 | 0,37 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 2500 | 3,47 | | 26,91 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,00 | | | | | 2500 | 3,47 | | 26,91 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,250 | 0,500 | 2500 | 3,47 | | 0,55 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,20 | | | 0,400 | 0,355 | 2500 | 3,47 | | 0,37 |
| | potrubí | 0,600 | 0,440 | 0,26 | 0,45 | | | | | 2500 | 2,63 | 0,138 | 0,06 |
| | Celkem | | | | | | | | | | | | 78,9 |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (vý- stupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rych- lost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta |
|-------|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| výfuk | tvarovka - nesouměrná | 0,600 | 0,440 | 0,26 | 0,30 | | | 0,500 | 0,400 | 2500 | 2,63 | | 0,16 |
| | potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 1,00 | | | | | 2500 | 3,47 | 0,304 | 0,30 |
| | koleno | 0,500 | 0,400 | 0,20 | | 0,15 | | | | 2500 | 3,47 | | 2,31 |
| | koleno | 0,500 | 0,400 | 0,20 | | 0,15 | | | | 2500 | 3,47 | | 2,31 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2500 | 3,47 | | 41,02 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,40 | | | 0,600 | 0,630 | 2500 | 3,47 | | 2,22 |
| | koleno | 0,630 | 0,600 | 0,38 | | 0,15 | | | | 2500 | 1,84 | | 0,70 |
| | potrubí | 0,630 | 0,600 | 0,38 | 0,50 | | | | | 2500 | 1,84 | 0,064 | 0,03 |
| | protidešťová žaluzie | 0,600 | 0,630 | 0,38 | - | | | | | 2500 | 1,84 | | 15,00 |

Celkem 64,1

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| odvod | tvarovka - nesouměrná | 0,600 | 0,440 | 0,26 | 0,50 | | | 0,280 | 0,280 | 1250 | 1,32 | | 0,79 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 2,50 | | | | | 1250 | 4,43 | 0,897 | 2,24 |
| | tvarovka - souměrná | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,50 | | | 0,200 | 0,500 | 1250 | 4,43 | | 1,07 |
| | potrubí | 0,200 | 0,500 | 0,10 | 1,70 | | | | | 1250 | 3,47 | 0,556 | 0,95 |
| | tlumič hluku | 0,200 | 0,500 | 0,10 | 2,00 | | | | | 1250 | 3,47 | | 41,02 |
| | tvarovka - souměrná | 0,200 | 0,500 | 0,10 | 0,30 | | | 0,280 | 0,280 | 1250 | 3,47 | | 0,25 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 2,90 | | | | | 1180 | 4,18 | 0,806 | 2,34 |
| | kruhové potrubí - element | průměr (počáteční) | délka | obsah | úhel (kolena) | průměr (koncový) | popis | | | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,225 | 5,000 | 0,04 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 590 | 4,12 | 1,020 | 5,10 |
| | koleno | 0,225 | | 0,04 | 90,00 | | segmentové | | | 590 | 4,12 | | 2,87 |
| | tvarovka - přechod | 0,225 | 0,100 | 0,04 | | 0,32 | souměrná | | | 590 | 4,12 | | 2,23 |
| | potrubí - rovné | 0,315 | 0,500 | 0,08 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 590 | 2,10 | 1,020 | 0,51 |
| | regulační klapka | 0,225 | | 0,04 | | | těsná | | | 590 | 4,12 | | 1,00 |
| vyústka do kruhového potrubí | 0,825 | 0,125 | 0,06 | | | jednořadá, regulace lamelami | | | 590 | 2,64 | | 14,00 | |
| odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta | |
| | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] | |
| | 0,200 | 0,500 | 1250 | 0,200 | 0,500 | 1180 | 0,100 | 0,000 | 70 | odbočka | | 1,16 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|--------------|---------------|-------------|
| | 0,280 | 0,280 | 1180 | 0,280 | 0,280 | 590 | 0,225 | 0,000 | 590 | od- bočka | | 12,10 |
| | | | | | | | | | | | Celkem | 87,6 |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (vý- stupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rych- lost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta | |
|------------------|--|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|-------------------|------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] | |
| přívod | tvarovka - sou- měrná | 0,440 | 0,530 | 0,23 | 0,40 | | | 0,200 | 0,500 | 1250 | 1,49 | | 0,28 | |
| | potrubí | 0,440 | 0,530 | 0,23 | 1,20 | | | | | 1250 | 1,49 | 0,059 | 0,07 | |
| | potrubí | 0,200 | 0,500 | 0,10 | 0,40 | | | | | 1250 | 3,47 | 0,556 | 0,22 | |
| | koleno | 0,500 | 0,200 | 0,10 | | 0,15 | | | | 1250 | 3,47 | | 2,43 | |
| | koleno | 0,200 | 0,500 | 0,10 | | 0,15 | | | | 1250 | 3,47 | | 1,07 | |
| | tlumič hluku | 0,500 | 0,200 | 0,10 | 1,00 | | | | | 1250 | 3,47 | | 26,91 | |
| | tlumič hluku | 0,500 | 0,200 | 0,10 | 1,00 | | | | | 1250 | 3,47 | | 26,91 | |
| | tvarovka - sou- měrná | 0,200 | 0,500 | 0,10 | 0,30 | | | 0,28 | | | 1250 | 3,47 | | 0,43 |
| | kruhové potrubí - element | průměr (po- čáteční) | délka | obsah | úhel (kolena) | průměr (kon- cový) | popis | | | průtok | rych- lost | měrná tla- ková ztráta | tlaková ztráta | |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] | |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 0,600 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1250 | 5,64 | 1,340 | 0,80 | |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 45,00 | | segmentové | | | 1250 | 5,64 | | 5,22 | |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 45,00 | | segmentové | | | 1250 | 5,64 | | 5,22 | |
| | potrubí - rovné | 0,280 | 8,900 | 0,06 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 1080 | 4,87 | 1,020 | 9,08 | |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 45,00 | | segmentové | | | 1080 | 4,87 | | 3,89 | |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | segmentové | | | 1080 | 4,87 | | 3,89 | |
| | koleno | 0,280 | | 0,06 | 90,00 | | segmentové | | | 1080 | 4,87 | | 3,89 | |
| | tvarovka - přechod | 0,280 | 0,100 | 0,06 | | 0,25 | souměrná | | | 1080 | 4,87 | | 0,27 | |
| | potrubí - rovné | 0,250 | 3,300 | 0,05 | 2,00 | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 590 | 3,34 | 0,610 | 2,01 | |
| | koleno | 0,250 | | 0,05 | 90,00 | | segmentové | | | 590 | 3,34 | | 1,86 | |
| koleno | 0,250 | | 0,05 | 90,00 | | segmentové | | | 590 | 3,34 | | 1,86 | | |
| regulační klapka | 0,250 | | 0,05 | | | těsná | | | 590 | 3,34 | | 1,40 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|--------------|------|-------------------|-------|
| textilní vyústka | 0,250 | 10,700 | 2,68 | | | | | | | 590 | 0,06 | | 60,00 |
| odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (vý- stup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta | |
| | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] | |
| kalhotový kus (45 st.) | 0,280 | 0,000 | 1180 | 0,280 | 0,000 | 590 | 0,250 | 0,000 | 590 | od- bočka | | 5,71 | |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 163,4 | |

Zařízení číslo 5

| sání | hrnaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | protidešťová žaluzie | 0,450 | 0,500 | 0,20 | | | | | | 2800 | 3,92 | | 30,00 |
| | potrubí | 0,280 | 0,560 | 0,16 | 2,06 | | | | | 2800 | 4,96 | 0,728 | 1,50 |
| | potrubí | 0,280 | 0,500 | 0,14 | 3,80 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 3,59 |
| | potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,90 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,34 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,50 | | | | | 2800 | 3,89 | | 42,56 |
| | potrubí | 0,400 | 0,856 | 0,34 | 1,32 | | | | | 2800 | 2,27 | 0,109 | 0,14 |
| Celkem | | | | | | | | | | | | 78,1 | |

| přívod-společný | hrnaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | koleno tvarové | 0,550 | 0,856 | 0,47 | | 0,15 | | 0,550 | 0,500 | 2800 | 1,65 | | 0,64 |
| | tvarovka - souměrná | 0,550 | 0,500 | 0,28 | 0,30 | | | 0,400 | 0,500 | 2800 | 2,83 | | 0,18 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|-------|------|------|------|--|-------|-------|------|------|-------|-------------|
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2800 | 3,89 | | 51,45 |
| | potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,11 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,280 | 0,500 | 2800 | 3,89 | | 0,46 |
| | koleno | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2800 | 5,56 | | 6,10 |
| | koleno | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2800 | 5,56 | | 6,10 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 3,55 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 3,35 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,280 | 0,500 | 0,14 | 0,30 | | | 0,400 | 0,500 | 2800 | 5,56 | | 2,08 |
| | požární klapka | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | | | | | 2800 | 3,89 | | 3,14 |
| | potrubí | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,60 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,22 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,280 | 0,500 | 2800 | 3,89 | | 0,46 |
| | koleno | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2800 | 5,56 | | 6,10 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 2,80 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 2,64 |
| | koleno | 0,280 | 0,500 | 0,14 | | 0,15 | | | 2x45 | 2800 | 5,56 | | 2,20 |
| | Celkem | | | | | | | | | | | | 85,2 |

| přívod - klidová zóna | kruhové potrubí - element | průměr (počáteční) | délka | obsah | úhel (kolena) | průměr (koncový) | popis | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|--------|-------------------|---------------|------------------|------------------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,150 | 10,500 | 0,02 | | | falcovaný pozinkovaný plech | 250 | 3,93 | 1,580 | 16,59 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 90,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 90,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 45,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 45,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 15,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 15,00 | | segmentové | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | potrubí - rovné | 0,150 | 3,400 | 0,02 | | | falcovaný pozinkovaný plech | 125 | 1,96 | 0,481 | 1,64 |
| | vyústka do kruhového potrubí | 0,425 | 0,085 | 0,02 | | | jednořadá, regulace lamelami | 125 | 2,30 | | 12,00 |

| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
|--|--|-------------------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|---------|---------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,500 | 0,280 | 2800 | 0,280 | 0,500 | 2550 | 0,150 | 0,000 | 250 | odbočka | | 19,00 |
| | | 0,150 | 0,000 | 250 | 0,150 | 0,000 | 125 | 0,425 | 0,085 | 125 | odbočka | | 3,73 |
| | | | | | | | | | | | | Celkem | 69,6 |

| | hranaté potrubí pozin- kované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (vý- stupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|----------------------------|--|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------|----------|----------------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| přívod - edukační místnost | koleno | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2550 | 5,06 | | 5,05 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 4,00 | | | | | 2550 | 5,06 | 0,795 | 3,18 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 4,70 | | | | | 1400 | 4,96 | 1,060 | 4,98 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 3,46 | | | | | 1150 | 4,07 | 0,767 | 2,65 |
| | koleno | 0,280 | 0,280 | 0,08 | | 0,15 | | | | 1150 | 4,07 | | 2,21 |
| | tvarovka - souměrná | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,30 | | | 0,250 | 0,250 | 770 | 2,73 | | 0,12 |
| | potrubí | 0,250 | 0,250 | 0,06 | 1,81 | | | | | 770 | 3,42 | 0,638 | 1,15 |
| | tvarovka - souměrná | 0,250 | 0,250 | 0,06 | 0,30 | | | 0,200 | 0,200 | 385 | 1,71 | | 0,10 |
| | potrubí | 0,200 | 0,200 | 0,04 | 1,75 | | | | | 385 | 2,67 | 0,531 | 0,93 |
| | obdélníková vyústka, dvouřadá, regulace la- melami | 0,400 | 0,200 | 0,04 | | | | | | 385 | 2,39 | | 4,00 |
| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|----------|---------------|-------------|
| | 0,500 | 0,280 | 2550 | 0,280 | 0,280 | 1400 | 0,280 | 0,280 | 1150 | rozbočka | | 16,00 |
| | 0,280 | 0,280 | 1400 | 0,280 | 0,280 | 1150 | 0,400 | 0,125 | 250 | odbočka | | 2,65 |
| | 0,280 | 0,280 | 1150 | 0,280 | 0,280 | 770 | 0,400 | 0,200 | 380 | odbočka | | 2,39 |
| | 0,250 | 0,250 | 770 | 0,250 | 0,250 | 385 | 0,400 | 0,200 | 385 | odbočka | | 2,84 |
| | | | | | | | | | | | Celkem | 48,3 |

| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| přívod - přednášková místnost | koleno | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2550 | 5,06 | | 5,05 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 4,00 | | | | | 2550 | 5,06 | 0,795 | 3,18 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 5,10 | | | | | 1150 | 4,07 | 0,767 | 3,91 |
| | koleno | 0,280 | 0,280 | 0,08 | | 0,15 | | | | 1150 | 4,07 | | 2,21 |
| | koleno | 0,280 | 0,280 | 0,08 | | 0,15 | | | | 1150 | 4,07 | | 2,21 |
| | koleno | 0,280 | 0,280 | 0,08 | | 0,15 | | | | 1150 | 4,07 | | 2,21 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,30 | | | 0,250 | 0,250 | 920 | 3,26 | | 0,21 |
| | potrubí | 0,250 | 0,250 | 0,06 | 2,41 | | | | | 920 | 4,09 | 0,886 | 2,14 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,250 | 0,250 | 0,06 | 0,30 | | | 0,250 | 0,200 | 690 | 3,07 | | 0,18 |
| | potrubí | 0,250 | 0,200 | 0,05 | 2,91 | | | | | 690 | 3,83 | 0,908 | 2,64 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,250 | 0,200 | 0,05 | 0,30 | | | 0,200 | 0,200 | 460 | 2,56 | | 0,13 |
| | potrubí | 0,200 | 0,200 | 0,04 | 2,91 | | | | | 460 | 3,19 | 0,738 | 2,15 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,200 | 0,200 | 0,04 | 0,30 | | | 0,150 | 0,200 | 230 | 1,60 | | 0,06 |
| | potrubí | 0,150 | 0,200 | 0,03 | 2,41 | | | | | 230 | 2,13 | 0,430 | 1,04 |
| | | obdélníková vyústka, dvouřadá, regulace lamelami | 0,325 | 0,140 | 0,03 | | | | | | 230 | 2,55 | |

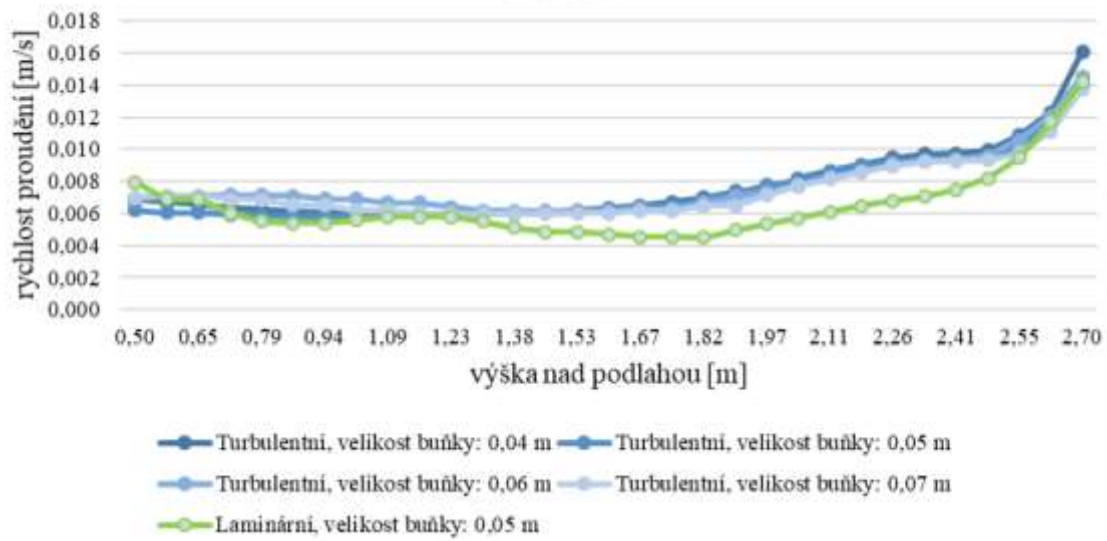
| | odbočky/rozbočky - hnanaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
|--|--|-------------------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------|---------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,500 | 0,280 | 2550 | 0,280 | 0,280 | 1400 | 0,280 | 0,280 | 1150 | rozbočka | | 14,90 |
| | | 0,280 | 0,280 | 1150 | 0,280 | 0,280 | 920 | 0,325 | 0,140 | 230 | odbočka | | 1,85 |
| | | 0,250 | 0,250 | 920 | 0,250 | 0,250 | 690 | 0,325 | 0,140 | 230 | odbočka | | 2,01 |
| | | 0,200 | 0,250 | 690 | 0,200 | 0,250 | 460 | 0,325 | 0,140 | 230 | odbočka | | 2,15 |
| | | 0,200 | 0,200 | 460 | 0,200 | 0,200 | 230 | 0,325 | 0,140 | 230 | odbočka | | 2,48 |
| | | | | | | | | | | | | Celkem | 54,7 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| odvod - společný | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (výstupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 7,56 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 7,14 |
| | potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,75 |
| | požární klapka | 0,400 | 0,500 | 0,20 | | | | | | 2800 | 3,89 | | 3,14 |
| | potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 2,13 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,80 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 1,50 | | | | | 2800 | 3,89 | | 42,56 |
| | tvarovka - souměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,550 | 0,856 | 2800 | 3,89 | | 3,83 |
| | potrubí | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,40 | | | | | 1020 | 3,61 | 0,615 | 0,25 |
| | tvarovka - souměrná | 0,280 | 0,280 | 0,08 | 0,30 | | | 0,315 | 0,280 | 1020 | 3,61 | | 0,12 |
| | potrubí | 0,315 | 0,280 | 0,09 | 7,77 | | | | | 1400 | 4,41 | 0,790 | 6,14 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,315 | 0,280 | 0,09 | 0,30 | | | 0,355 | 0,280 | 1400 | 4,41 | | 0,24 |
| | potrubí | 0,355 | 0,280 | 0,10 | 1,60 | | | | | 1650 | 4,61 | 0,799 | 1,28 |
| | kruhové potrubí - element | průměr (počáteční) | délka | obsah | úhel (kolena) | průměr (koncový) | popis | | | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [°] | [m] | - | | | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| | potrubí - rovné | 0,150 | 4,000 | 0,02 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 250 | 3,93 | 1,580 | 6,32 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 90,00 | | segmentové | | | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | koleno | 0,150 | | 0,02 | 90,00 | | segmentové | | | 250 | 3,93 | | 2,77 |
| | potrubí - rovné | 0,150 | 3,600 | 0,02 | | | falcovaný pozinkovaný plech | | | 125 | 1,96 | 0,481 | 1,73 |
| | vyústka do kruhového potrubí | 0,425 | 0,085 | 0,02 | | | jednořadá, regulace lamelami | | | 125 | 1,85 | | 11,00 |
| | odbočky/rozbočky - hranaté, kruhové | průměr/šířka (vstup) | výška (vstup) | průtok (vstup) | průměr/šířka (výstup 1) | výška (výstup 1) | průtok (výstup 1) | průměr/šířka (výstup 2) | výška (výstup 2) | průtok (výstup 2) | typ | - | tlaková ztráta |
| | | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m] | [m] | [m ³ /h] | - | - | [Pa] |
| | | 0,280 | 0,280 | 1020 | 0,280 | 0,280 | 770 | 0,150 | 0,000 | 250 | odbočka | | 1,70 |
| | | 0,315 | 0,280 | 1400 | 0,315 | 0,280 | 1020 | 0,400 | 0,200 | 380 | odbočka | | 1,80 |
| | | 0,150 | 0,000 | 250 | 0,150 | 0,000 | 125 | 0,425 | 0,085 | 125 | odbočka | | 1,65 |
| | | 0,355 | 0,280 | 1650 | 0,355 | 0,280 | 1400 | 0,400 | 0,125 | 250 | odbočka | | 2,07 |
| | | 0,500 | 0,280 | 2800 | 0,355 | 0,280 | 1650 | 0,280 | 0,280 | 1150 | rozbočka | | 21,50 |
| | Celkem | | | | | | | | | | | | 119,5 |

