

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Návrh vzduchotechnického systému pro modulární
budovu lékárny metodikou BIM**

I. část: Koncept TZB

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Michal Buk

Vedoucí práce:

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Buk Jméno: Michal Osobní číslo: 460493

Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: (N38IB) Inteligentní budovy

Studijní obor: _____

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh vzduchotechnického systému pro modulární budovu lékárny metodikou BIM

Název diplomové práce anglicky: Design of the air handling system for a modular pharmacy building using BIM methodology

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte koncept TZB zadaného objektu v rozsahu průvodní zprávy, blokového schématu a základních bilančních výpočtů. Dále zpracujte rozšířený projekt vzduchotechniky pro stavební povolení v prostředí REVIT, obsahující návrh jednotlivých VZT zařízení, výkresovou a jinou dokumentaci, technickou zprávu a výpočty.

Seznam doporučené literatury:

Rubina A., Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory operačních sálů. Společnost pro techniku prostředí 2008
 ČSN EN ISO 14644-1: Čisté prostory a příslušné řízené prostředí. Klasifikace čistoty Vzduchu, Český normalizační institut, květen 2005.

ČSN EN ISO 146454-7: Čisté prostory a příslušné řízené prostředí. Oddělovací zařízení, Český normalizační institut, květen 2005.

Papež K., Vyoralová Z., Marková L., Garlík B., Jokl M. Energetické a ekologické systémy budov 2. Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace, umělé osvětlení. Fakulta stavební, 1. vydání, únor 2007

Gebauer G., Horká H., Rubinová O. Vzduchotechnika, Era - vydavatelství, ISBN: 80-7366-027-X, 262 s., 2005.

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 14.2.2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 15.5.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

17.2. 2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



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

V Roudnici nad Labem, 15.05.2022

Michal Buk



Poděkování:

Děkuji panu prof. Kabelemu za odborné vedení mé diplomové práce a externí konzultantce paní Ing. Haně Šatrapové z firmy BLOCK a. s. za konzultace vzduchotechnického návrhu.



Obsah

Obsah	8
Anotace:	10
Klíčová slova:	10
Úvod	11
Použité normy a vyhlášky	12
Část I – teoretická část	13
1. Rešerše:	13
1.1. Oblastní nemocnice Náchod	13
1.2. Nemocnice ve Vídni	15
1.3. Nový pavilon DGPN Nemocnice Pelhřimov	16
2. Průvodní zpráva	19
2.1. Umístění objektu	19
2.2. Okrajové podmínky místa stavby	19
2.3. Účel stavby	19
2.4. Popis stavby	19
2.5. Konstrukce	19
2.6. Počet uživatelů	20
2.7. Klimatické podmínky	21
2.8. Popis technického řešení jednotlivých systémů	21
2.8.1. Zásobování teplem	21
2.8.2. Zásobování chladem	25
2.8.3. Zásobování elektřinou	25
2.8.4. Zásobování vodou	26
2.8.5. Způsob likvidace odpadních vod	27
2.8.6. Koncepce větrání a úpravy vzduchu	28
3. Blokové schéma TZB	29
4. Půdorysy:	30
5. Základní výpočty vodovodu a kanalizace	38
5.1. Vodovod	38
5.2. Kanalizace	39
6. Teoretická část návrhu vzduchotechniky	41
6.1. Proč větrat?	41



6.2.	Způsoby větrání.....	41
6.2.1.	Přirozené větrání.....	41
6.2.2.	Nucené větrání.....	42
6.2.3.	Podtlakový systém	42
6.2.4.	Přetlakový systém	43
6.2.5.	Rovnotlaký systém	44
6.3.	Distribuce vzduchu	45
6.4.	Filtrace vzduchu	47
6.4.1.	Konstrukce filtrů	48
6.5.	Čisté prostory	50
6.5.1.	Konstrukce čistého prostoru.....	51
6.5.2.	Tlakové parametry čistého prostředí.....	52
6.5.3.	Vzduchotechnika pro čisté prostředí.....	52
6.6.	Regulace	53
6.6.1.	Regulace podle teploty venkovního vzduchu	53
6.6.2.	Regulace podle teploty vnitřního vzduchu	54
6.6.3.	Negativní vlečná regulace	55
	Seznam obrázku a tabulek:	57
	Seznam použitých zdrojů informací a obrázků:	58



Anotace:

V diplomové práci se zabývám návrhem vzduchotechniky v modulární lékárně v rozsahu stavebního povolení. V práci řeším návrh běžného větrání kancelářských prostor a větrání prostor s třídou čistoty C a D. V čistých prostorech řeším měření a regulaci vnitřního prostředí pro udržení požadovaných parametrů vzduchu a tlakové kaskády.

Dále v práci řeším koncepční návrh ostatních TZB systémů jako je kanalizace, vodovod, vytápění, chlazení a elektro.

Veškeré rozvody TZB jsou zpracovány v BIM za pomoci softwaru REVIT 2022.

Klíčová slova:

Vzduchotechnika, čisté prostory, tlaková kaskáda, čistota vzduchu, třída čistoty, REVIT, BIM, 3D modelování.

Annotation:

In my diploma thesis I am dealing with design of the air conditioning in the modular pharmacy. The project is solved in form of documentation for the building permit. In my diploma thesis I solve the air conditioning of regular office's spaces and a clean spaces. In the clean spaces I solve measuring and regulation of internal environment for keep the parameters of air and pressure cascade in required values.

In my diploma thesis I solve the conceptual design of MEP systems. It includes sewerage, water supply, heating, cooling and electro.

All the MEP systems are made in BIM with use of the software called REVIT 2022.

Keywords:

Air conditioning, clean spaces, pressure cascade, the purity of the air, class of the air purity, REVIT, 3D modeling



Úvod

Diplomová práce je rozdělena na 2 bloky.

V prvním bloku je zpracována rešerše a koncepční návrh systému vytápění, chlazení, vodovodu, kanalizace a elektra. Podrobněji je zde rozepsána teoretická část vzduchotechniky a regulace.

V druhém bloku se práce zabývá konkrétním návrhem vzduchotechnického systému. Práce obsahuje návrh jednotlivých vzduchotechnických jednotek a distribučních prvků, trasy a dimenze potrubí, regulaci systému, výkresy a výpočty, 3D pohledy a technickou zprávu.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou větrání v kancelářských a poté zejména čistých prostorech. Součástí práce je i koncepční návrh systémů ostatních částí TZB. V čistých prostorech je řešena problematika zajištění požadované čistoty vzduchu a zajištění, aby se do místnosti nedostal znečištěný vzduch z okolních místností. Zároveň je potřeba zajistit požadované pracovní podmínky vnitřního prostředí, které se mohou lišit pouze o ± 2 °C. To je zaručeno pomocí regulace teploty prostoru podle teploty uvnitř místnosti.

Celá práce je zpracovávána pomocí metodiky BIM v aplikaci REVIT 2022.



Použité normy a vyhlášky

- Zákon č. 258/2000 Sb. - o ochraně veřejného zdraví
- Vyhláška č. 6/2003 - hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- ČSN EN ISO 14644-1: 2000. Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu.
- ČSN EN 13779: 2007. Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení.
- ČSN EN ISO 14644-1 Čisté prostory a příslušná řízená prostředí - Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic
- ČSN EN ISO 16890-1 (125009) Vzduchové filtry pro všeobecné větrání - Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)
- ČSN 12 7010 (127010) Vzduchotechnická zařízení - Navrhování větracích a klimatizačních zařízení - Obecná ustanovení
- TNI 12 7095 (127095) Vzduchotechnická zařízení - Koncept větrání
- ČSN EN 15665 (127021) Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov
- ČSN 75 5409 (755409) Vnitřní vodovody
- ČSN EN 12056-1 (756760) Vnitřní kanalizace - Gravitační systémy - Část 1: Všeobecné a funkční požadavky
- ČSN 06 0320 (060320) Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování



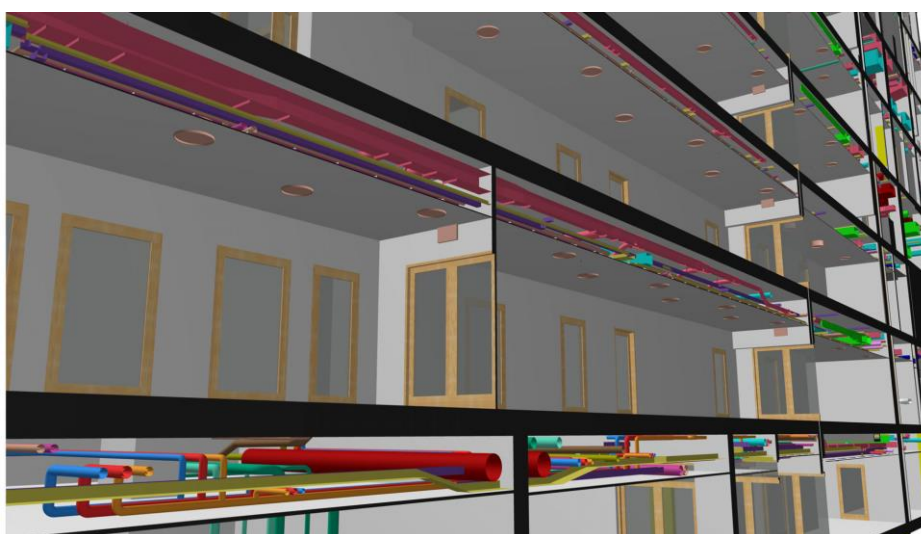
Část I – teoretická část

1. Rešerše:

1.1. Oblastní nemocnice Náchod



Obrázek 1-Vizualizace areálu [1]



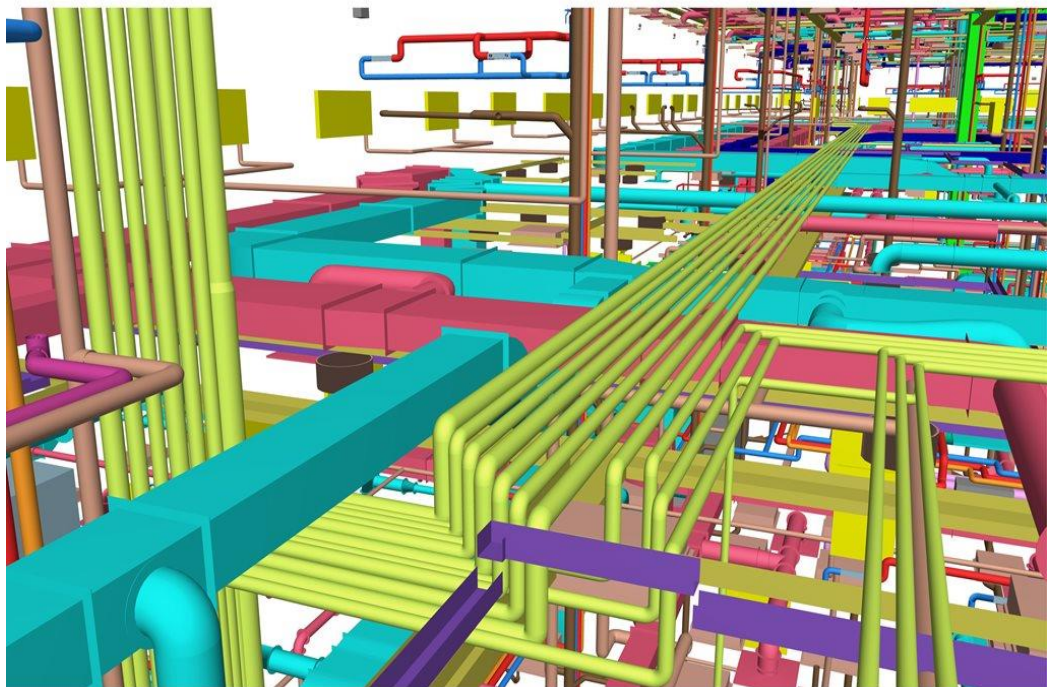
Obrázek 2- Rozvody TZB s využitím BIM [1]

**Popis objektu:**

Jedná se o modernizaci oblastní nemocnice Náchod. Projekt zahrnuje návrh komplementární budovy pavilonu K a lůžkového pavilonu J. V budově K jsou operační sály, lůžka s intenzivní péčí, resuscitační oddělení, sály na císařské řezy, lůžka neonatologické intenzivní péče a klasické intenzivní péče. V pavilonu J jsou pouze lůžková oddělení různých oborů.

Popis systémů TZB:

V objektu se nachází oddílná kanalizace, tedy splašková a dešťová kanalizace. Speciální kanalizací je kanalizace infekční, která nesmí být přímo napojena na splaškovou kanalizaci, ale odpad z ní musí být speciální technologií likvidován. V objektu je rozvedena teplá a studená voda se zařízením proti vzniku Legionelly. V objektu se nachází rozvody demineralizované a ultra čisté vody pro medicínské provozy a sály. Z vody se rovněž vyrábí sterilní pára pro provoz přístrojů. Větrání čistých prostor je řešeno pomocí přetlakového větrání dle DIN 1946-4. Přetlak je dynamicky regulován podle aktuálních potřeb provozů. V budově se nachází dalších 8 systémů pro dopravu jednotlivých druhů plynu jako je čistý kyslík, oxid dusný, oxid uhličitý, stlačený vzduch o tlaku 4,8 a 15 bar a stlačený technický vzduch o velikosti 8 bar. Po budově je rozvedena slaboproudá instalace pro chytré řízení budovy. Potrubní pošta tvoří další doplňující systém. Je tvořena ze dvou 110 mm trubek pro dopravu materiálů a vzorků a 160 mm potrubí pro transport sterilních nástrojů a krevních přípravků.



Obrázek 3- Ukázka rozvodů TZB s využitím BIM [1]



1.2. Nemocnice ve Vídni

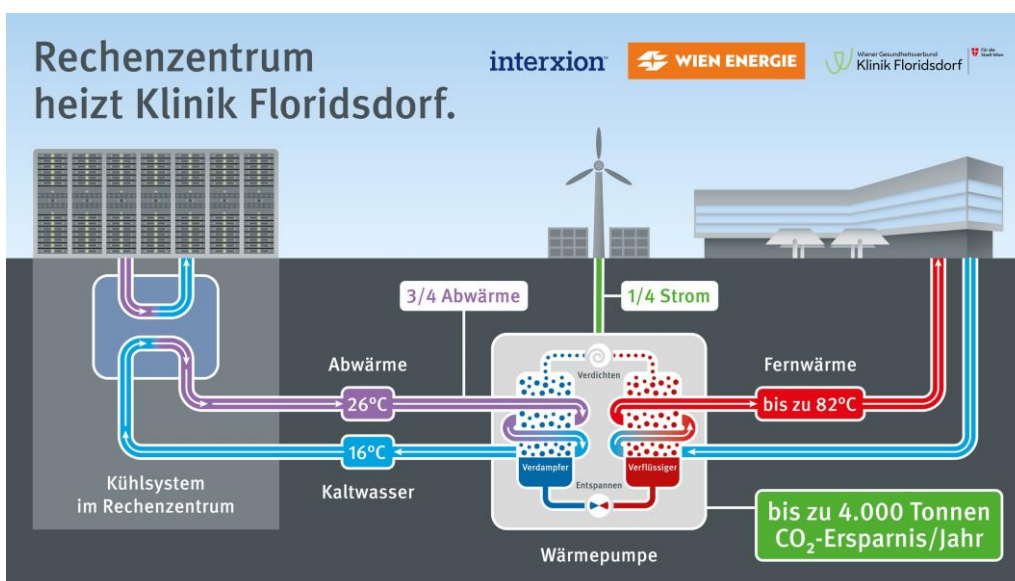


Obrázek 4- Nemocnice Vídeň [2]

Popis objektu:

Jedná se o kliniku ve Vídni v městské části Floridsdorf, ve které se nachází veškeré zdravotnické obory včetně lůžkové části. Město Vídeň se snaží o co nejekologičtější budovy a v této budově přišli se zajímavým řešením systémů TZB.