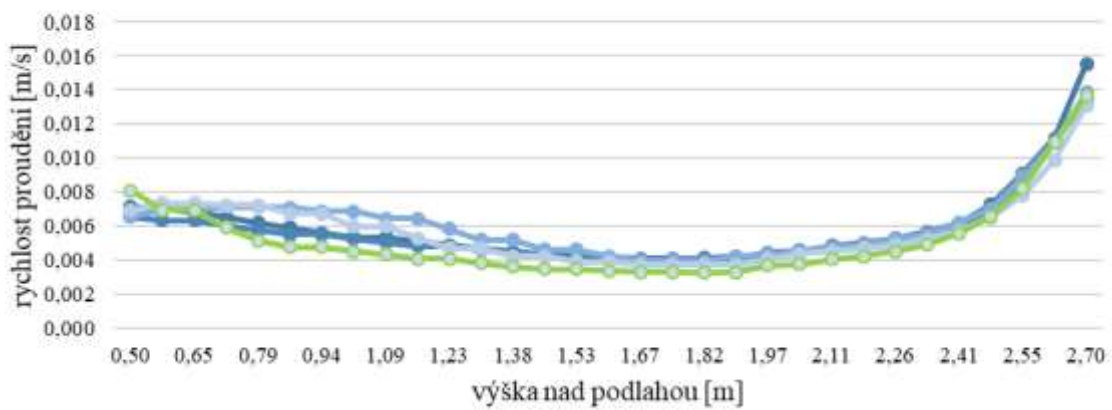
| | hranaté potrubí pozinkované - element | šířka (vstupní) | výška (vstupní) | obsah (vstupní) | délka | poloměr zaoblení | průměr (výstupní) | šířka (vý- stupní) | výška (výstupní) | průtok | rychlost | měrná tlaková ztráta | tlaková ztráta |
|-------|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------|----------------------------|-------------------|
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ³ /h] | [m/s] | [Pa/m] | [Pa] |
| výfuk | tvar. – nesouměr. | 0,550 | 0,856 | 0,47 | 0,30 | | | 0,400 | 0,500 | 2800 | 1,65 | | 0,58 |
| | koleno tvarové | 0,500 | 0,400 | 0,20 | | 0,15 | | 0,500 | 0,280 | 2800 | 3,89 | | 3,26 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 1,84 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 1,74 |
| | koleno tvarové | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | 0,500 | 0,400 | 2800 | 5,56 | | 7,30 |
| | potrubí | 0,500 | 0,400 | 0,20 | 0,50 | | | | | 2800 | 3,89 | 0,374 | 0,19 |
| | tlumič hluku | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 2,00 | | | | | 2800 | 3,89 | | 51,45 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,400 | 0,500 | 0,20 | 0,30 | | | 0,280 | 0,500 | 2800 | 3,89 | | 0,46 |
| | koleno | 0,280 | 0,500 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2800 | 5,56 | | 3,88 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 16,63 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 15,70 |
| | tvarovka - nesouměrná | 0,280 | 0,500 | 0,14 | 0,50 | | | 0,500 | 0,280 | 2800 | 5,56 | | 0,39 |
| | koleno | 0,280 | 0,500 | 0,14 | | 0,15 | | | | 2800 | 5,56 | | 3,88 |
| | koleno | 0,280 | 0,500 | 0,14 | | 0,15 | | | 2x45 | 2800 | 5,56 | | 3,88 |
| | potrubí | 0,500 | 0,280 | 0,14 | 1,26 | | | | | 2800 | 5,56 | 0,944 | 1,19 |
| | koleno | 0,500 | 0,400 | 0,20 | | 0,15 | | | | 2800 | 3,89 | | 2,90 |
| | koleno tvarové | 0,500 | 0,280 | 0,14 | | 0,15 | | 0,500 | 0,400 | 2800 | 5,56 | | 7,30 |
| | Celkem | | | | | | | | | | | | 104,1 |

P6 Test nezávislosti sítě

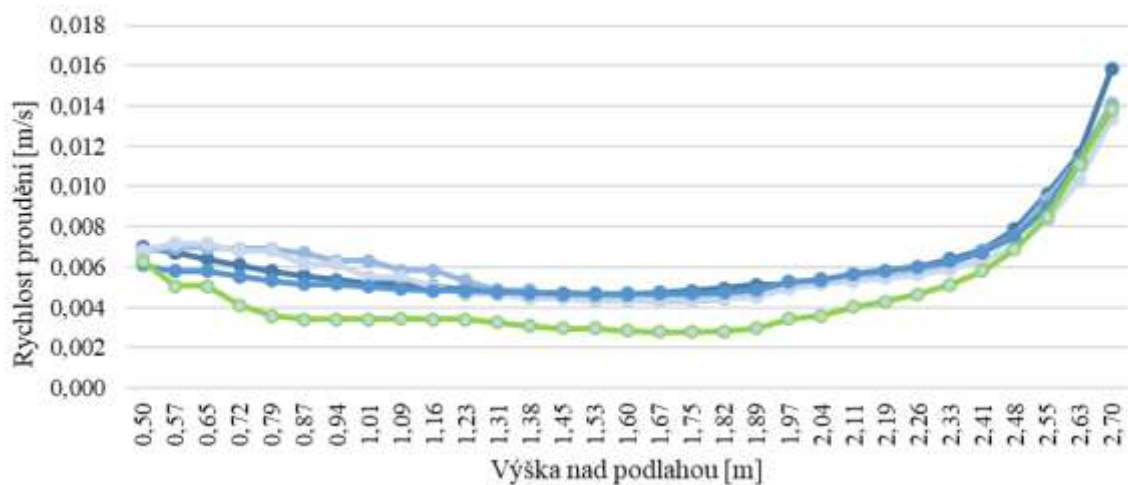
Přívod 1

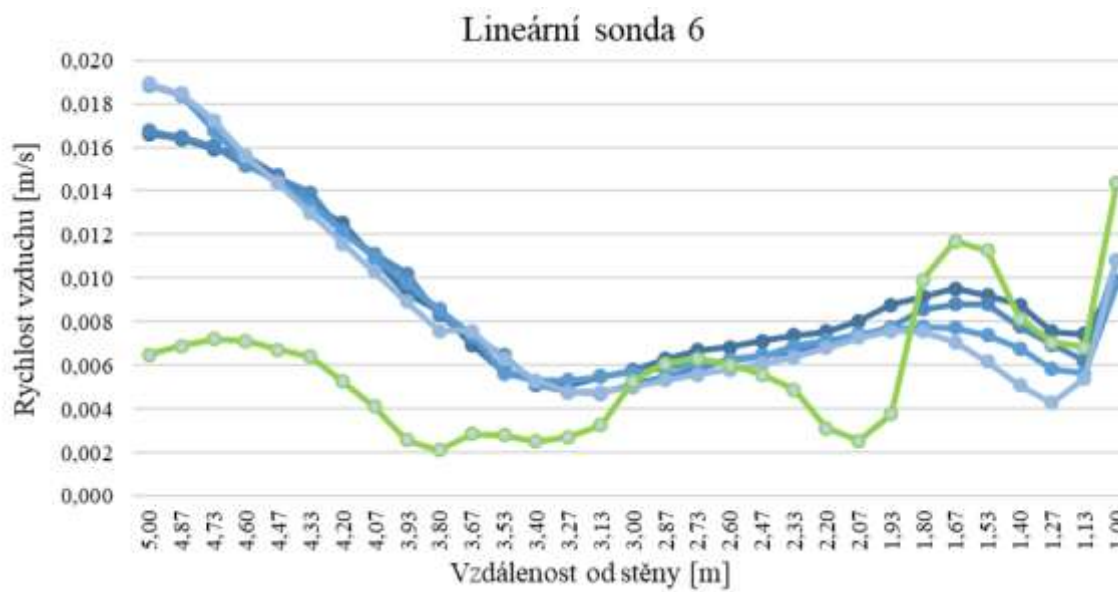
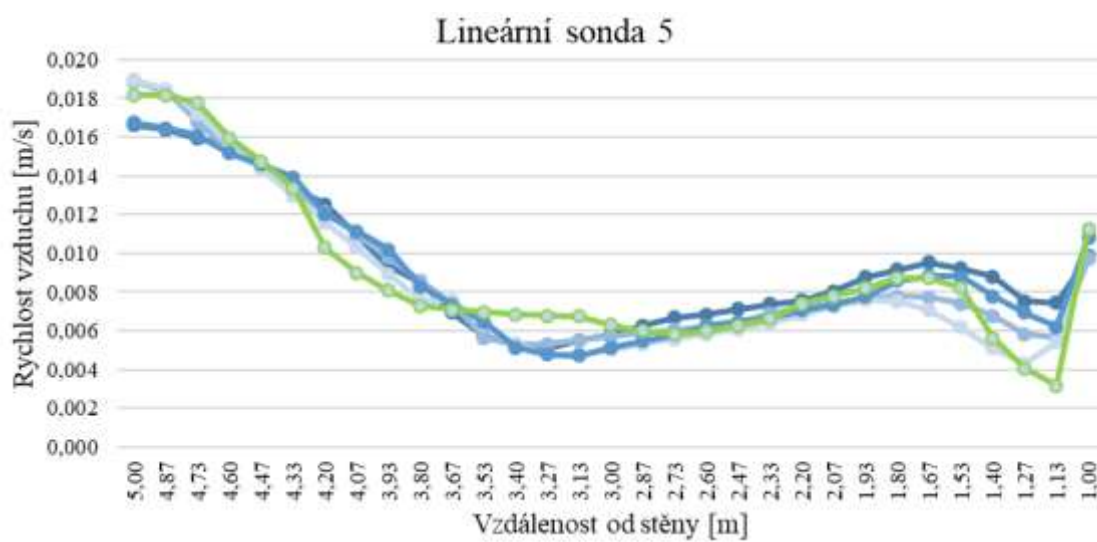
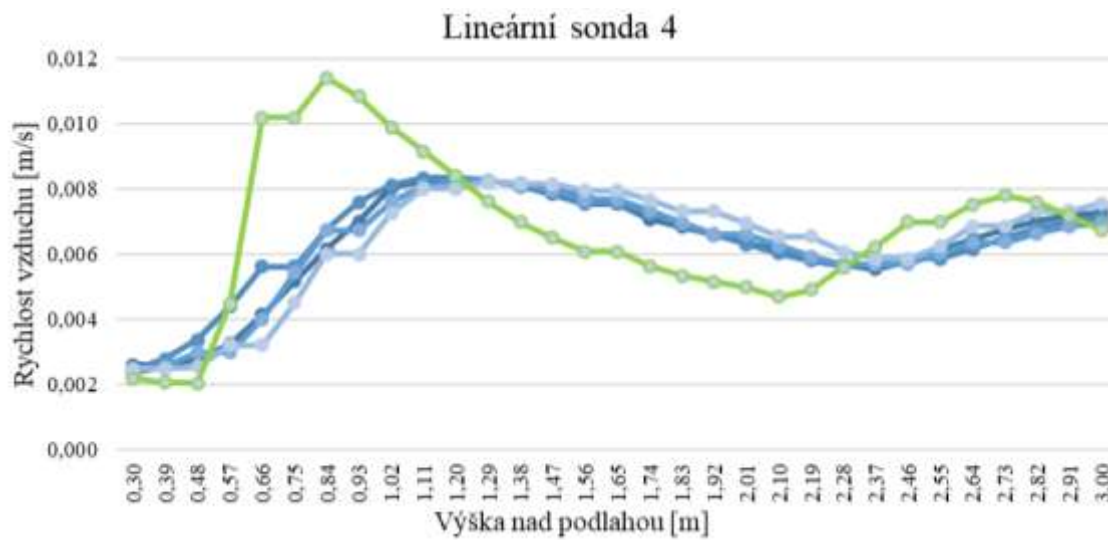