Popis systémů TZB:



Obrázek 5- Systém vytápění pomocí datového centra [2]



Nemocnice spolupracuje s o několik stovek metrů vzdáleným výpočetním centrem. Místní výpočetní centrum má celoročně velké nároky na chlazení svých systémů a nemocnice potřebuje velké množství teplé vody pro udržování požadované čistoty místností a nástrojů a na vytápění. Odpadní teplo ze serverů by mělo pokrýt až 70 % tepelné spotřeby kliniky. Tepelnou výměnu mají zajišťovat tepelná čerpadla, jejichž energetickou náročnost bude pokrývat větrná turbína. Teplo z výpočetního centra bude předáno přes tepelný výměník chladící kapalině, ta bude transportována do nemocnice, kde své teplo odevzdá a ohřeje vodu pro vytápění nebo jiné účely. Ochlazená voda se opět vrátí do výpočetního centra. Nemocnice dále využívá solární panely, dešťovou vodu a dálkové chlazení.

1.3. Nový pavilon DGPN Nemocnice Pelhřimov



Obrázek 6- Nový pavilon nemocnice Pelhřimov [3]

Popis objektu:

Tento objekt je navržen jako pětipodlažní budova v pasivním standardu. Rozměry budovy jsou cca. 26 x 60 m. Modul má rozměry 8,1 x 6,3 m. V budově se nachází lůžkové oddělení, dětské oddělení, JIP, gynekologicko-porodní oddělení a neurologické oddělení.

Nosná konstrukce je ze železobetonu. Ztužení zajišťují jádra výtahových šachet. Konstrukční výšky jsou 3,75 m a 4,2 m ve 3.NP. Střechy budovy jsou ploché s vegetační vrstvou nebo kačírkiem. Budova má provětrávanou fasádu. Na zateplení je použita minerální vata tl. 240 mm na střeších EPS cca. 450 mm.



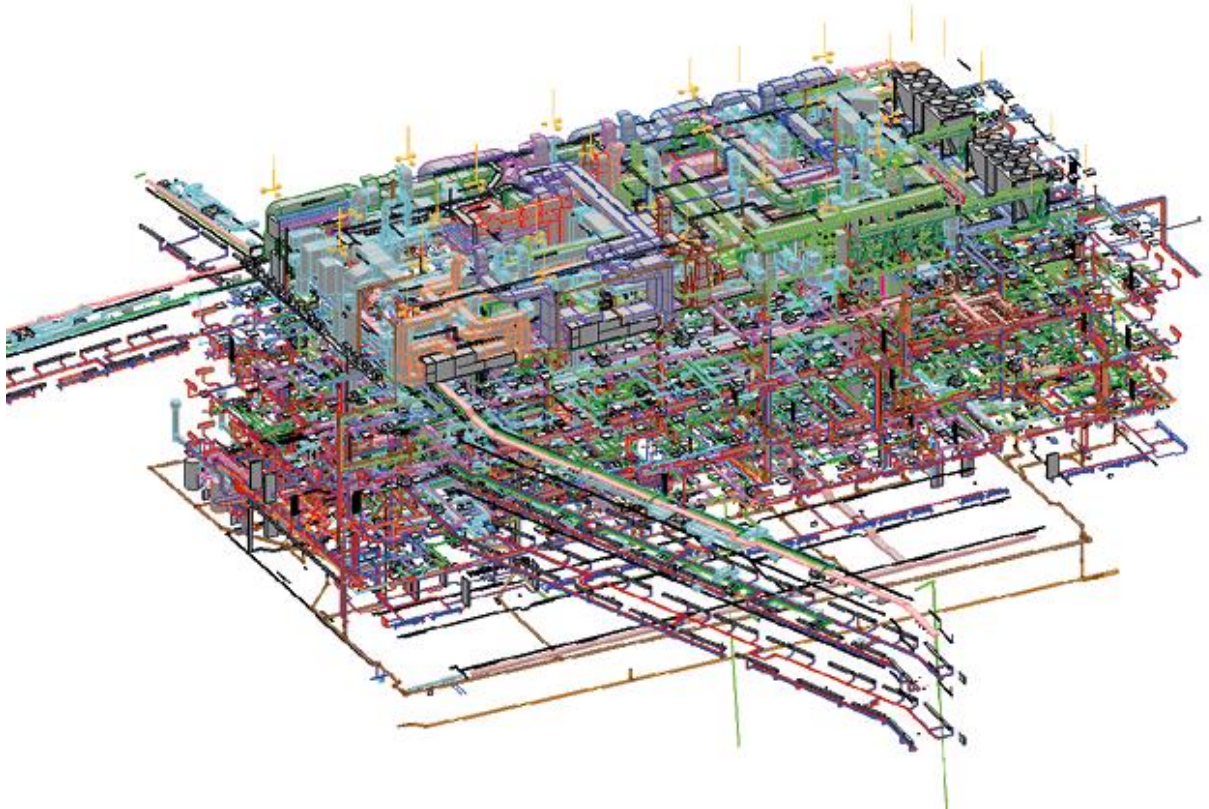
Jelikož se jedná o budovu v pasivním standardu, má budova velmi nízkou energetickou náročnost.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy je $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Průměrná potřeba tepla na vytápění budovy je $14 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$

Průměrná neobnovitelná primární energie je $116 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$

Průměrná potřeba chladu na chlazení budovy je $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$



Obrázek 7- Ukázka TZB rozvodů s využitím BIM [3]

Popis systémů TZB:

Nová část nemocnice využívá stávající areálovou kotelnu, ve které došlo k výměně kotlů. Zdrojem pro vytápění jsou 2 kogenerační jednotky a plynové parní kotle. Vytápění v budově zajišťuje teplovodní dvoutrubková soustava s oběhovým čerpadlem. Řízení teploty je regulováno ekvitermně.

Chlazení bude probíhat pomocí vzduchotechniky s vodním chladičem. Část místností má fan-coilové jednotky a přímé chlazení technologických prostor a elektrických rozvodů.

Větrání zajišťuje vzduchotechnická jednotka s rekuperačním výměníkem a s vlhčením bez rekuperace vlhkosti. V objektu se nachází několik zón větrání. Jednou z nich je kaskádová soustava přetlaků v čistých prostorech, kde přetlak postupně klesá se snižující se třídou čistoty. Nejvyšší třída čistoty se nachází



v operačních sálech, JIP a lůžkovém oddělení novorozenců. Sání a výfuk centrálních jednotek je řešen tak, aby nemohlo dojít ke zpětnému nasátí odpadního vzduchu. Vzduchotechnické jednotky jsou umístěny v nejvyšším podlaží ve společné strojovně v 5.NP.

Osvětlení je řešeno pomocí LED svítidel s řízením pomocí protokolu DALI. Systém je vybaven senzory osvětlení a pobytu osob.

Kanalizace je řešena jako oddílná. Dešťová voda je svedena do retenční nádrže a není jinak využívána.



2. Průvodní zpráva

2.1. Umístění objektu

Objekt se nachází na okraji města Litoměřice na nově vzniklých stavebních parcelách. V blízkosti je elektrická rozvodna, od které budou vybudovány nové sítě. Budova leží na parcele č. 5463/1 katastrálního území města Litoměřice. Podél parcely vede silnice druhé třídy. V jejím okolí se nyní nachází pole a z východního směru zmiňovaná elektrická rozvodna, čerpací stanice a další průmyslové budovy.

2.2. Okrajové podmínky místa stavby

Parcela je nyní vedena jako orná půda a je potřeba jí vyjmout z pozemkového fondu a převést jí na parcelu stavební. Územní plán města Litoměřice počítá s tím, že bude tento pozemek veden jako stavební parcela. Na okraji pozemku nyní rostou keře, které bude nutné vykácet pro vytvoření vjezdu a vjezdu na pozemek. Pozemek se nenachází v záplavovém území. Stavba svým charakterem nebude narušovat okolní prostředí. Pozemek není zasíťovaný a podmínkou pro převod na stavební pozemek je vybudování nových inženýrských sítí. V okolí budou vybudovány zpevněné plochy, po kterých bude zajištěn přístup personálu a přísun a odvoz vstupních a výstupních surovin a materiálů.

2.3. Účel stavby

Jedná se o novostavbu farmaceutického objektu, ve kterém bude probíhat příprava, příjem a výdej léčiv. Objekt bude mít 2 nadzemní podlaží.

2.4. Popis stavby

Novostavba modulární lékárny bude postavena z upravených lodních kontejnerů o rozměrech 3500x2990x3500 až 9000x3500x3500 mm. Celkové rozměry lékárny jsou 49 x 19 x 7 m. V 1.NP se nachází hlavní vstup do objektu, příjmy a výdaje léků, sklady materiálů a chemikálií, laboratoře, chlazený sklad, umývárny s mycími a dezinfekčními automaty, čisté prostory pro výrobu léčiv a sklady hořlavin se speciálními skříněmi s požární odolností. Ve 2.NP se nachází strojovna technických zařízení, zázemí pro pracovníky, šatny a koupelny, kanceláře a venkovní schodiště pro splnění bezpečnostních požárních předpisů.

2.5. Konstrukce

Zateplení objektu:

Podlaha: $U = 0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Stěny: $U = 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Střecha: $U = 0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

**Požární odolnosti:**

Stěny: REW 30 minut, materiálová skladba DP1

Strop: REI 15 minut, materiálová skladba DP1

Skladba podlah:

- Podlahovina PVC 2,5 mm / keramická dlažba R9 300x300mm v sanitární části
- Cementotřísková deska CETRIS 22 mm
- Sádrovláknitá deska 2x 12,5 mm
- Parotěsná fólie
- Tepelná izolace – minerální vata 120 mm
- Příčný nosník ocelový zinkovaný
- Uzavírací trapézový podlahový plech 0,4 mm
- Tepelná izolace – STYRODUR 30 mm
- PIR panel 50 mm
- Obvodový nosník ocelový zinkovaný

Skladba střechy:

- Horní rám – ocelový zinkovaný profil
- Trapézový plech střešní, pozinkovaný 0,7 mm
- Příčný nosník ocelový zinkovaný
- Tepelná izolace – minerální vata 220 mm
- Ocelový rastr
- Parotěsná fólie
- Sádrokartonová deska 12,5 mm
- Kazetový podhled 600x600 mm

Na střeše 1.NP je jako vrchní vrstva požitá hydroizolační folie se spádovými klíny z EPS.

Stěny:

Stěny jsou navrženy ze samonosných kovových sendvičových panelů tl. 52 mm. Panely jsou složeny z hliníkového rámu, pláštěm z pozinkovaného plechu s PVC folií a vyplněné minerální vatou. Všechny spáry budou zatmeleny silikonovým tmelem. V čistých prostorech bude celá konstrukce vodivě pospojována, včetně ocelového nábytku a uzemněna.

2.6. Počet uživatelů

V objektu se uvažuje s 60 zaměstnanci, kteří budou pracovat v jednosměnném provozu.



2.7. Klimatické podmínky

Meteorologické údaje:

- Léto: Teplota: $T_{e,max} = 32 \text{ °C}$
- Zima: Teplota: $T_{e,min} = -12 \text{ °C}$

Parametry vnitřního prostředí:

- Čisté prostory
 - Teplota: $T_i = 22 \pm 2 \text{ °C}$
 - Relativní vlhkost $\varphi = 30 - 60 \%$
- Ostatní prostory
 - Teplota: $T_i = 20 - 25 \text{ °C}$
 - Relativní vlhkost $\varphi = 30 - 60 \%$

2.8. Popis technického řešení jednotlivých systémů

2.8.1. Zásobování teplem

Vytápění je zajištěno 3 různými způsoby, viz. obrázek č. 8 a č. 9.

Rozvody jsou znázorněny ve výkresech č. 6 a č. 7.

V zeleně vyznačených místnostech je uvažována velká intenzita výměny vzduchu, která je dostačující pro udržení požadované teploty. Vytápění tedy zajišťuje vzduchotechnická jednotka.

V červeně vyznačených místnostech zajišťuje vytápění teplovodní, dvou trubkový systém s deskovými otopnými tělesy. Ohřev topné vody zajišťuje akumulární nádrž, která je napojena na tepelné čerpadlo vzduch-voda. Dohřev obstarává elektrická topná spirála. Tepelné čerpadlo pracuje se spádem 55/45 °C. Venkovní jednotka bude umístěna vedle technické místnosti na střeše 1.NP a vnitřní jednotka bude v technické místnosti ve 2.NP.

Přívodní a odvodní trubky k otopným tělesům povedou v izolační vrstvě podlahy nebo v podhledu. Materiál trubek bude z mědi, spojovaný měkkým pájením nebo lisováním. Na dlouhých trasách přímých úseků budou realizovány kompenzační smyčky. Veškeré potrubí, které nevede v izolační vrstvě podlahy bude opatřeno tepelnou izolací. Na větvích ústředního topení budou osazena elektronická čerpadla s třícestnými směšovacími ventily a armaturami. Každá větev bude samostatně regulována podle venkovní teploty pomocí ekvitermní regulace. Každé otopné těleso bude připojeno přes integrovaný termostatický radiátorový ventil s automatickým omezovačem průtoku, regulačním šroubením a termostatickou hlavicí.

V oranžově označených místnostech je instalován systém VRV, který bude použit v zimě pro vytápění a v létě pro chlazení. Využívá se tří trubkový systém, aby bylo možné místnosti navzájem nezávisle chladit nebo vytápět. Rozvody VRV systému