Přívod 2



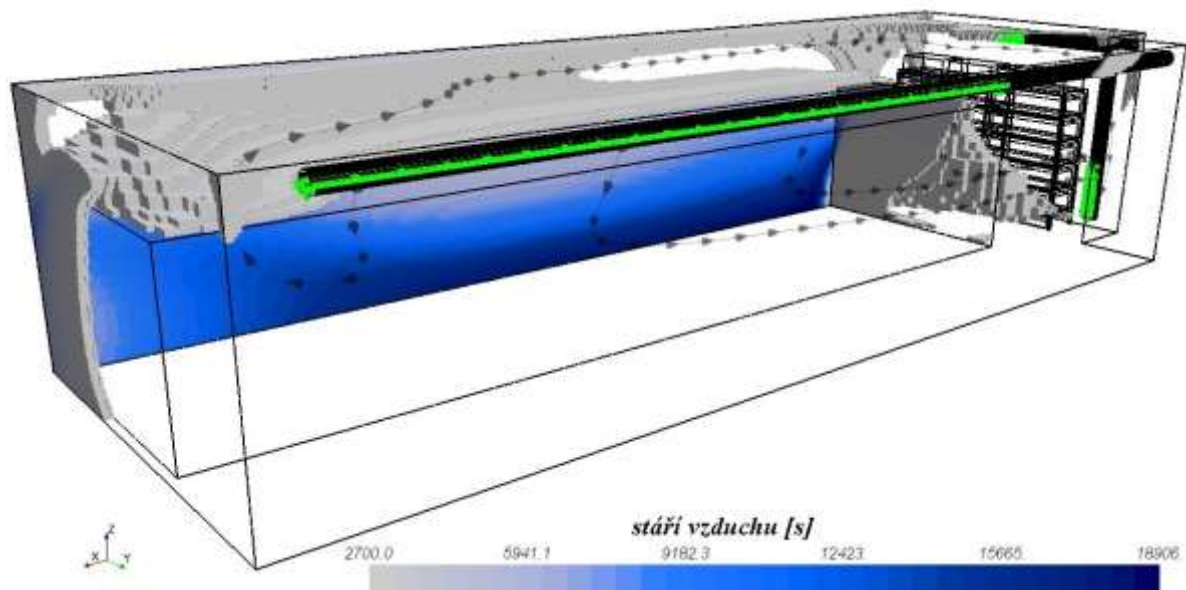
Přívod 3



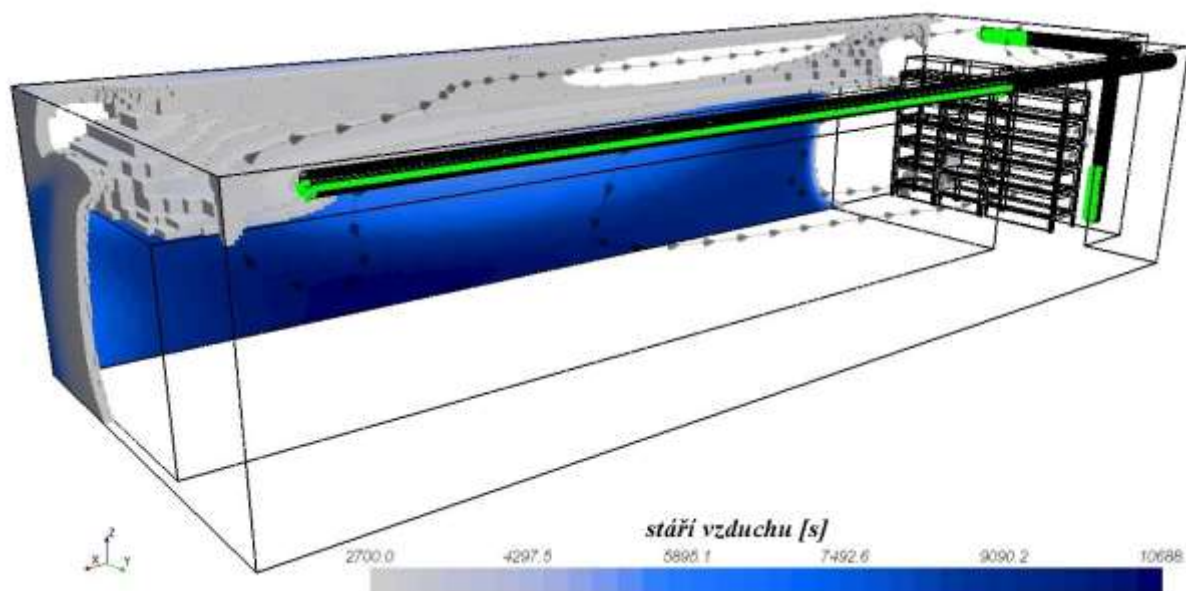


P7 Stáří vzduchu – výsledky

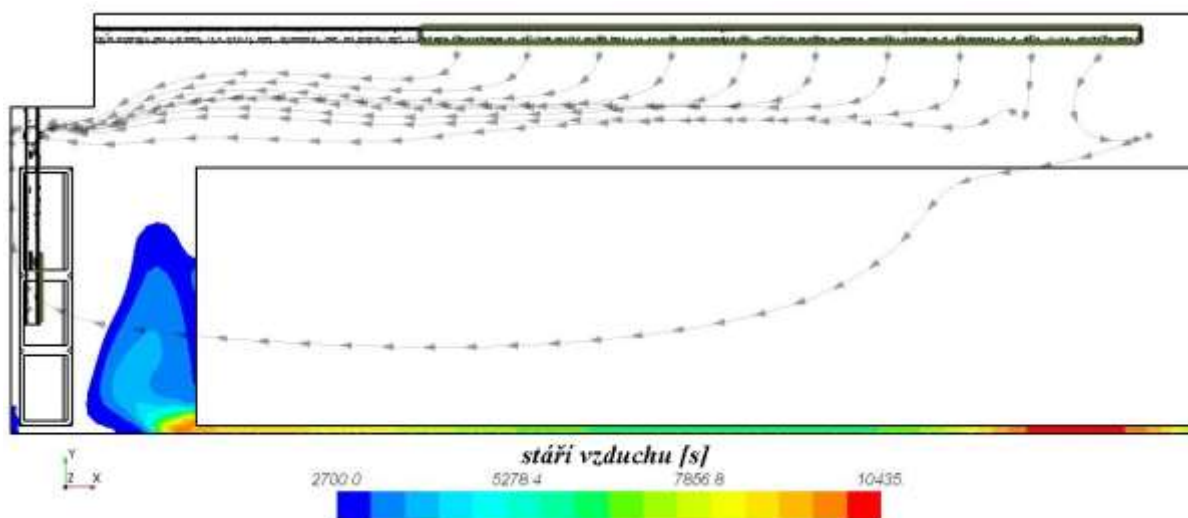
m.č. 115 (209) – Odvod u podlahy



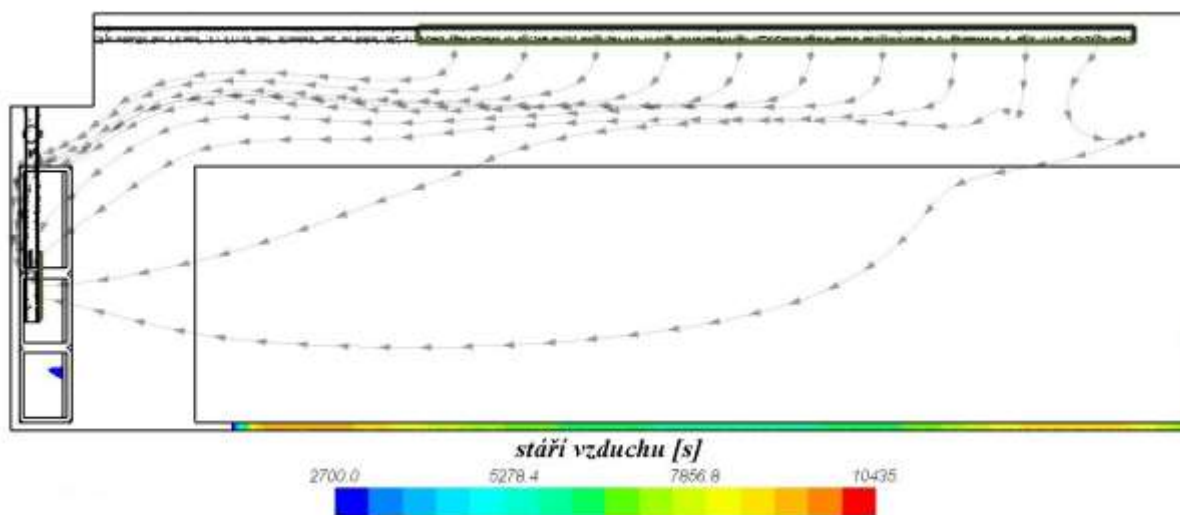
m.č. 115 (209) – Odvod u stropu



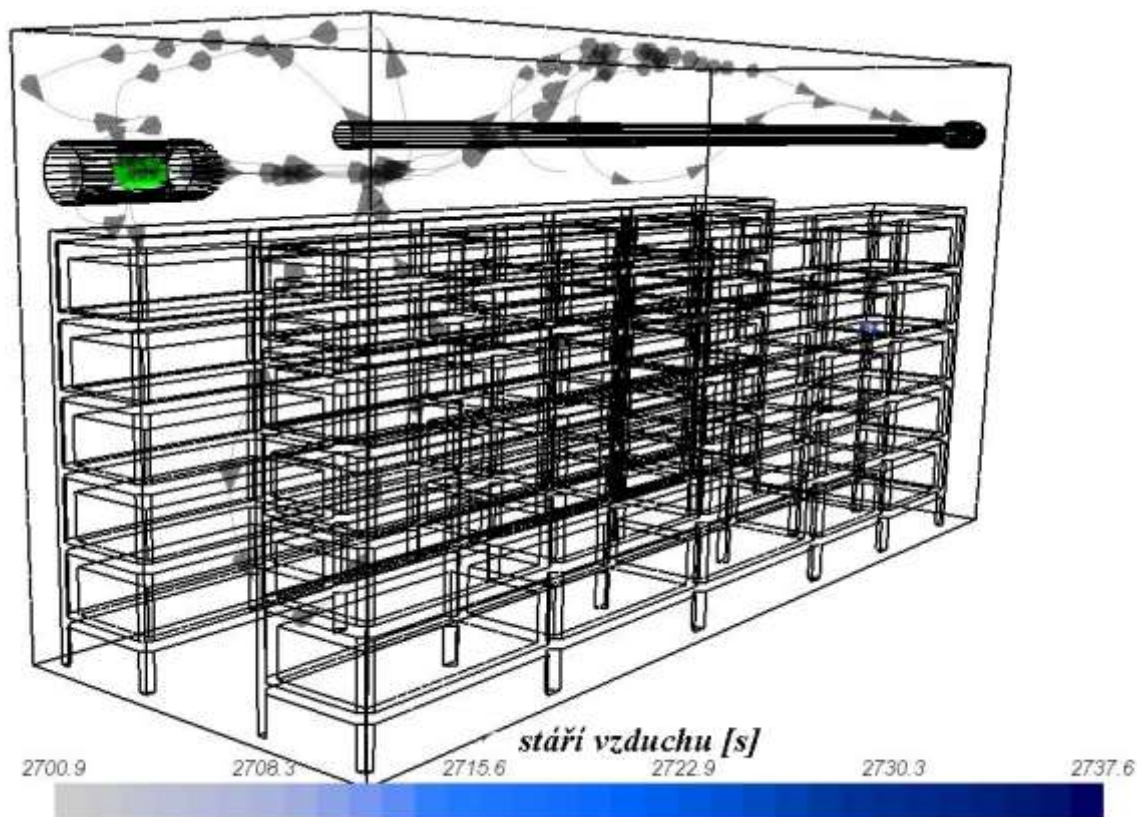
m.č. 115 (209) – Odvod u podlahy



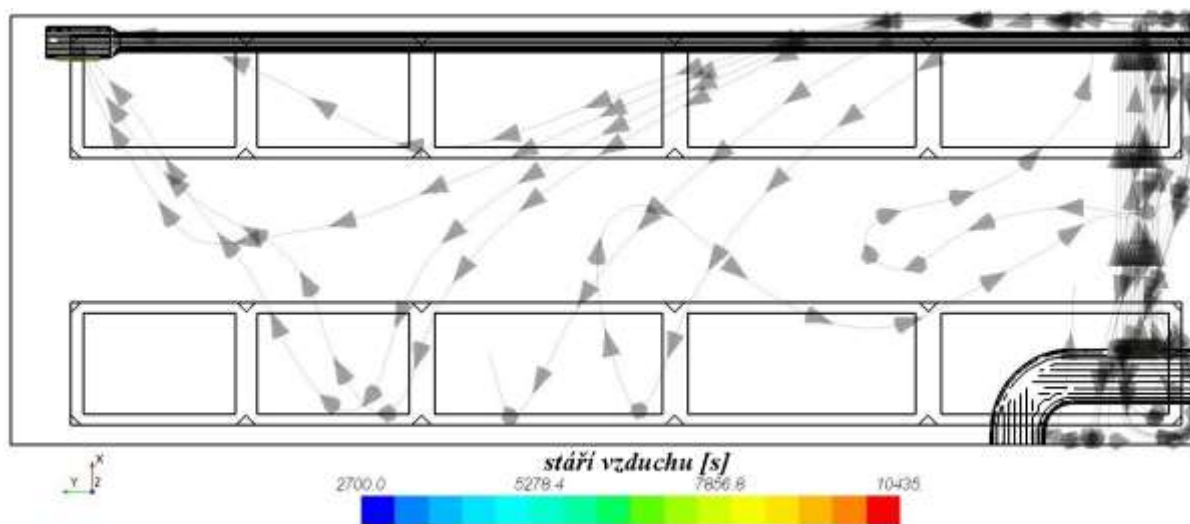
m.č. 115 (209) – Odvod u stropu



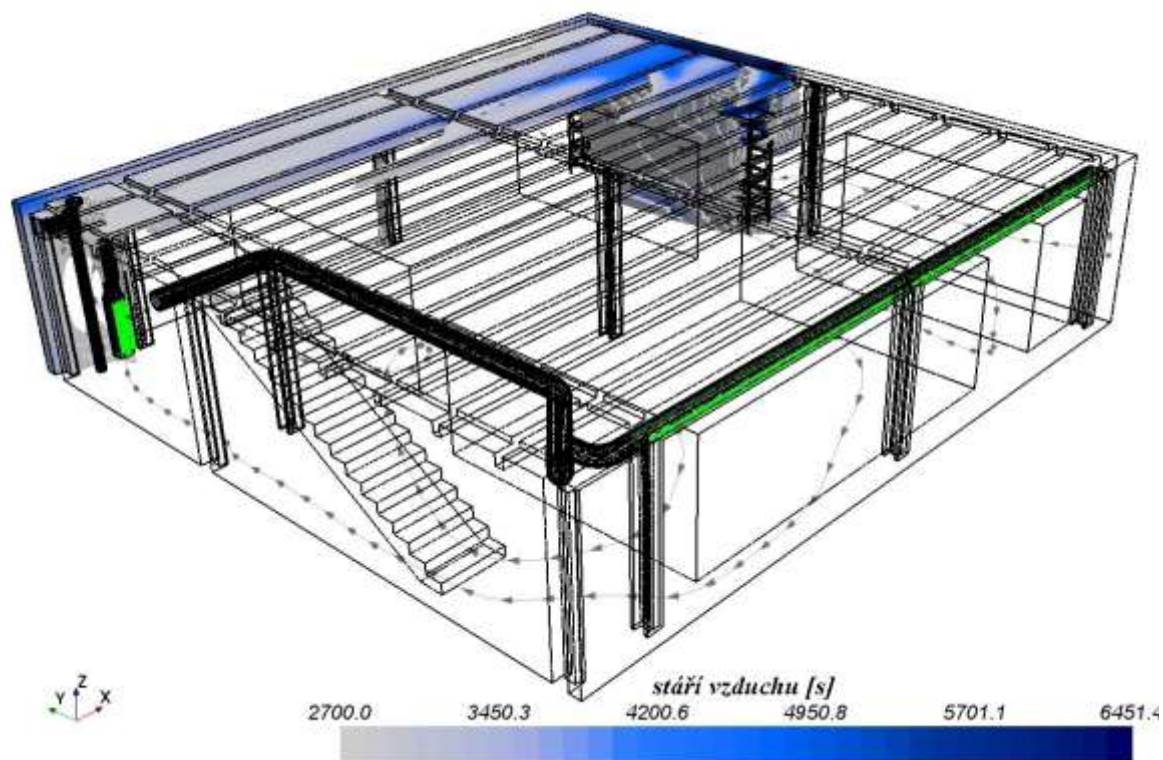
m. č. 124



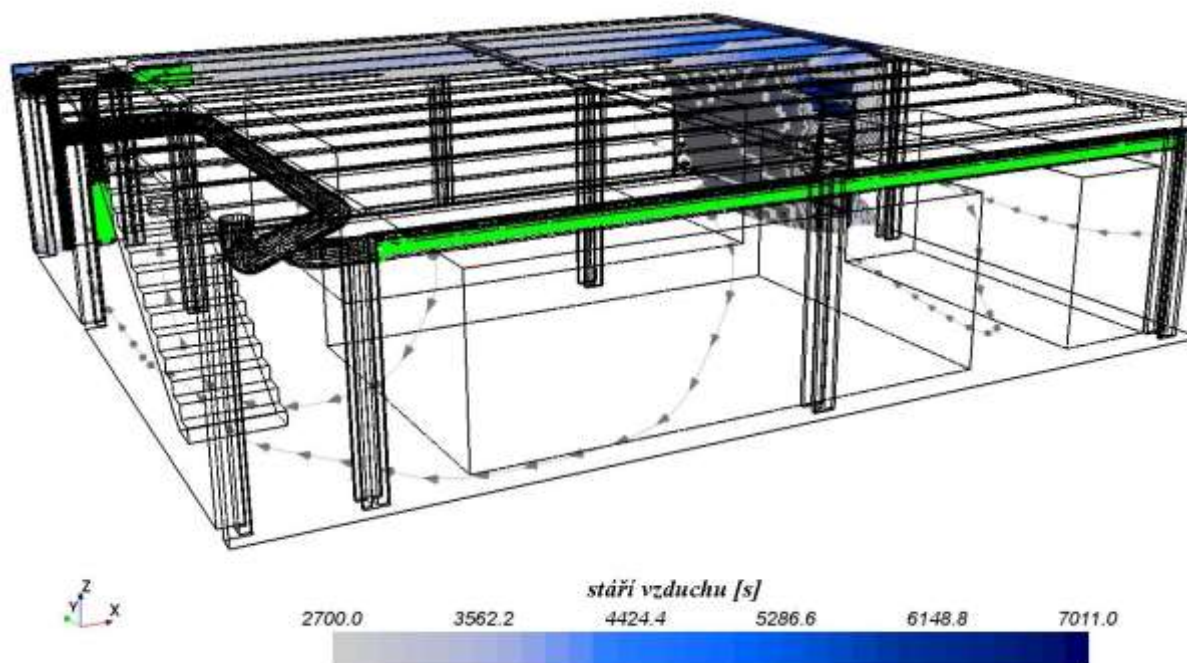
m. č. 124



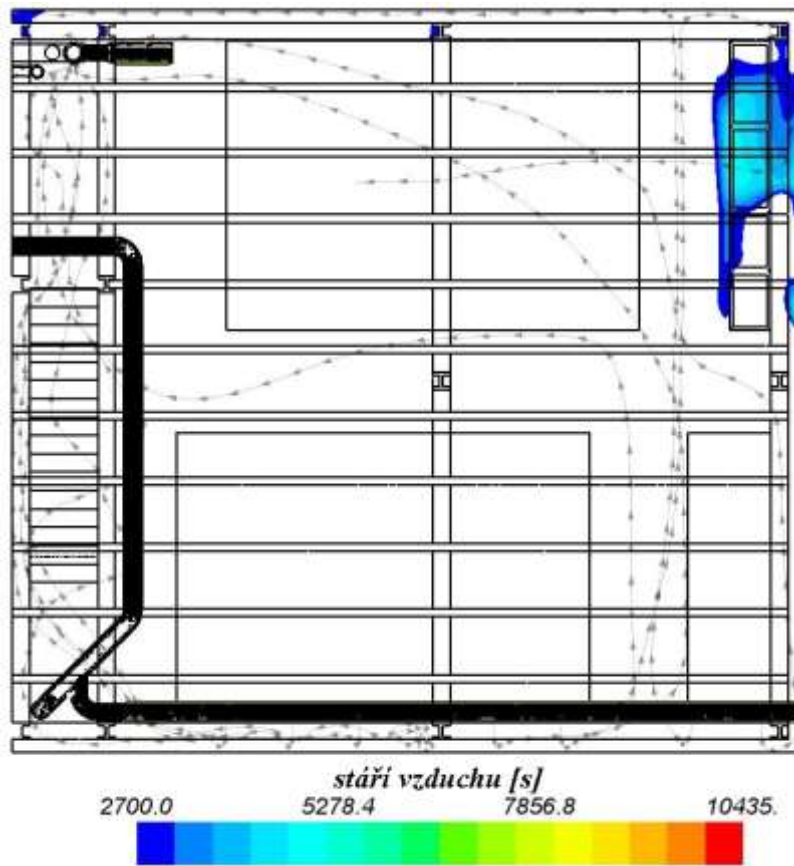
m. č. 127 – Odvod u podlahy



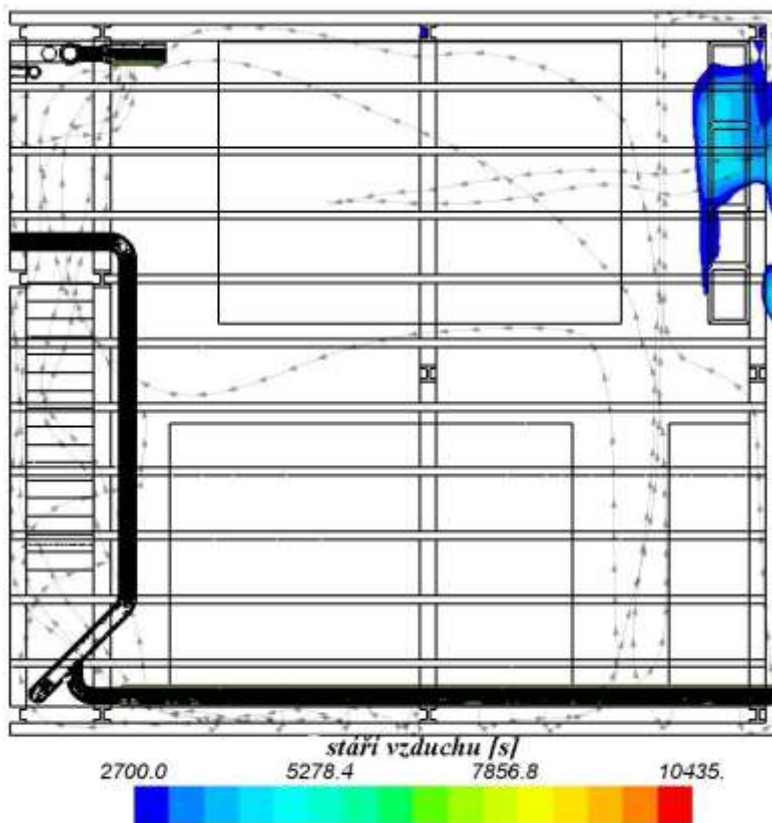
m. č. 127 – Odvod u stropu



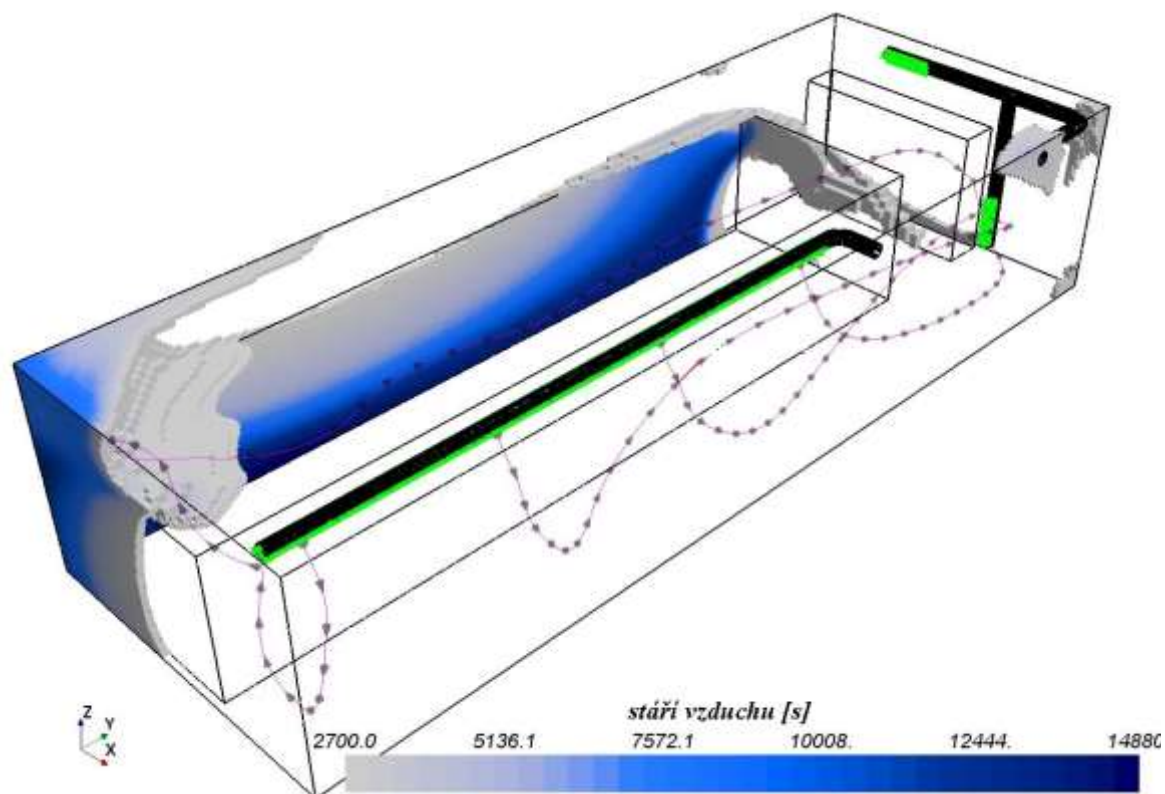
m. č. 127 – Odvod u podlahy



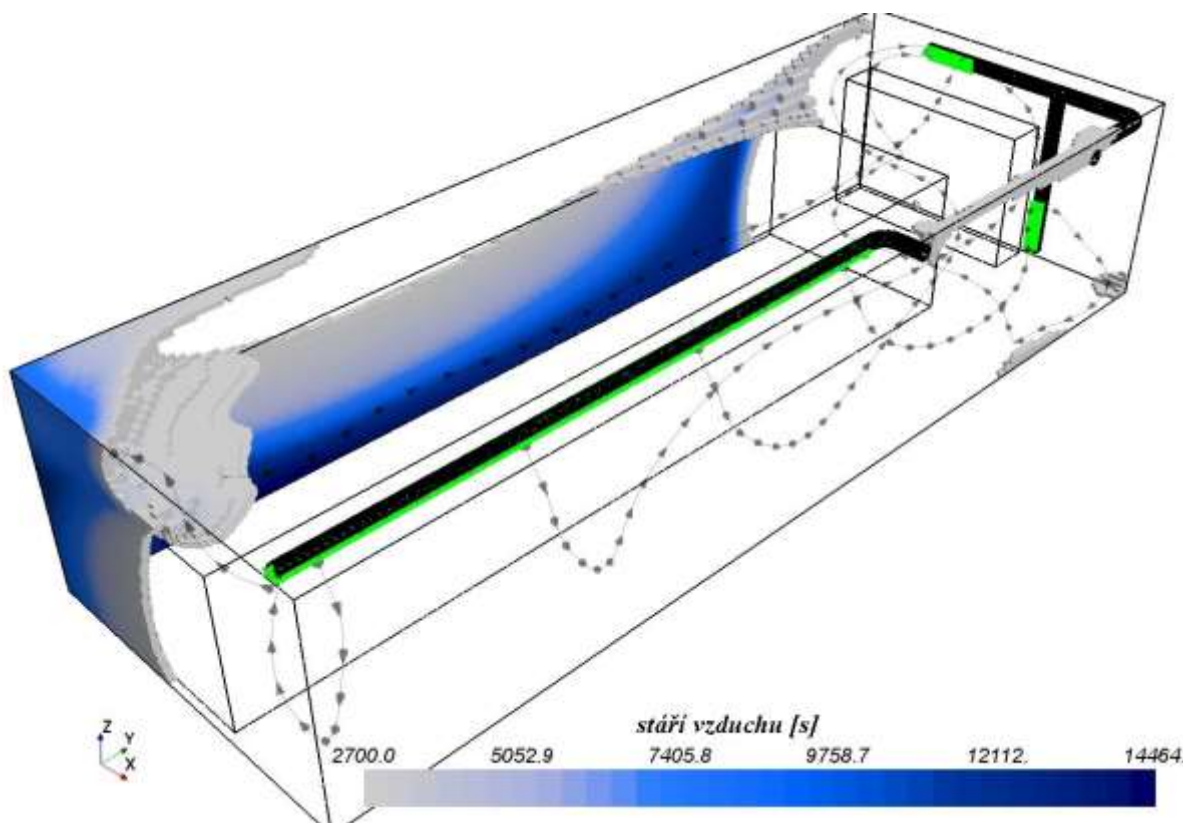
m. č. 127 – Odvod u stropu



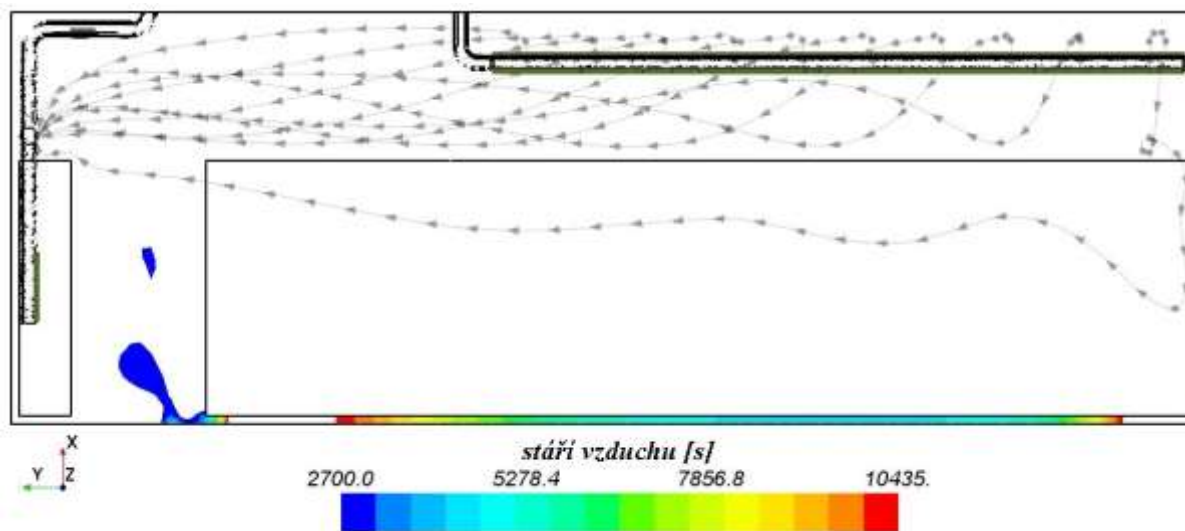
m. č. 205 – Odvod u podlahy



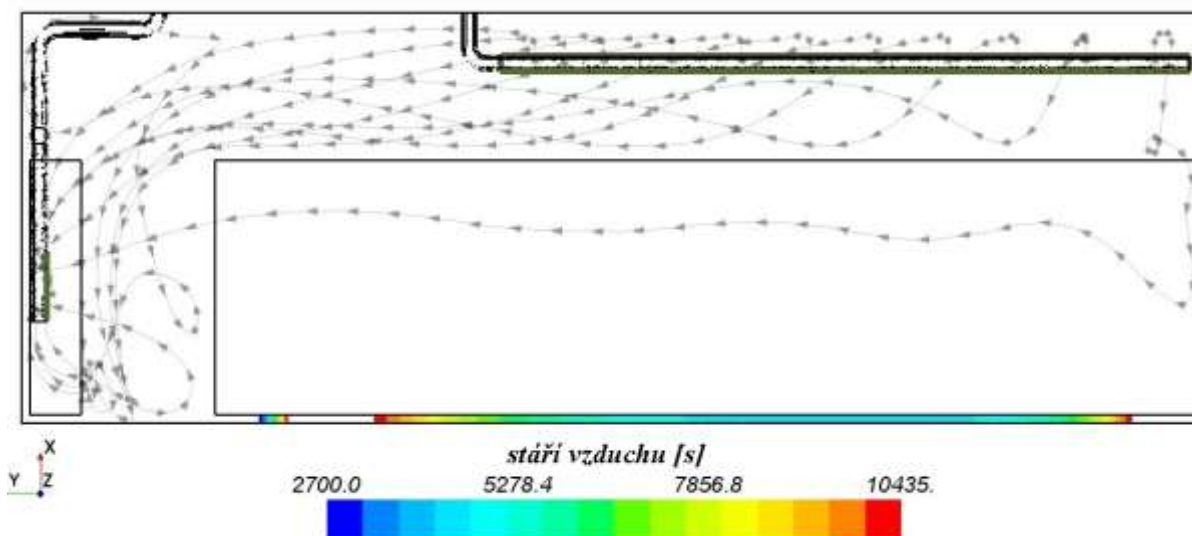
m. č. 205 – Odvod u stropu



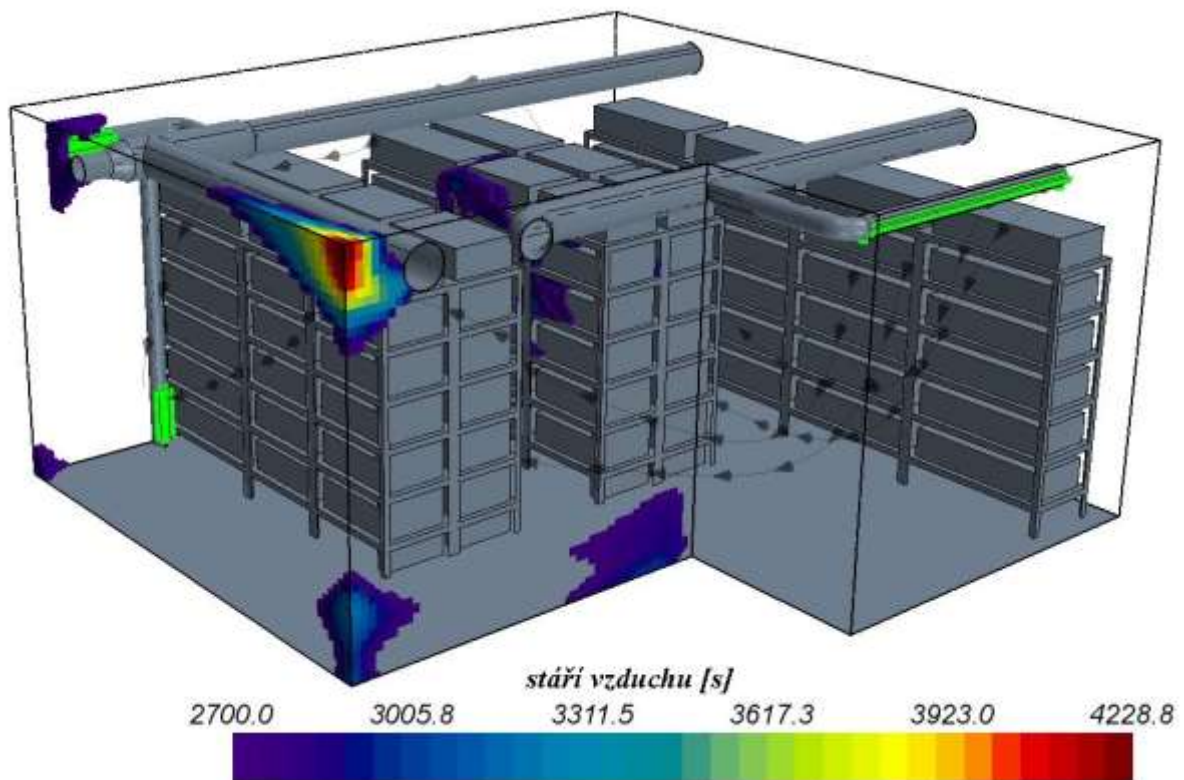
m. č. 205 – Odvod u podlahy



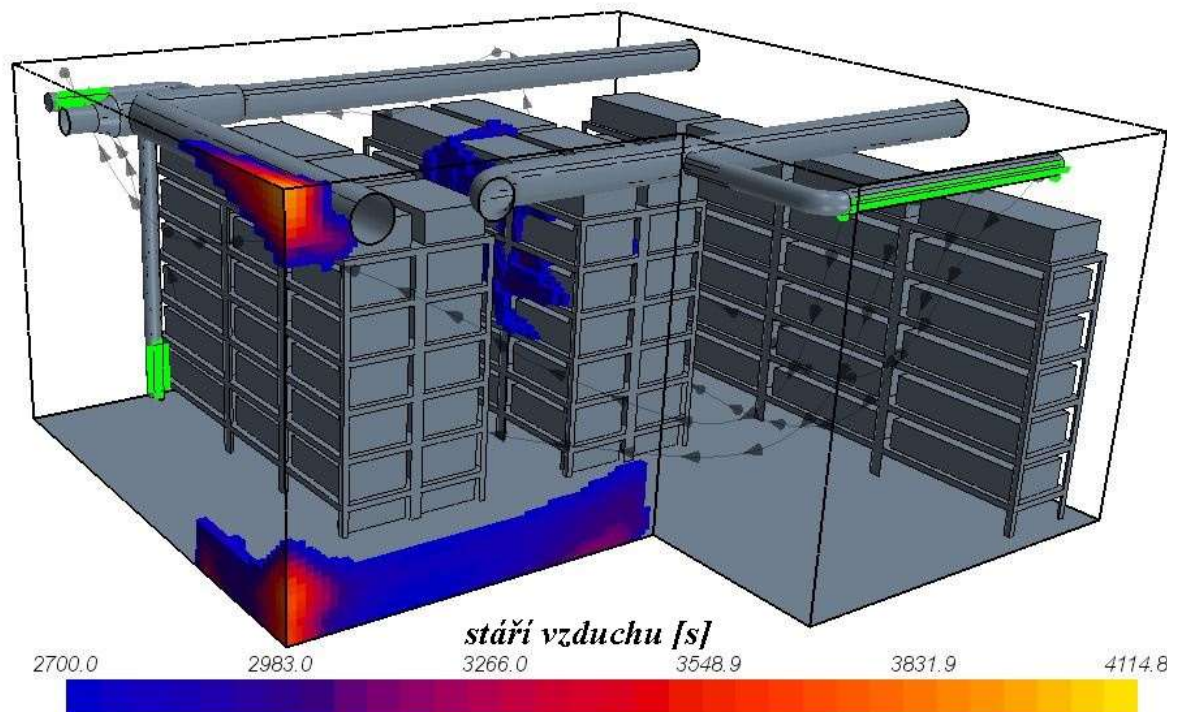