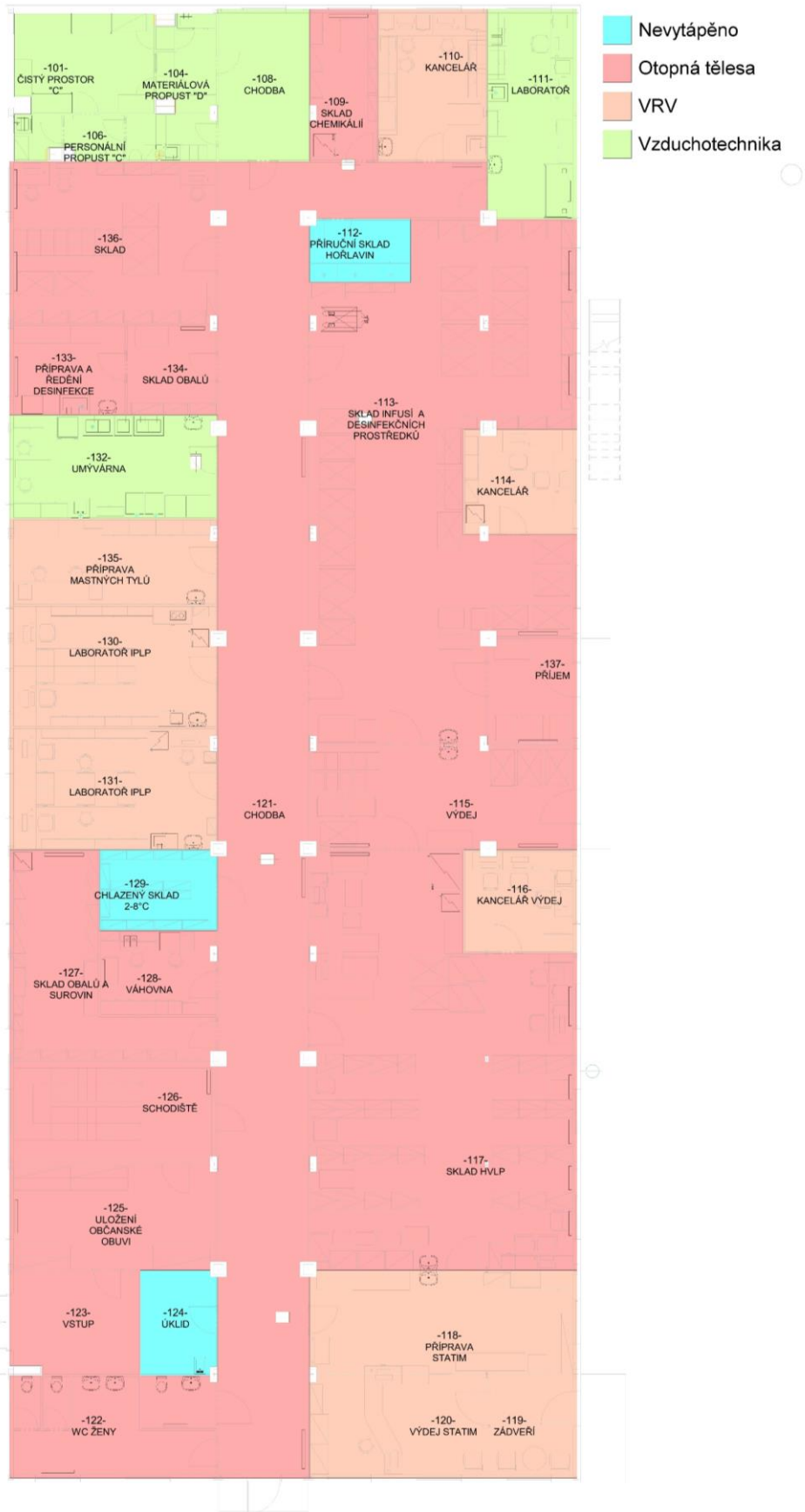


povedou pod stropem v 1.NP a v 2.NP. Venkovní jednotka bude umístěna vedle technické místnosti na střeše 1.NP.

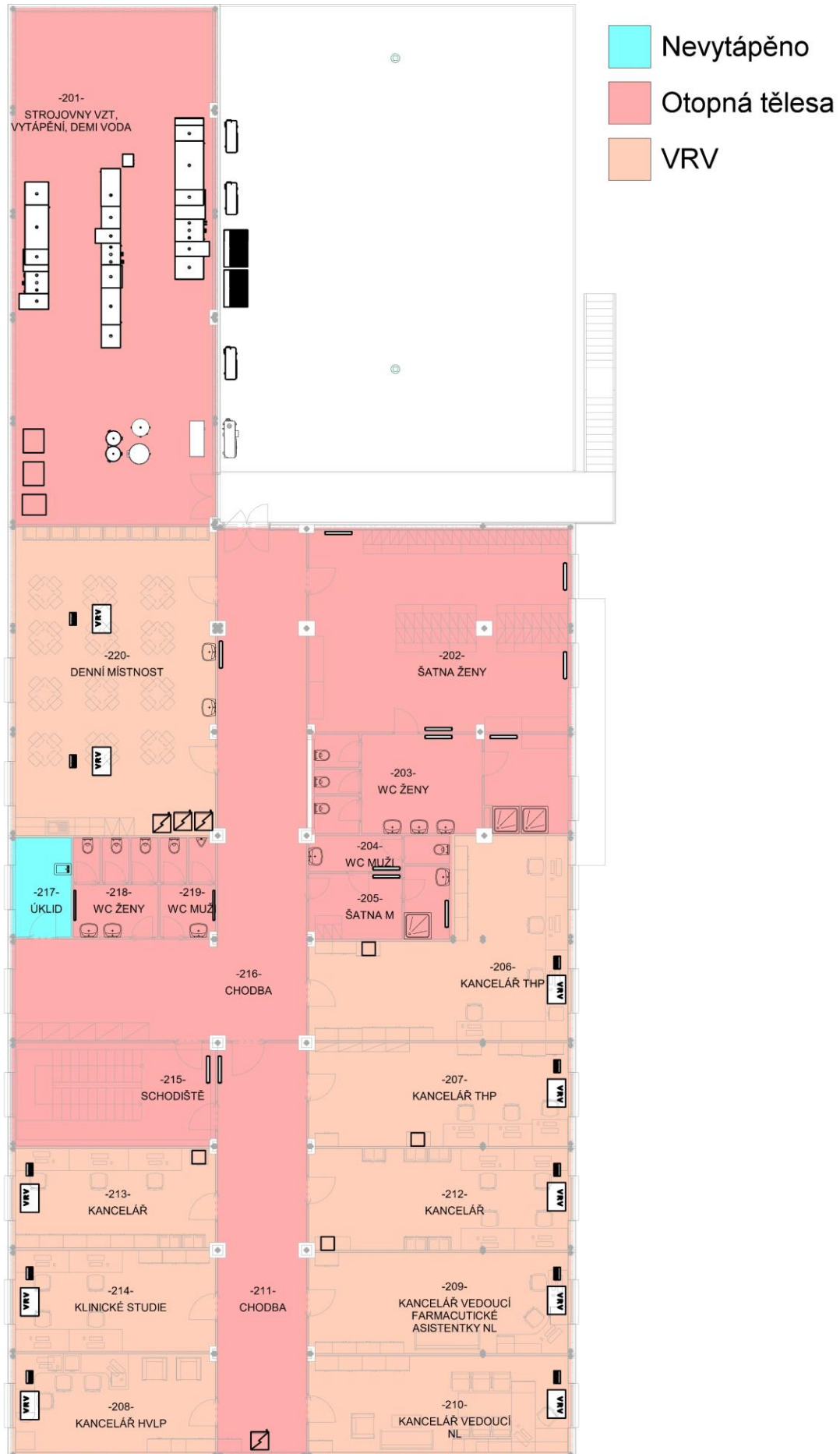
V modře vyznačených místnostech není uvažováno vytápění a předpokládá se infiltrace teplého vzduchu z okolních místností + teplý vzduch ze vzduchotechniky.

Seznam výkresů k části vytápění:

- ***Výkres č.6- Půdorys vytápění/chlazení 1.NP***
- ***Výkres č.7- Půdorys vytápění/chlazení 2.NP***



Obrázek 8- Rozdělení zón pro vytápění 1.NP



Obrázek 9- Rozdělení zón pro vytápění 2.NP



2.8.2. Zásobování chladem

Chlazení objektu budou zajišťovat vzduchotechnické jednotky. Každá vzduchotechnická jednotka má přímý výparník připojený k venkovní kondenzační jednotce. Propojení vzduchotechnické jednotky a kondenzační jednotky je navrženo měděným potrubím, které je v celé své délce izolováno. Venkovní jednotky budou osazeny na samostatné ocelové konstrukci na střeše 1.NP.