m. č. 205 – Odvod u stropu



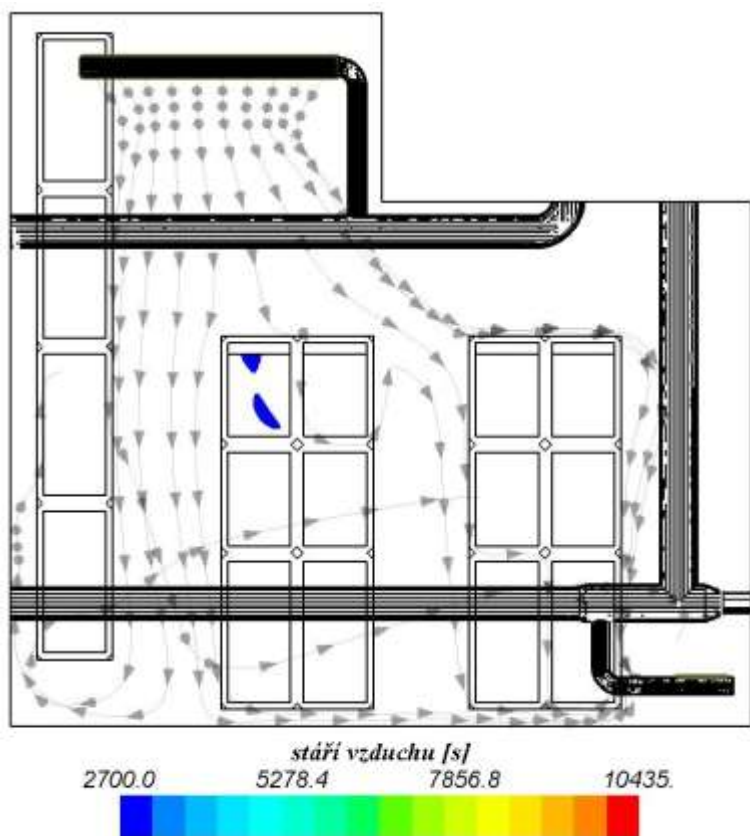
m. č. 206 – Odvod u podlahy



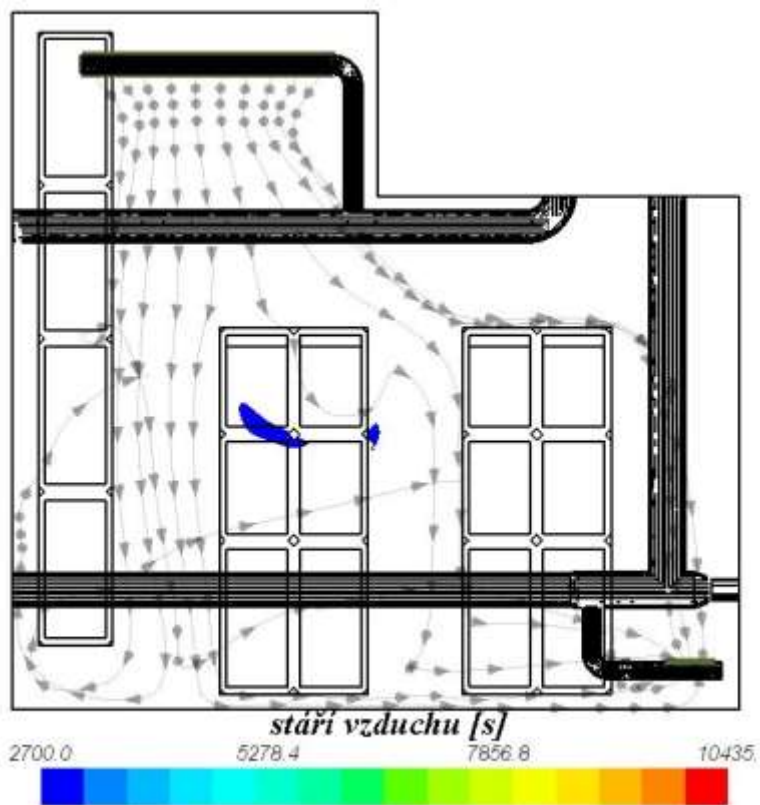
m. č. 206 – Odvod u stropu



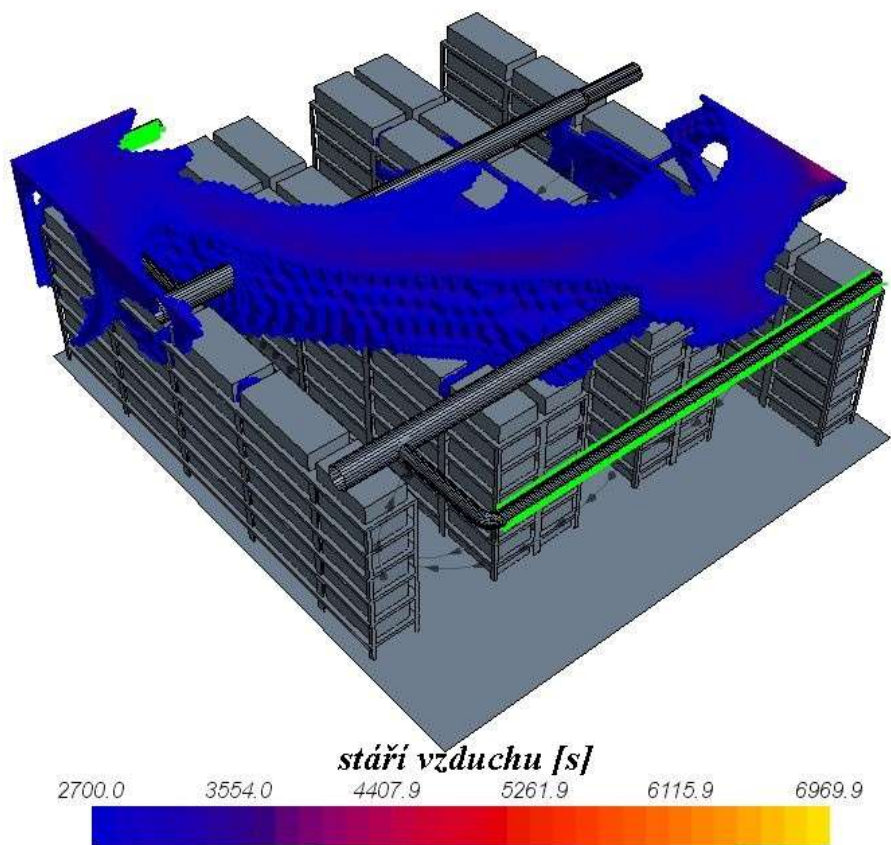
m. č. 206 – Odvod u podlahy



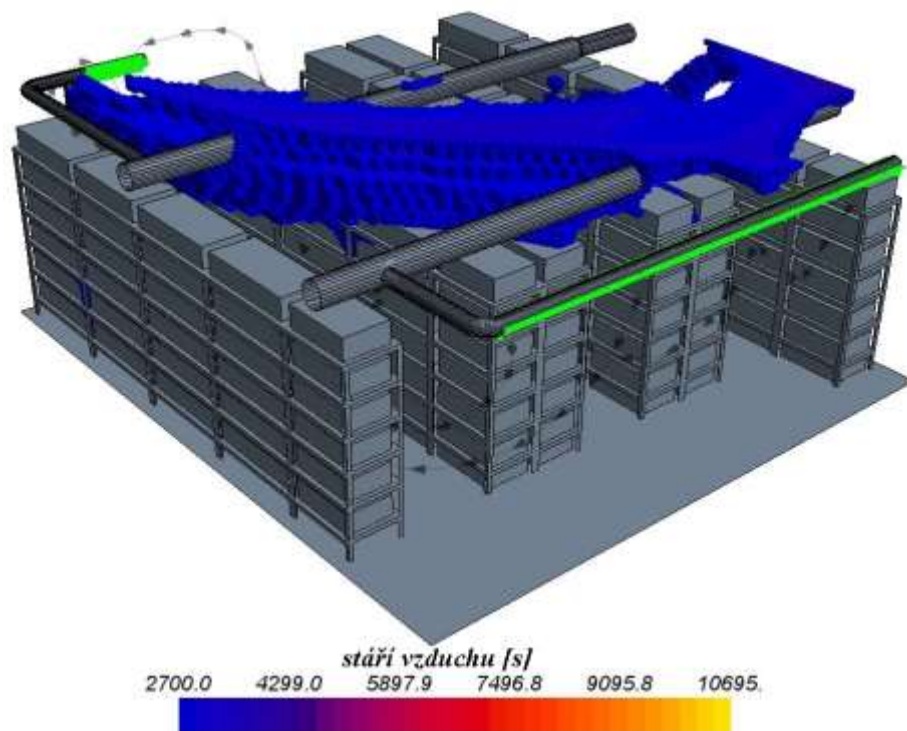
m. č. 206 – Odvod u stropu



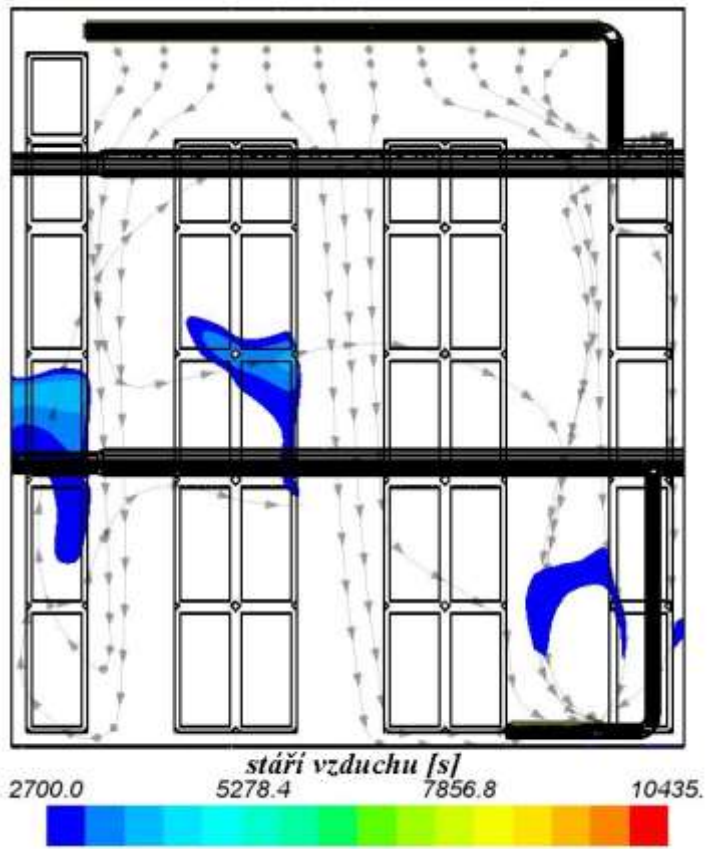
m. č. 207 – Odvod u podlahy



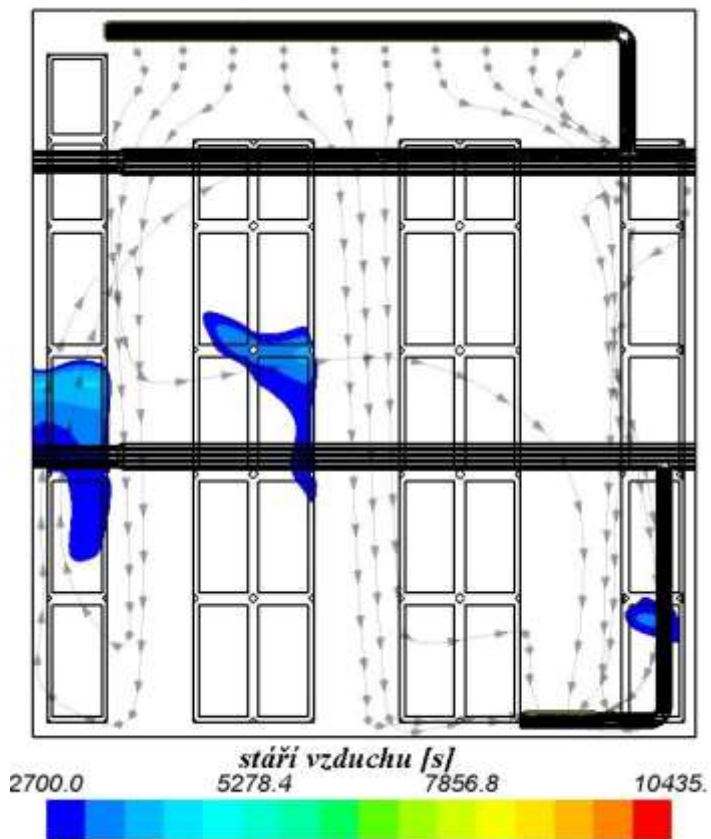
m. č. 207 – Odvod u stropu



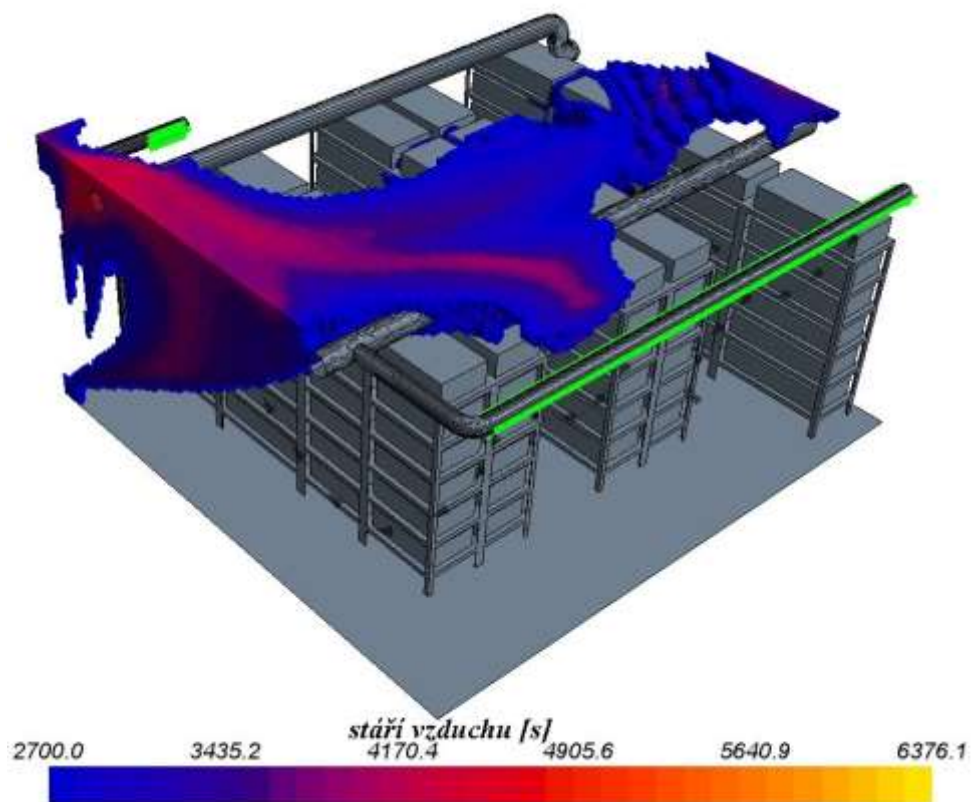
m. č. 207 – Odvod u podlahy



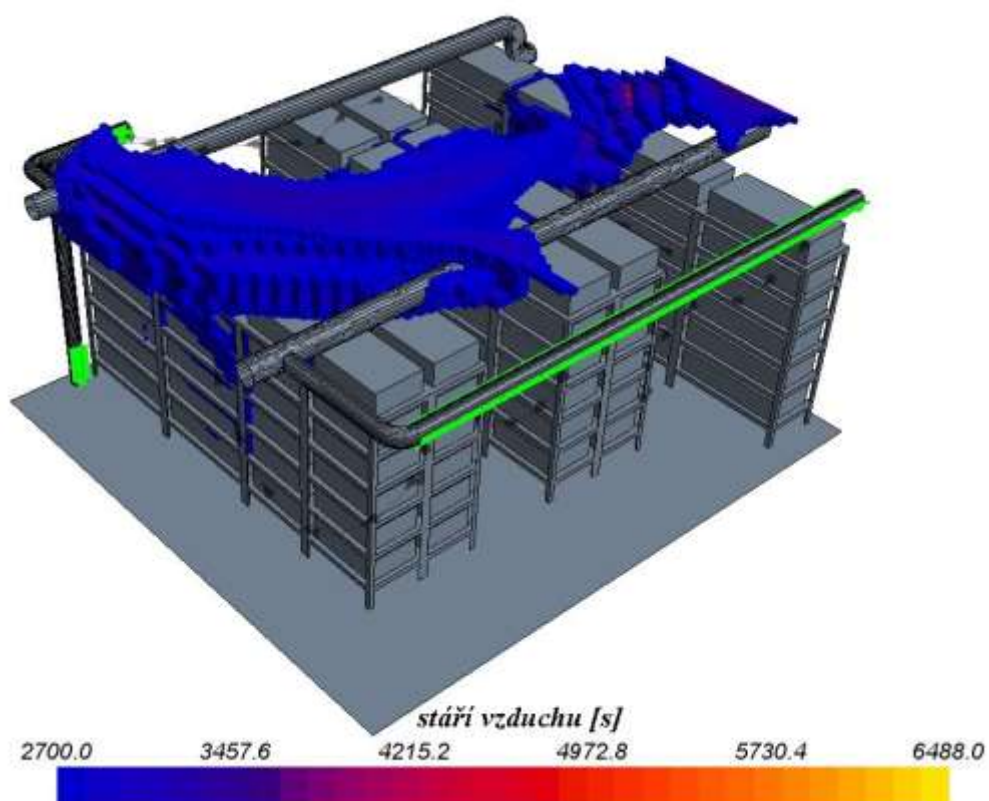
m. č. 207 – Odvod u stropu



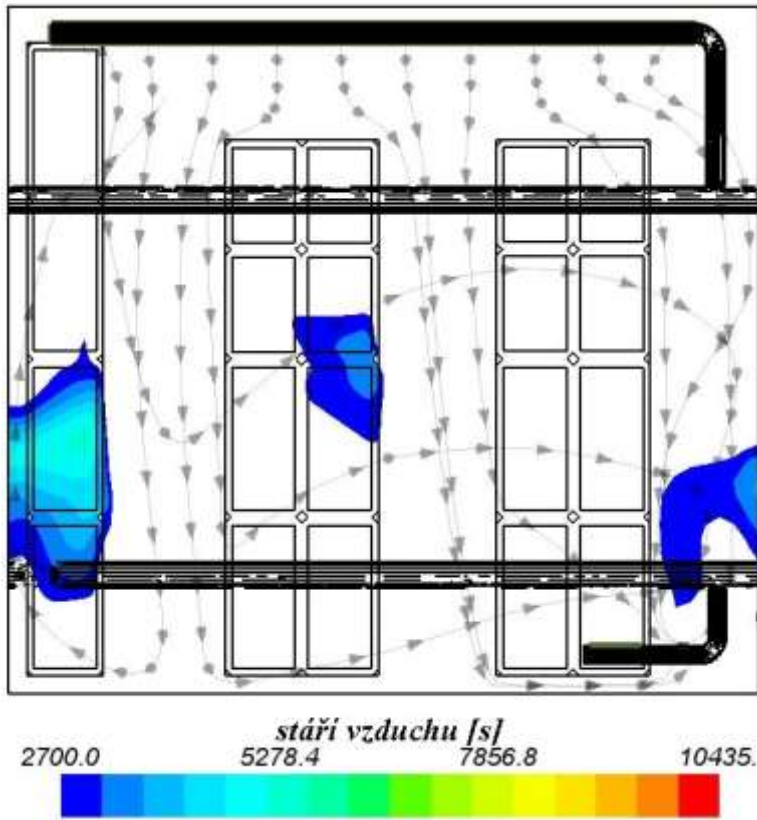
m. č. 208 – Odvod u podlahy



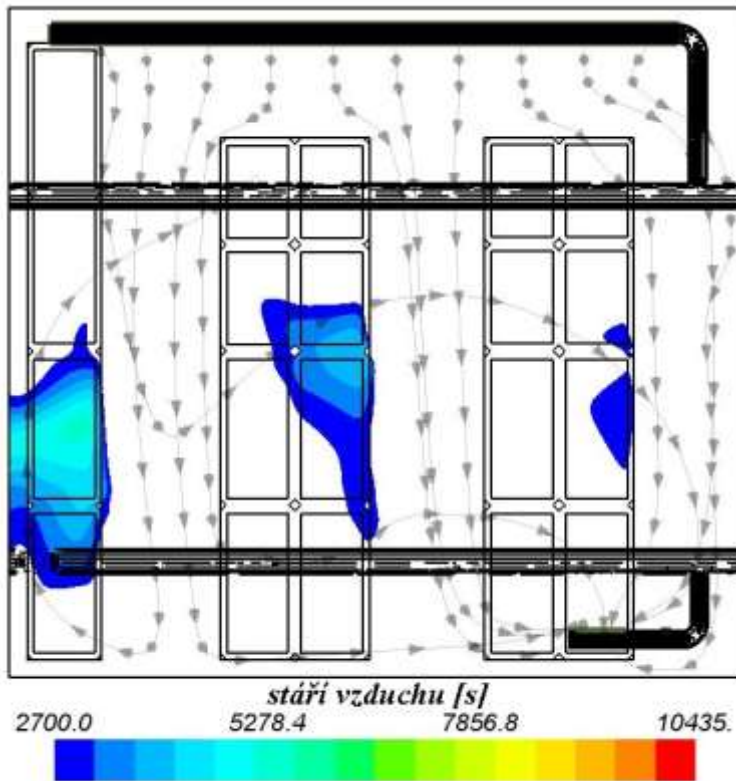
m. č. 208 – Odvod u stropu



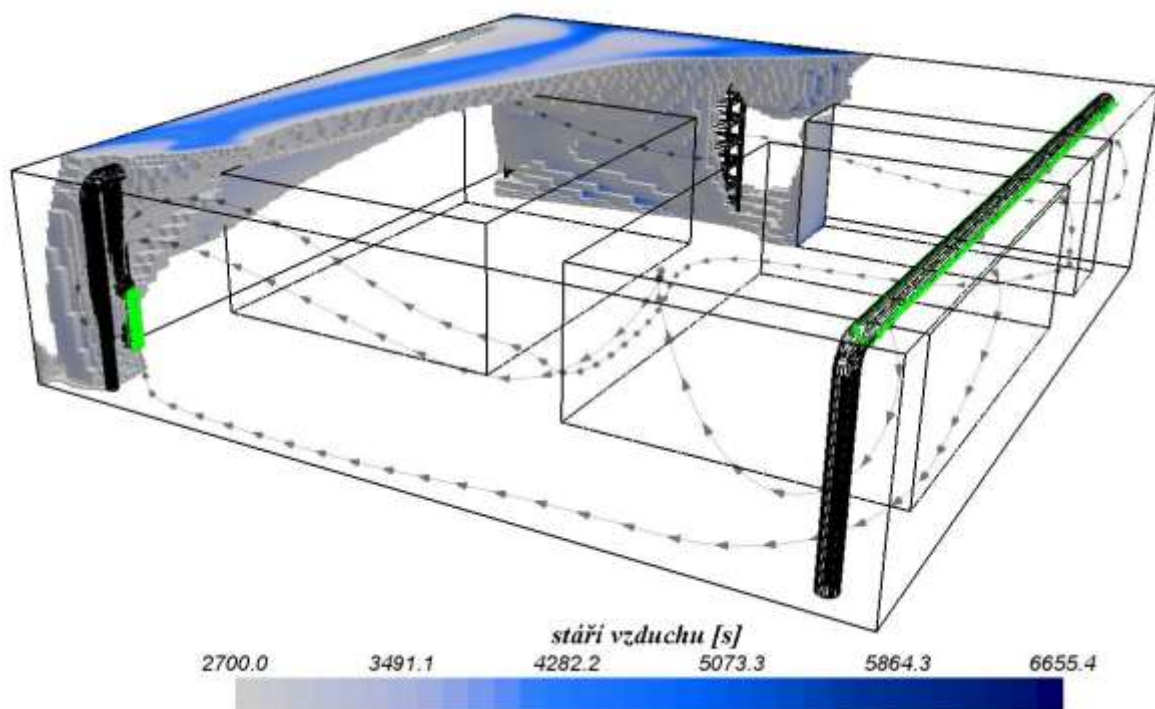
m. č. 208 – Odvod u podlahy



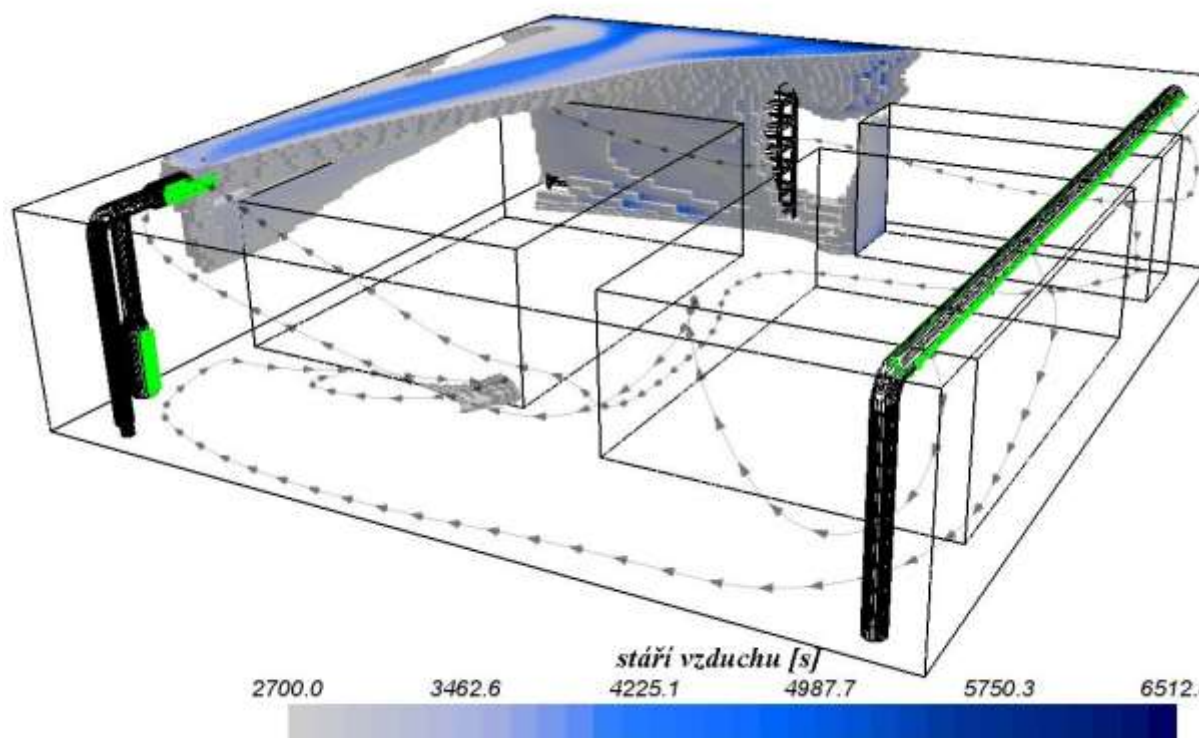
m. č. 208 – Odvod u stropu



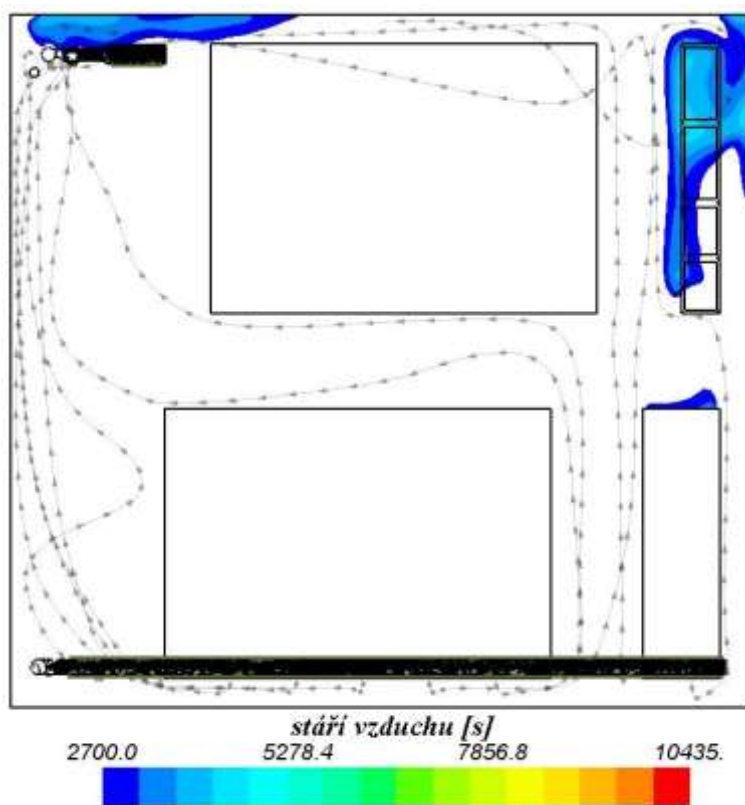
m. č. 213 – Odvod u podlahy



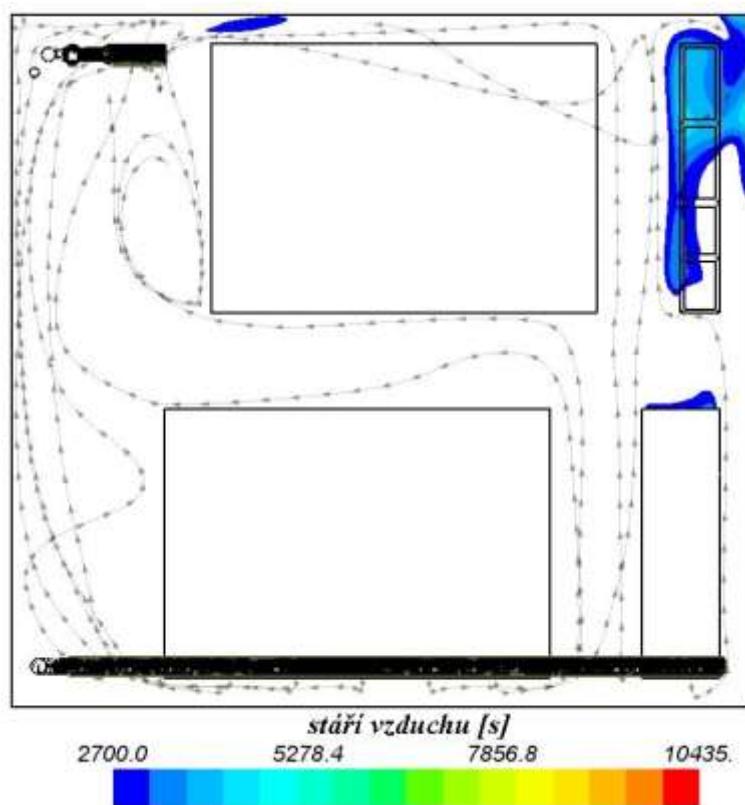
m. č. 213 – Odvod u stropu



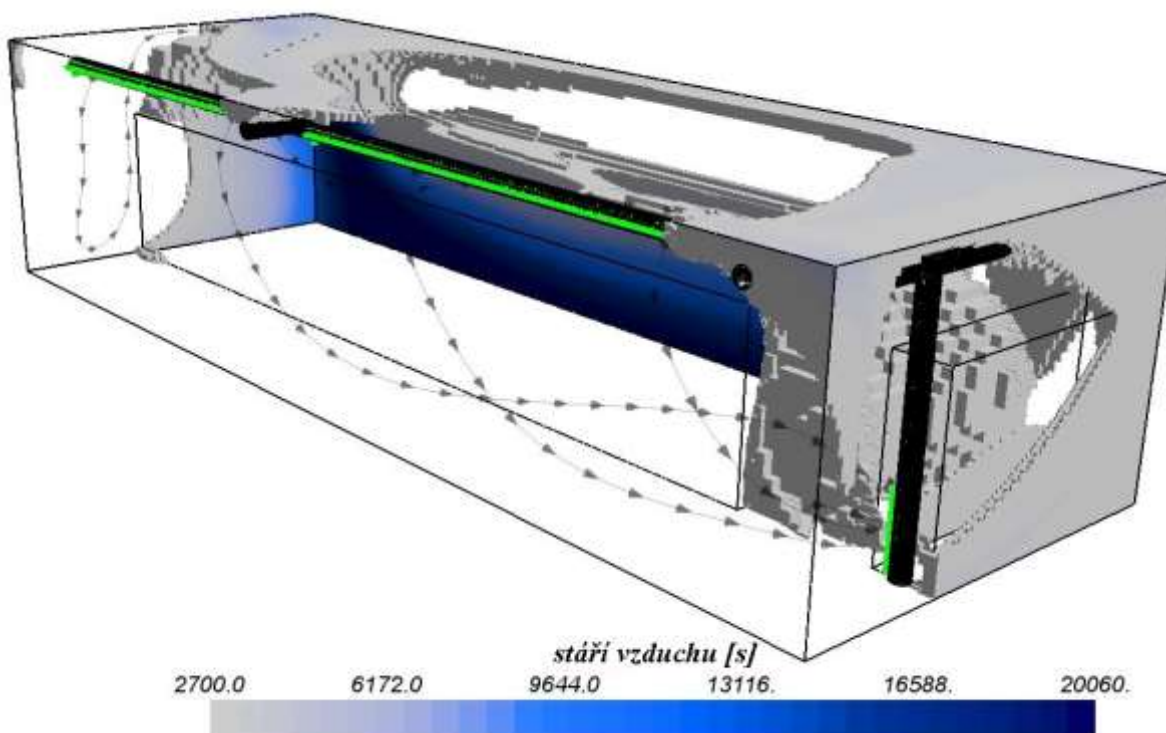
m. č. 213 – Odvod u podlahy