V oranžově zvýrazněných místnostech v obrázcích č. 8 a 9 zajišťuje dodatečné chlazení VRV systém. Každá vnitřní jednotka VRV systému bude vybavena dálkovým ovládáním teploty a průtoku vzduchu. Venkovní jednotky jsou na samostatné ocelové konstrukci na střeše 1.NP. Chladivové rozvody budou vedeny pod stropem 1.NP a 2.NP. Veškeré rozvody budou z měděného bežešvého potrubí, odkysličené kyselinou fosforečnou. Jako izolace bude použita polyetylenová pěna tloušťky minimálně 15 mm.

Chlazení skladu č. 129 zajišťuje samostatná chladicí jednotka umístěná na střeše 2.NP. Celý systém je 100% zálohovaný druhou jednotkou chlazení.

Seznam výkresů k části chlazení:

- **Výkres č.6- Půdorys vytápění/chlazení 1.NP**
- **Výkres č.7- Půdorys vytápění/chlazení 2.NP**

2.8.3. Zásobování elektřinou

Silnoproudé rozvody:

Napojení objektu na elektrickou síť bude provedeno kabely potřebné dimenze z přípojkové skříně, která je umístěna ve sloupku na hranici pozemku. Kabely se napojí na pojistkové vývody s dostatečnou rezervou na přívodním kabelu. Z přípojkové skříně povede kabel CYKY-J 4x35 do vnitřního elektroměrového rozvaděče. Odtud povede napojení na hlavní rozvaděč, který je umístěn v technické místnosti a z kterého povedou jednotlivé okruhy k elektrickým zařízením, případně k podružným rozvaděčům. Pro zásuvkové okruhy bude použit kabel CYKY-J 3x2,5 a pro světelné obvody CYKY-J 3x1,5. Pro ostatní spotřebiče, které nelze napojit na zásuvku, bude použit kabel dle údaje uvedeného v technickém listu zařízení.

Osvětlení:

Osvětlení je navrženo dle ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení. Ovládání světel je pomocí kolébkových vypínačů umístěných na stěnách u vstupu do místností. Pro osvětlení budou použita LED svítidla. Nouzové osvětlení zajišťují speciální svítidla napojené na vlastní baterii.

**Slaboproudé rozvody:**

V čistém prostoru bude u vstupních dveří do jednotlivých tříd čistoty instalován systém pro signalizaci stavu otevření dveří a systém zabraňující možnosti otevření vnitřních a vnějších dveří současně. Stav otevření bude snímán optickými snímači, které jsou umístěné v zárubních dveří.

Pro projení zařízení jako jsou počítače, tiskárny, telefony, technologické zařízení apod., bude vytvořena síť se strukturovanou kabeláží. V každé pracovní místnosti bude minimálně 1 datová zásuvka s RJ45 konektorem.

Elektrická požární signalizace:

V objektu bude instalován systém elektronické požární signalizace. V místnostech budou osazeny senzory plameny a kouře.

Elektrická zabezpečovací signalizace:

Veškeré vstupní otvory budou osazeny magnetickými kontakty. V místnostech budou detektory tříštění skla. Na chodbách a vybraných místnostech budou pasivní infračervené detektory pohybu v kombinaci s mikrovlnnými snímači. Narušení bude signalizováno opticky a akusticky. Systém bude napojen na pult centralizované ochrany.

Elektronická kontrola vstupu:

Veškeré dveře na hranici veřejných a personálních zón budou vybaveny systémem kontroly vstupu. Každý zaměstnanec bude mít vlastní vstupní kartu. Čtečka karet bude umístěna vedle dveří.

Ochrana proti blesku:

Objekt bude opatřen novým oddáleným hromosvodem podle platných norem ČSN EN 62305-1_4. Uzemnění bude provedeno v základových pásech.

2.8.4. Zásobování vodou

Rozvod studené vody bude napojen na novou vodovodní přípojku. Za vodoměrnou sestavou, umístěné v šachtě v místnosti č.123 „Vstup“, bude potrubí vyvedeno pod strop 1.NP. Hlavní rozvod bude nad chodbou, z které povedou odbočky k jednotlivým místům spotřeby. K zařizovacím předmětům v 1.NP povedou stěnou směrem dolů, k zařizovacím předmětům ve 2.NP povedou stěnou směrem nahoru. Z chodby bude vyvedena odbočka do technické místnosti k přípravě teplé vody a do zvlhčovačů vzduchotechniky.

Teplá voda bude ohřívána pomocí tepelného čerpadla vzduch-voda a podle potřeby dohřívána topnou spirálou v elektrickém bojleru. Teplá voda bude vedena stejně jako studená voda pod stropem a větvena do jednotlivých míst spotřeby. Na hlavní páteřní rozvod teplé vody bude napojeno cirkulační potrubí.



Veškeré rozvody teplé, studené a cirkulační vody budou izolovány polyetylénovou izolací. Materiál trubek je z PPR-CT (EVO). Na rozvodech teplé a cirkulační vody jsou navrženy dilatační smyčky. Rozvod vody bude mít vlastní zavěšení, vhodné pro plastové potrubí.

Sklon potrubí bude 0,3 %, tak aby se veškeré rozvody daly vypustit.

Po provedení montážních prací bude provedena technická prohlídka a provedena tlaková zkouška vodovodu dle ČSN 73 66600.

V objektu budou rozvody požární vody do hydrantových skříní s tvarově stálou hadicí DN25/30. Umístění hydrantových skříní bude podle požadavků požárního specialisty. Zkouška požárního vodovodu bude provedena podle ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb- zásobování požární vodou.

Seznam příloh k části vnitřní vodovod:

- **Výkres č.4- Půdorys vodovodu 1.NP**
- **Výkres č.5- Půdorys vodovodu 2.NP**

2.8.5. Způsob likvidace odpadních vod

Kanalizace je rozdělena na splaškovou a dešťovou. Infekční kanalizaci není v tomto objektu nutné realizovat.

a) Splašková kanalizace:

Splašková kanalizace je navržena jako gravitační. Ležaté potrubí bude vedeno pod objektem a bude odvádět splaškové vody ze zařizovacích předmětů a od vzduchotechnických zařízení. Před objektem bude vedení napojeno na nově vybudovanou kanalizační přípojku. Ze 2. NP bude odpadní voda odváděná přes přípojovací potrubí napojené na svislé odpadní potrubí. Přípojovací potrubí z 2.NP bude vedeno v instalačních předstěnách nebo bude svedeno pod strop 1.NP. V nejnižším místě svislého odpadního potrubí bude umístěná čistící tvarovka a každá stoupačka bude odvětrávána na střechu budovy. Veškeré splaškové potrubí bude ve sklonu min. 3%.

b) Dešťová kanalizace:

Dešťová voda bude odváděna přes střešní vpusti napojené na vnitřní svislé odpadní potrubí. To bude napojeno na ležaté potrubí, které ústí v areálu lékárny do podzemní retenční nádrže. Veškeré rozvody budou ve sklonu min. 1%.

Materiál odpadního potrubí bude z PP-HT a ležaté potrubí z PVC-KG

Po provedení montážních prací bude provedena technická prohlídka a provedeny tlakové zkoušky vnitřní kanalizace dle ČSN 75 6760.