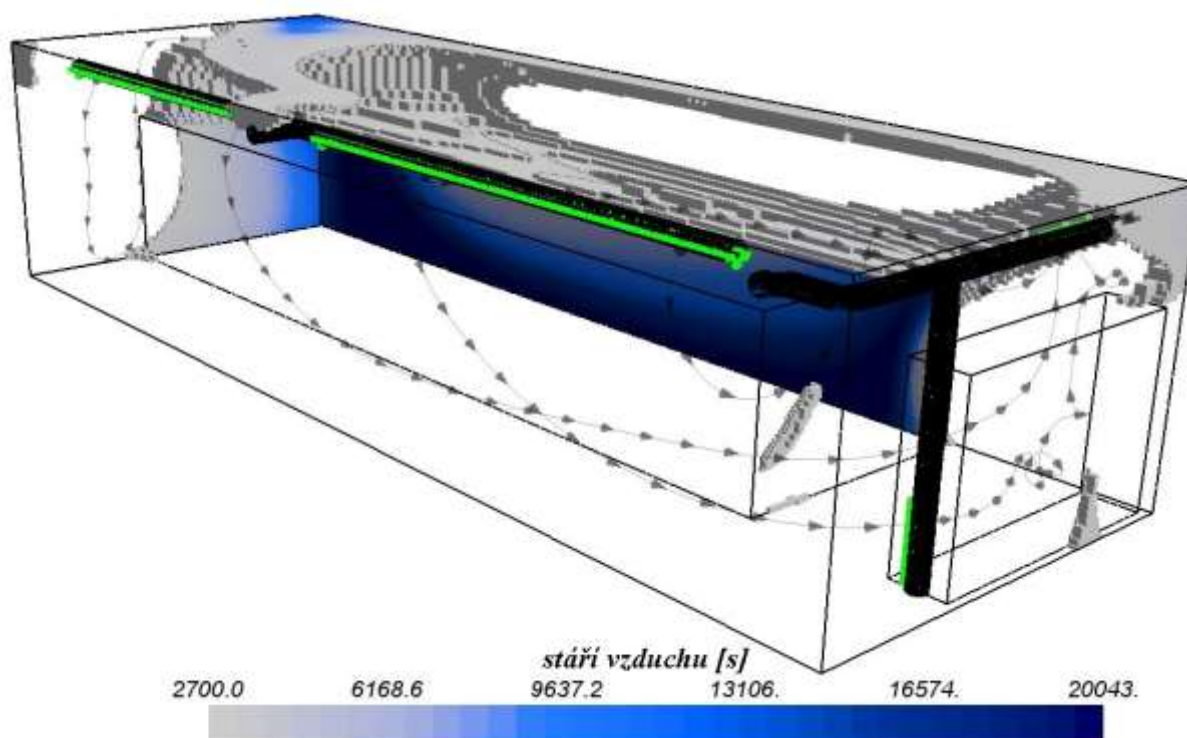
m. č. 213 – Odvod u stropu



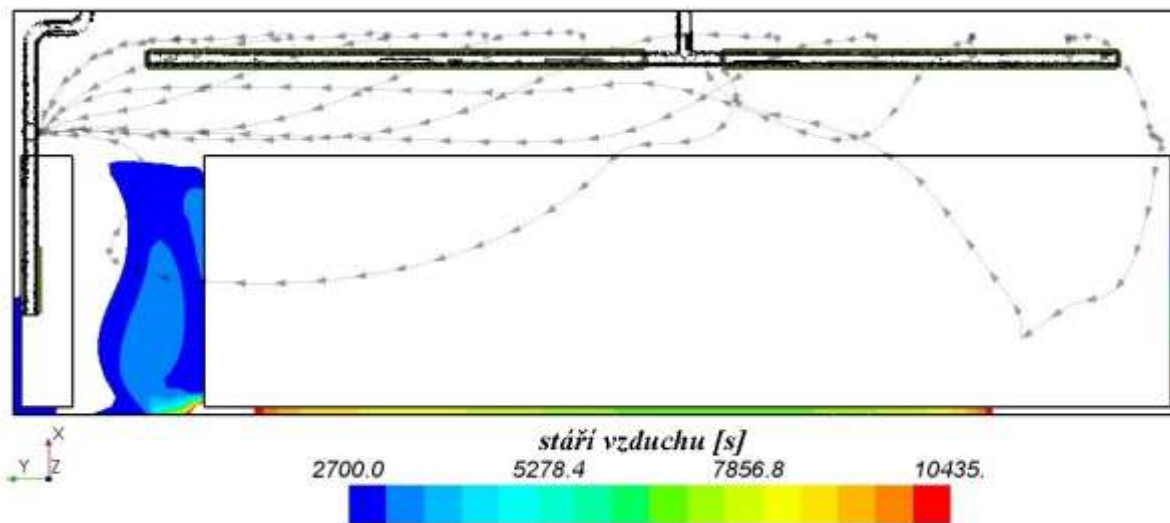
m. č. 305 – Odvod u podlahy



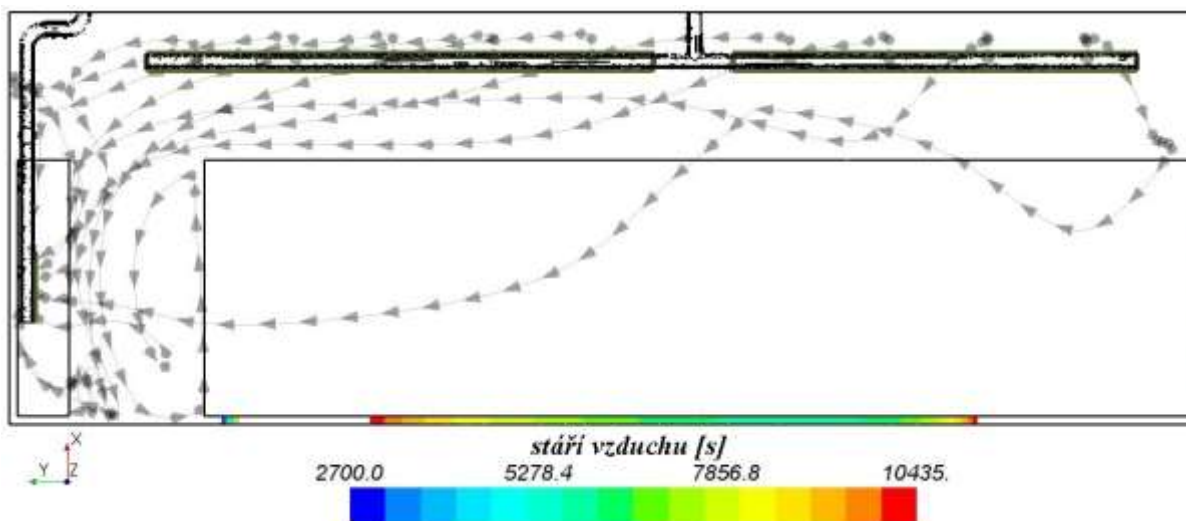
m. č. 305 – Odvod u stropu



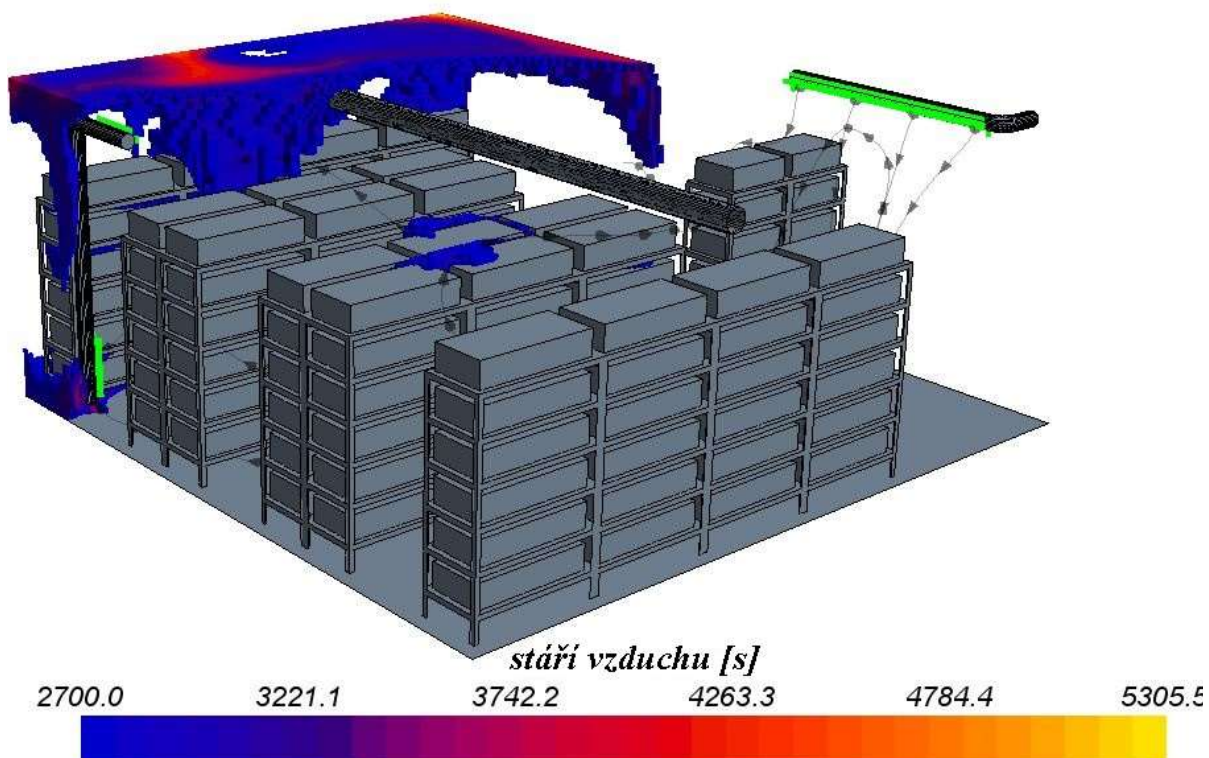
m. č. 305 – Odvod u podlahy



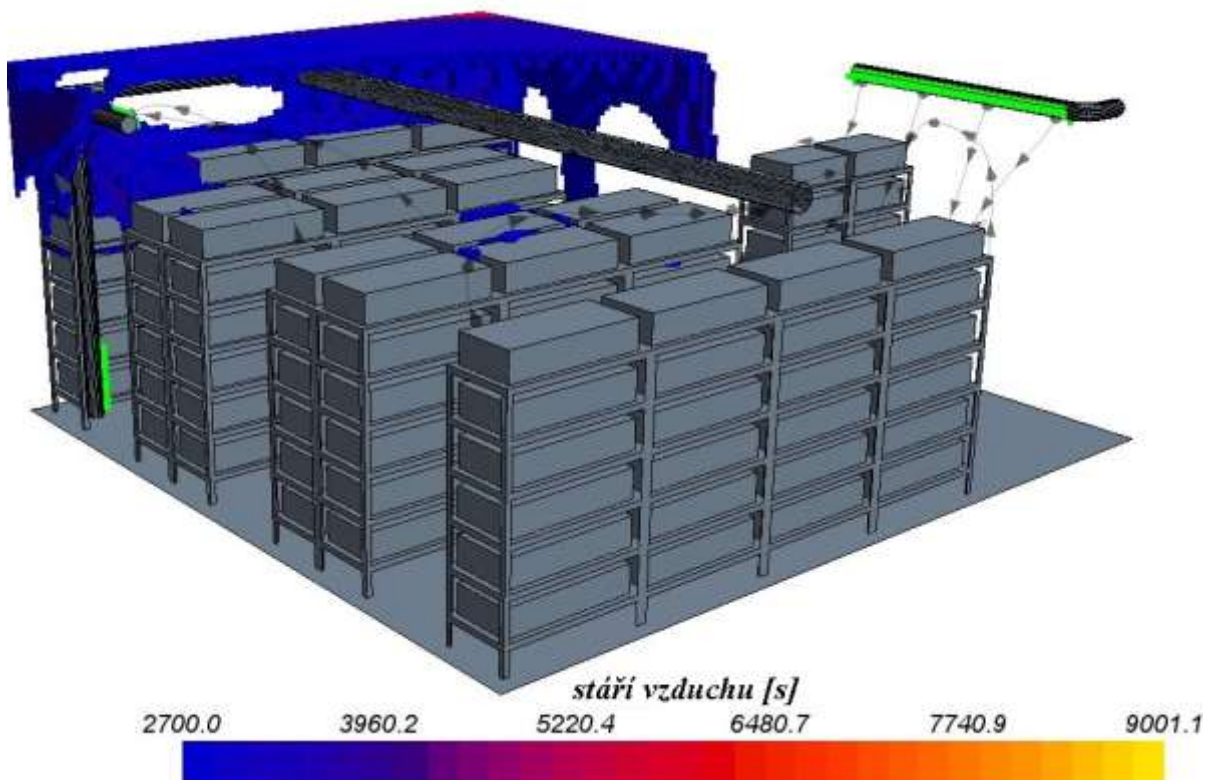
m. č. 305 – Odvod u stropu



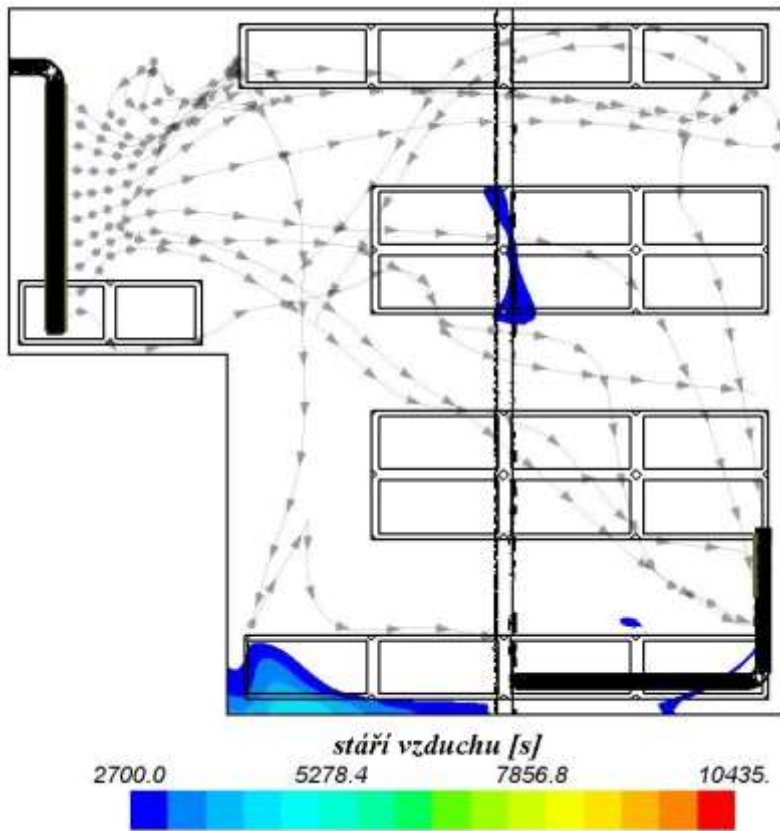
m. č. 308 – Odvod u podlahy



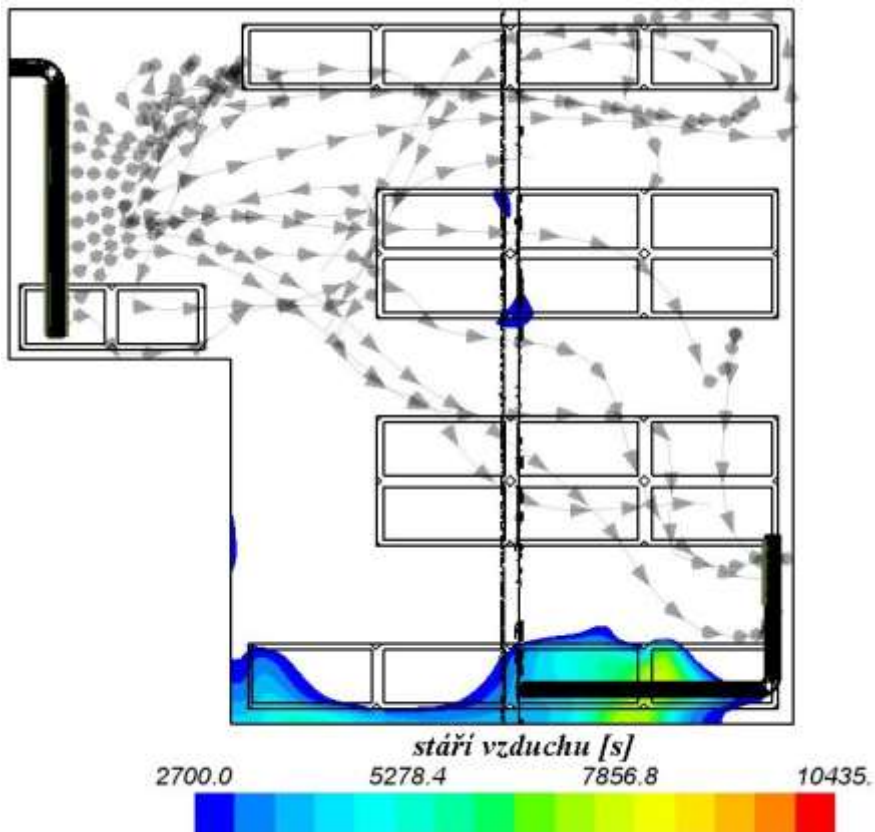
m. č. 308 – Odvod u stropu



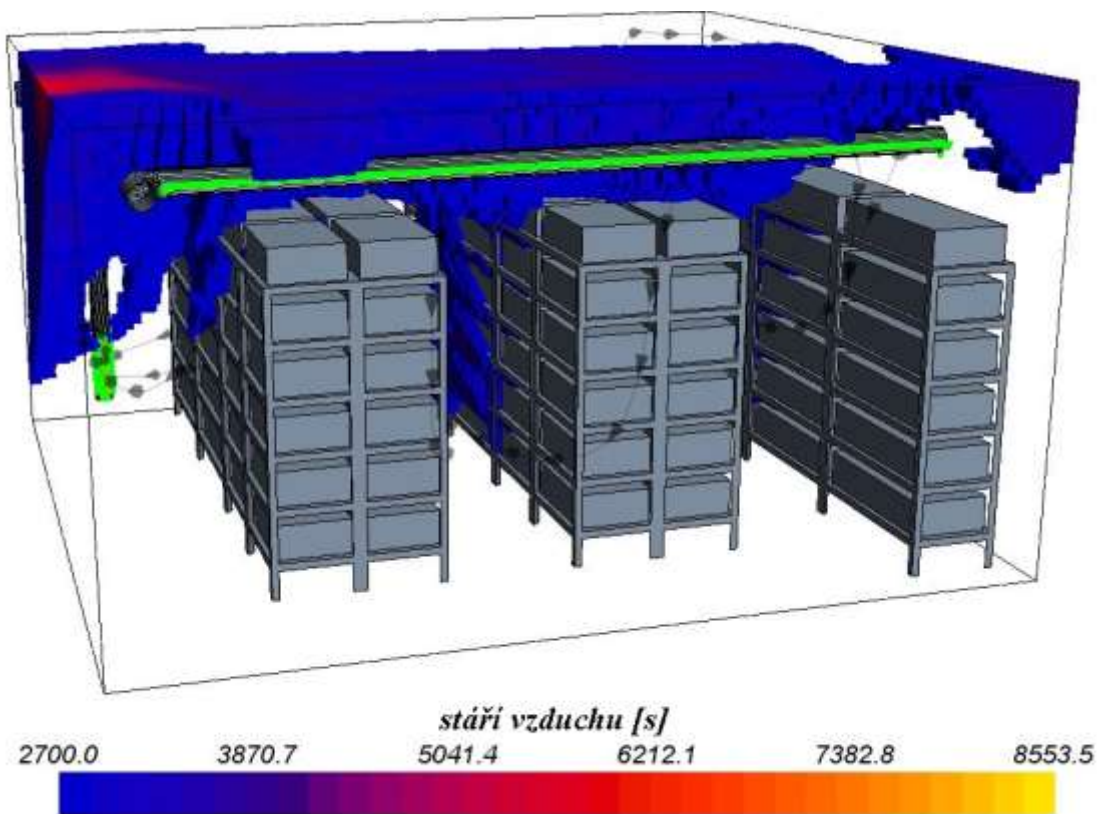