Seznam příloh k části kanalizace:

- **Výkres č.1- Půdorys kanalizace 1.NP**
- **Výkres č.2- Půdorys kanalizace 2.NP**
- **Výkres č.3- Půdorys kanalizace střecha**



2.8.6. Koncepce větrání a úpravy vzduchu

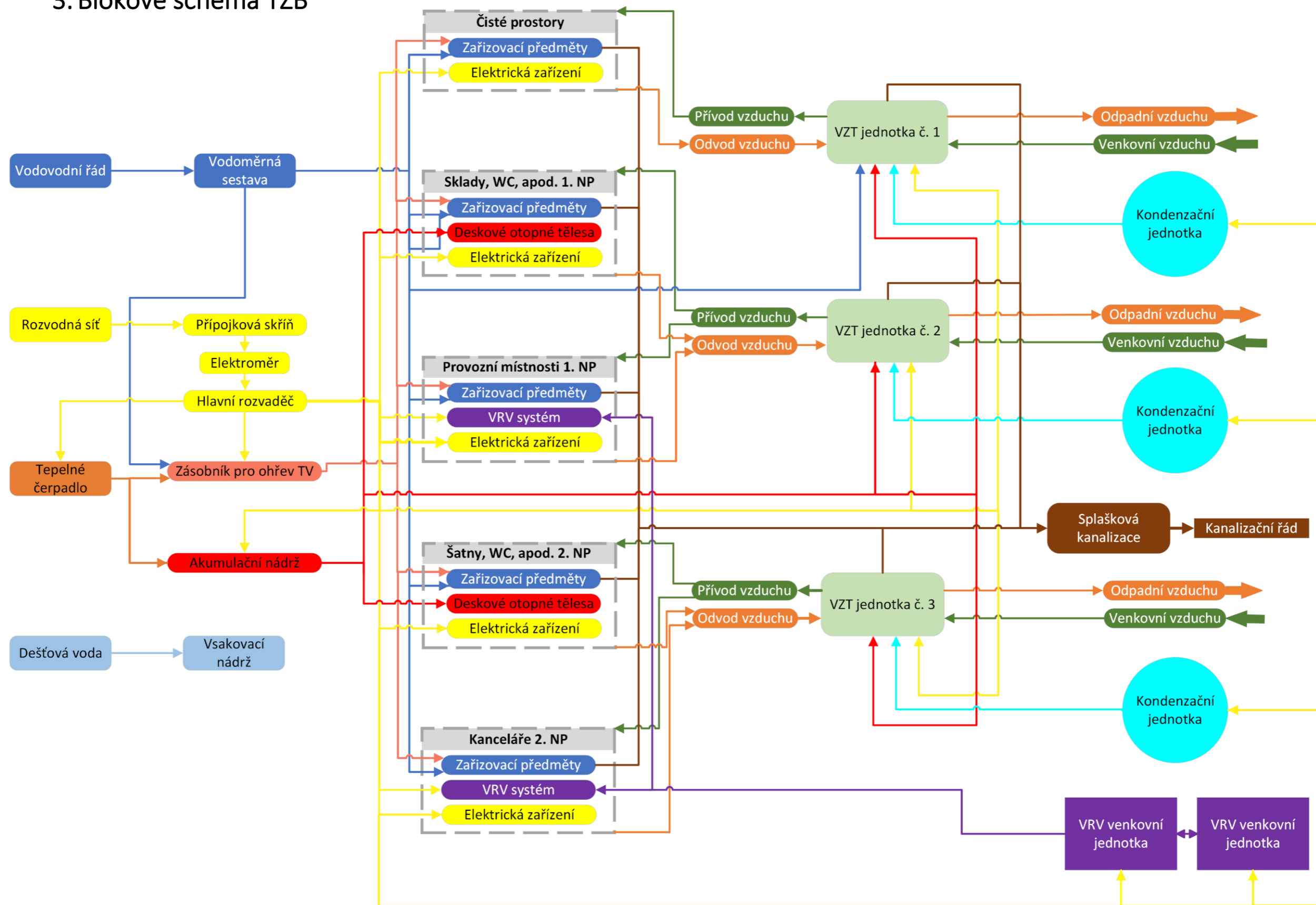
Větrání lékárny je řešeno několika systémy. V kancelářích a některých pracovnách je zvolen rovnotlaký systém, kdy v každé místnosti bude vhodně zvoleno rozmístění přívodních a odvodních elementů, tak aby rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně nepřesáhla 0,25 m/s a nedocházelo k pocitu průvanu. WC a koupelny budou řešeny podtlakově, tj. bude v nich pouze odvod. Celkové vyrovnání tlaků bude přes chodby, kam bude přiváděn vzduch, který dorovná průtok odsávaného vzduchu. V čistých prostorech je navržen přetlakový systém, tak aby místnost s nejnižší třídou čistoty byla v přetlaku alespoň 10 Pa. S rostoucí třídou čistoty roste i velikost přetlaku. V objektu jsou navrženy 3 vzduchotechnické jednotky. Vzduchotechnická jednotka č.1 bude pouze pro čisté prostory, vzduchotechnická jednotka č.2 bude pro ostatní místnosti v 1.NP a jednotka č. 3 bude pro místnosti ve 2.NP.

V místnostech 111 a 132 je dodatečný odtah pomocí technologických digestoří. V místnostech č. 109 a 112 je pouze odtah samostatným ventilátorem na střechu budovy.

Detailní návrh větrání a klimatizace je popsán ve druhé části této diplomové práce!



3. Blokové schéma TZB





4. Půdorysy:

Seznam výkresů:

- Výkres č.1- Půdorys kanalizace 1.NP
- Výkres č.2- Půdorys kanalizace 2.NP
- Výkres č.3- Půdorys kanalizace střecha
- Výkres č.4- Půdorys vodovodu 1.NP
- Výkres č.5- Půdorys vodovodu 2.NP
- Výkres č.6- Půdorys vytápění/chlazení 1.NP
- Výkres č.7- Půdorys vytápění/chlazení 2.NP



5. Základní výpočty vodovodu a kanalizace

5.1. Vodovod

Průměrná denní potřeba vody:

$$Q_p = q \cdot n = \frac{18000}{365} \cdot 60 = 2959 \text{ l/d}$$

q specifická potřeba vody [l/(j.d)]
(18 m³ za rok na 1 pracovníka v lékárně dle vyhlášky č.120/2011 Sb.)

n počet jednotek [osoby]

Maximální denní potřeba vody:

$$Q_d = Q_p \cdot k_d = 2959 \cdot 1,5 = 4438 \text{ l/d}$$

Q_p průměrná denní potřeba vody [l/den]

k_d součinitel denní nerovnoměrnosti [-]

Maximální hodinová potřeba vody:

$$Q_h = Q_d \cdot k_h \cdot z^{-1} = 4438 \cdot 2,1 \cdot 10^{-1} = 932 \text{ l}$$

Q_d maximální denní potřeba vody

k_h součinitel hodinové nerovnoměrnosti (soustředěná zástavba = 2,1) [-]

z doba čerpání vody (nebytové objekty 10-12 hod)

Stanovení výpočtového průtoku:

$$Q_D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{Ai}^2 \cdot n_i)} = \sqrt{1,91} = 1,38 \text{ l/s}$$

Q_{Ai} výpočtový průtok [l/s]

n_i počet zařizovacích předmětů [-]

Zařizovací předmět	Počet	Výpočtový odtok DU [l/s]	Σ DU	Q_A [l/s]	ΣQ_A^2
Dřez	11	0,8	8,8	0,2	0,44
Umyvadlo	24	0,5	12	0,2	0,96
Výlevka	3	1,5	4,5	0,2	0,12
WC	11	2	22	0,15	0,2475
Pisoár	1	0,2	0,2	0,15	0,0225
Sprcha	3	0,6	1,8	0,2	0,12
Celkem			49		1,91

**Předběžný návrh světlosti potrubí vodovodní přípojky:**

$$Q_v = S \cdot v$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot v}}$$

$$d_i = 35,7 \cdot \sqrt{\frac{Q_v}{v}} = 35,7 \cdot \sqrt{\frac{1,38}{2}} = 29,7 \text{ mm}$$

Q_v	Výpočtový průtok [l/s]
v	průtočná rychlost (doporučená rychlost pro plast. Potrubí 2 m/s)
S	plocha průřezu potrubí [m ²]
D_i	vnitřní průměr potrubí [m]