m. č. 308 – Odvod u podlahy



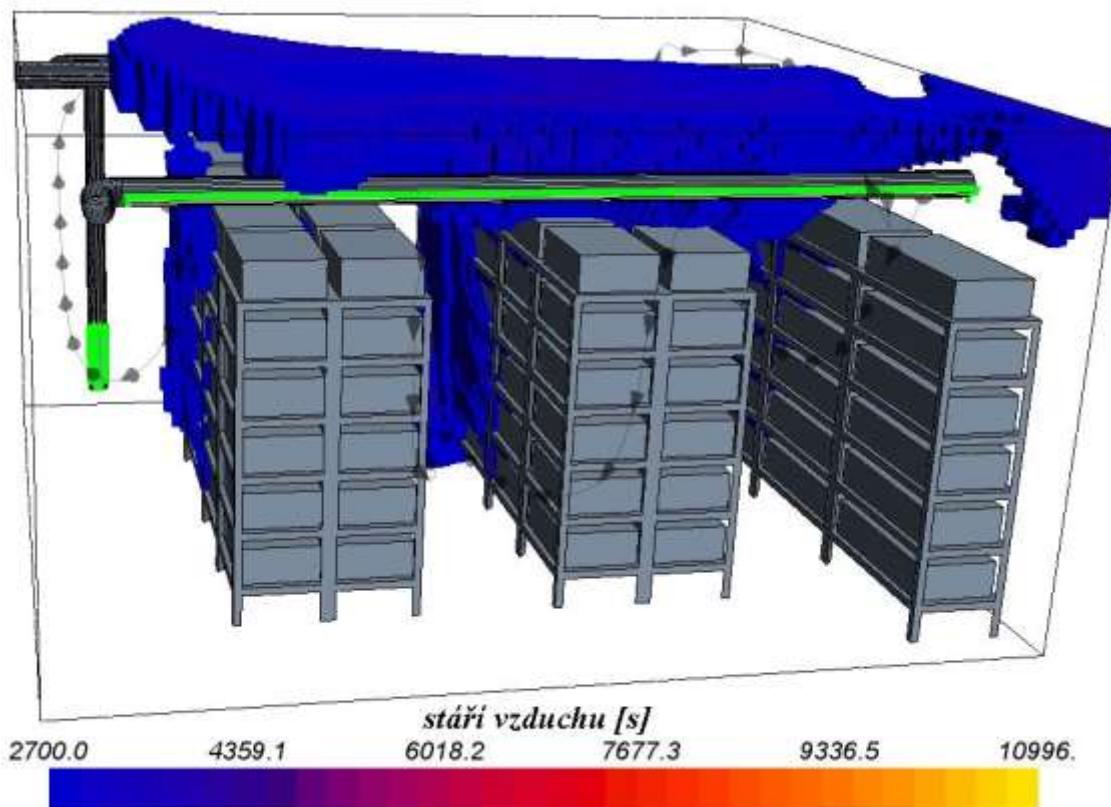
m. č. 308 – Odvod u stropu



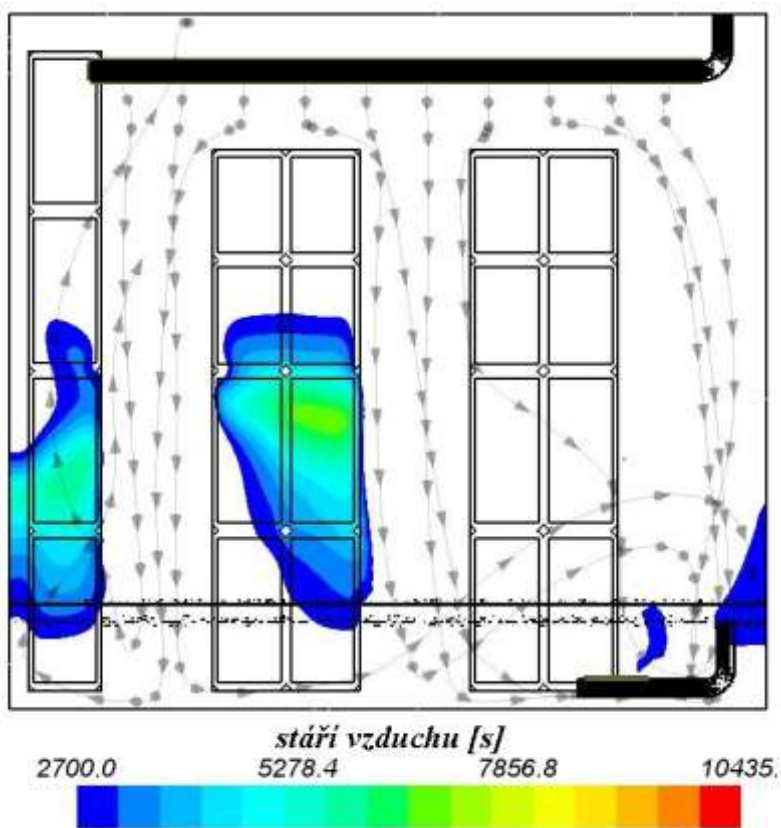
m. č. 310 – Odvod u podlahy



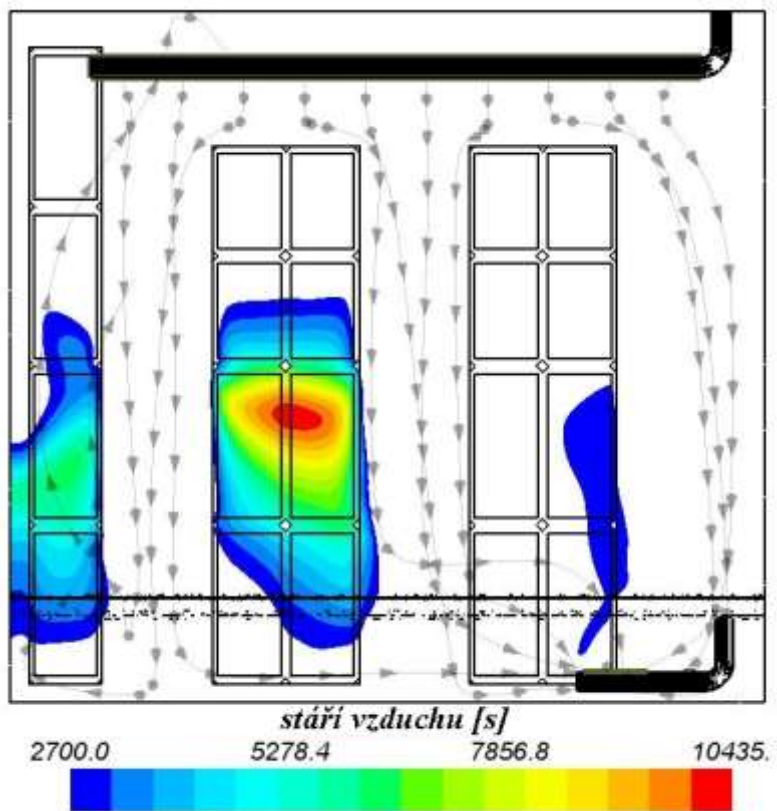
m. č. 310 – Odvod u stropu



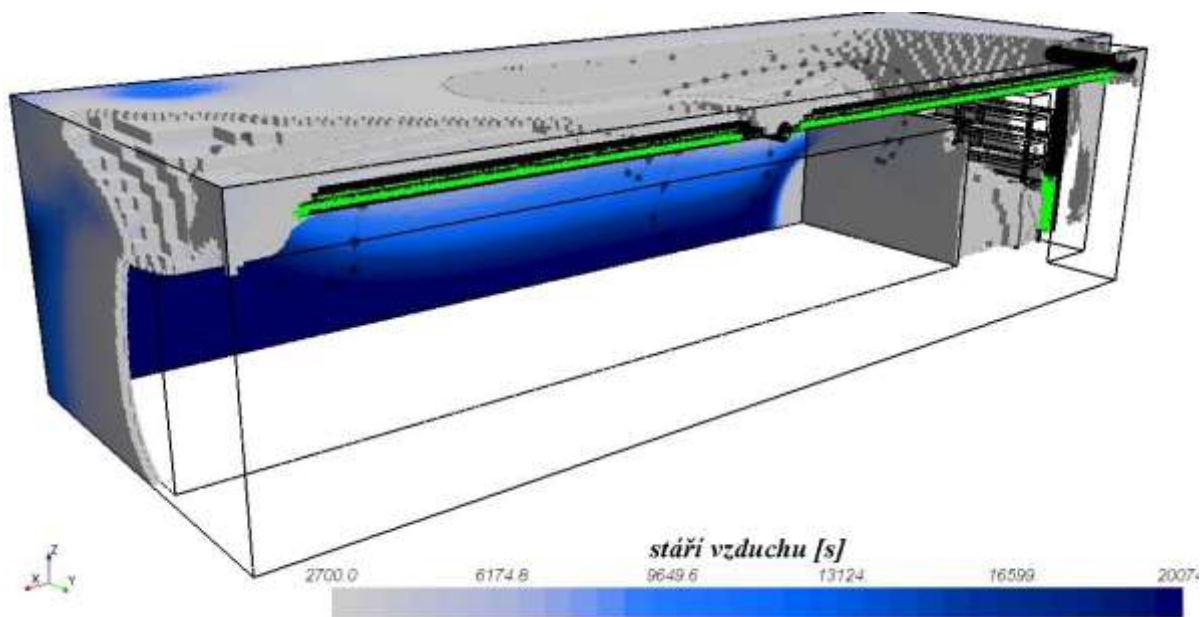
m. č. 310 – Odvod u podlahy



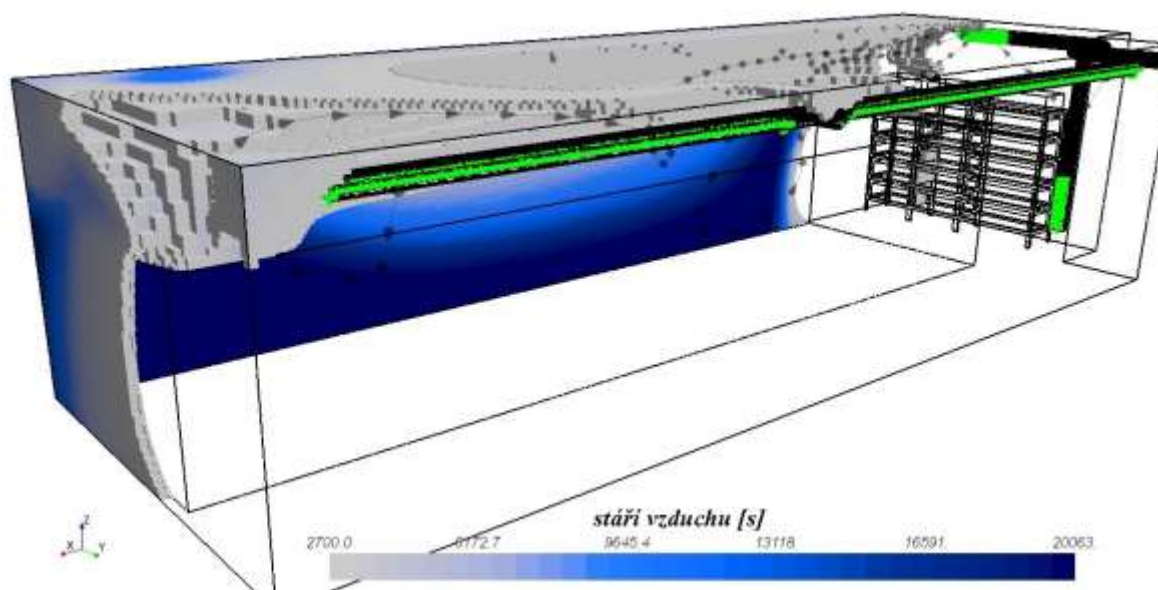
m. č. 310 – Odvod u stropu



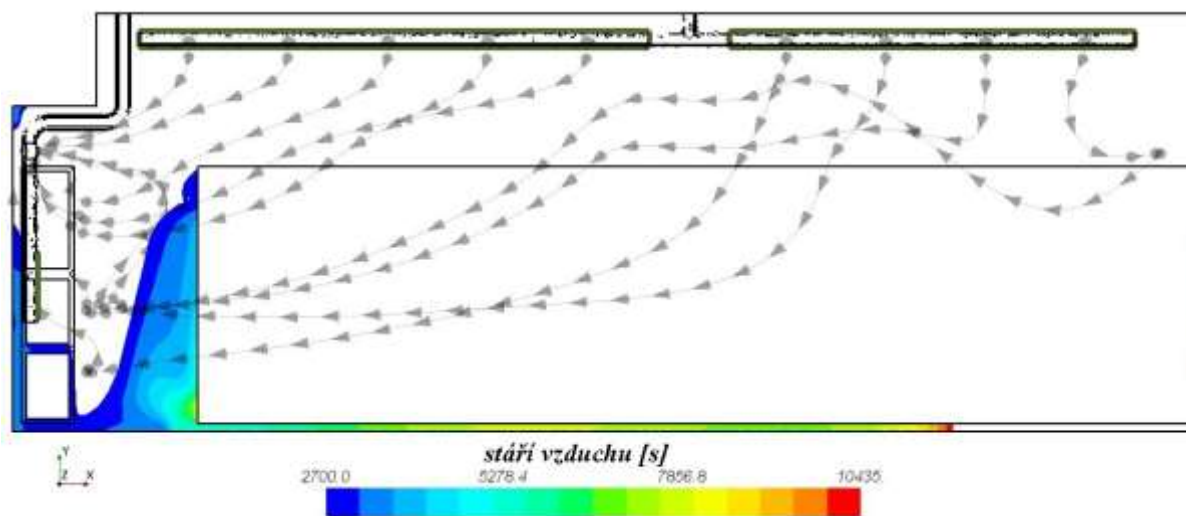
m. č. 311 – Odvod u podlahy



m. č. 311 – Odvod u stropu



m. č. 311 – Odvod u podlahy



m. č. 311 – Odvod u stropu