Návrh vodovodní přípojky HDPE 100 RC 40x3,7 SDR111**5.2. Kanalizace**

Zařizovací předmět	Počet	Výpočtový odtok DU [l/s]	ΣDU	Q_A [l/s]	ΣQ_A^2
Dřez	11	0,8	8,8	0,2	0,44
Umyvadlo	24	0,5	12	0,2	0,96
Výlevka	3	1,5	4,5	0,2	0,12
WC	11	2	22	0,15	0,2475
Pisoár	1	0,2	0,2	0,15	0,0225
Sprcha	3	0,6	1,8	0,2	0,12
Celkem			49		1,91

Výpočtový průtok splaškových odpadních vod:

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU} = 1 \cdot \sqrt{49} = 7 \text{ l/s}$$

Q_{ww}	výpočtový průtok splaškové vody [l/s]
K	součinitel odtoku viz ČSN EN 12 056-2 [-]
ΣDU	součet výpočtových odtoků [l/s]

Návrh hlavního ležatého potrubí: DN 125

Posouzení: Q_{dov} pro DN 125=8,0 l/s > 7 l/s → Vyhovuje

Návrh kanalizační přípojky: DN 150

Posouzení: Q_{dov} pro DN 150=13,0 l/s > 7 l/s → Vyhovuje

Minimální dimenze kanalizační přípojky dle ČSN 12 0562 je DN 150.

**Výpočtový odtok dešťových odpadních vod ze střechy:**Plocha střechy 2.NP: $A = 731,9 \text{ m}^2$ Plocha střechy 1.NP: $A = 210,0 \text{ m}^2$

$$Q_{r1} = i \cdot C \cdot A = 0,03 \cdot 1 \cdot 731,9 = 21,96 \text{ l/s}$$

$$Q_{r2} = i \cdot C \cdot A = 0,03 \cdot 1 \cdot 210,0 = 6,30 \text{ l/s}$$

i intenzita deště, pro střechy 0,03 [l/s.m²]*C* součinitel odtoku – závisí na sklonu a materiálu krytiny*A* účinná plocha střechy = půdorysný průmět [m²]**Návrh hlavního dešťového potrubí z 2.NP: DN 150**Posouzení: Q_{dov} pro DN 150=25 l/s > 22,0 l/s → Vyhovuje**Návrh hlavního dešťového potrubí z 1.NP: DN 100**Posouzení: Q_{dov} pro DN 100=8,1 l/s > 6,3 l/s → Vyhovuje**Výpočet retenční nádrže:**

Průměrný roční úhrn srážek na území ústeckého kraje za posledních 10 let:

 $j = 611 \text{ mm/rok}$ **Množství zachycené vody:**

$$Q = \frac{j \cdot P \cdot f_s \cdot f_f}{1000} = \frac{611 \cdot (731,9 + 210) \cdot 1 \cdot 0,9}{1000} = 518 \text{ m}^3/\text{rok}$$

j množství srážek [mm/rok]*P* využitelná plocha střechy [m²]*f_s* koeficient odtoku střechy [-]*f_f* koeficient filtru mechanických nečistot [-]**Dimenzování nádrže podle srážek:**

$$V_p = z \cdot \frac{Q}{365} = 20 \cdot \frac{518}{365} = 28,4 \text{ m}^3$$

Q množství srážek za rok [m³/rok]*z* koeficient optimální velikosti nádrže [-]**Návrh retenční nádrže o objemu 30 m³.**



6. Teoretická část návrhu vzduchotechniky

6.1. Proč větrat?

Pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí je nutností využívat nuceného větrání budov. V dnešní době, s rostoucí cenou energií, se správný návrh systémů TZB může velmi výrazně podepsat na celkové spotřebě energií budovy. Největší vliv na to má právě větrání, protože bez kvalitního vzduchu nikdy nebude v místnosti příjemně a zároveň přímo ovlivňuje, kolik energie budeme muset dodat na vytápění, a nebo chlazení. Pokud jsou otevřená okna, do místnosti sice čerstvý vzduch dostaneme, ale tento způsob bude fungovat pouze na jaře a na podzim, kdy je venku okolo 20 °C. Pokud bude tento způsob větrání zvolen v zimě, tak dojde ke ztrátě velkého množství tepla a místnost bude muset být opět drazě vytápěna. V létě je případ stejný, akorát bude potřebovat více energie na chlazení, které je provozně ještě náročnější než vytápění. Zároveň pokud je v budově navržen chytřejší systém výměny vzduchu, může být větrání ovládáno např. podle množství CO₂. Produkce CO₂ je u člověka v klidu 13 l/h a u pracujícího 77 l/h. Dojde k výdechu 133x více CO₂, než je vdechnuto. Pokud je v místnosti příliš vysoká hladina oxidu uhličitého dochází k postupné únavě organismu, pálení očí, bolestem hlavy a ztrátě koncentrace. Z těchto důvodů je vhodné instalovat nucené větrání s rekuperačním výměníkem tepla.

6.2. Způsoby větrání

6.2.1. Přirozené větrání

Jedná se o nejméně vhodné větrání otevřením oken a větracích otvorů. Dochází k velké ztrátě tepelné energie v zimě a k velkým tepelným ziskům v létě. Zároveň dochází k velkému přenosu hluku z venkovního prostředí, což může být zejména ve městech velmi nepříjemné. Větrání může probíhat pomocí vztlaku, kde hybnou silou pro výměnu vzduchu je diferenciální rozdíl tlaku vzduchu vlivem rozdílu měrných hmotností vnitřního a venkovního vzduchu o různé teplotě. Vítr proudící okolo budovy podporuje proudění vzduchu v budově. Na návětrné straně působí tlakem přímo do místnosti, na závětrné straně působí podtlakem na místnost.

Rozdělení přirozeného větrání:

- Infiltrací – ve starších stavbách probíhá poměrně intenzivně vlivem netěsností konstrukcí. V novostavbách a rekonstrukcích, kde je požadavek na těsnost obálky budovy, se dá infiltrace zajistit pomocí provětrávacích mřížek v oknech.
- Provětrávání – pomocí otevření oken, neefektivní.
- Šachtové – využívá se komínového efektu šachty uvnitř budovy. Podmínkou je dostatečně vysoká šachta.
- Jednostranné – přívod i odvod vzduchu je stejným otvorem.



- Příčné provětrávání – vzduch proudí napříč budovou. Přívodní a odvodní otvory jsou v jiné části budovy. Je potřeba zajistit, aby vzduch mohl budovou pronikat, buď otevřenými dveřmi nebo větracími mřížkami ve dveřích.
- Noční chlazení – vhodné řešení pouze pro letní měsíce. Je nutná velká tepelná kapacita vnitřních konstrukcí a velká intenzita výměny vzduchu.

6.2.2. Nucené větrání

Nucené větrání zajišťuje mechanický ventilátor. Ventilátor musí být schopen dopravit požadované množství vzduchu a překonat tlakovou ztrátu potrubí a dalších prvků vložených do potrubí.

Proudění vzduchu v potrubí může být laminární nebo turbulentní. Ve vzduchotechnice se v naprosté většině případů vyskytuje turbulentní proudění. Laminární proudění se vyznačuje jako soustava vrstev tekutiny, která se přes sebe přesouvají bez průniku částic mezi jednotlivými vrstvami. Rychlost proudu je uprostřed nejvyšší a směrem k okrajům se zpomaluje. U turbulentního proudění vznikají prostorové víry a dochází k intenzivnímu promíchání částic, vrstvení v tomto proudění neexistuje a rychlost proudění je napříč průřezem stejná nebo velmi podobná. K přechodu mezi laminárním a turbulentním prouděním dochází po dosažení kritické rychlosti Re_{krit} .

Výpočet probíhá pomocí následujícího vzorce:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} [-]$$

v	<i>rychlost proudění vzduch</i>
d	<i>průměr potrubí</i>
ν	<i>dynamická viskozita vzduchu</i>

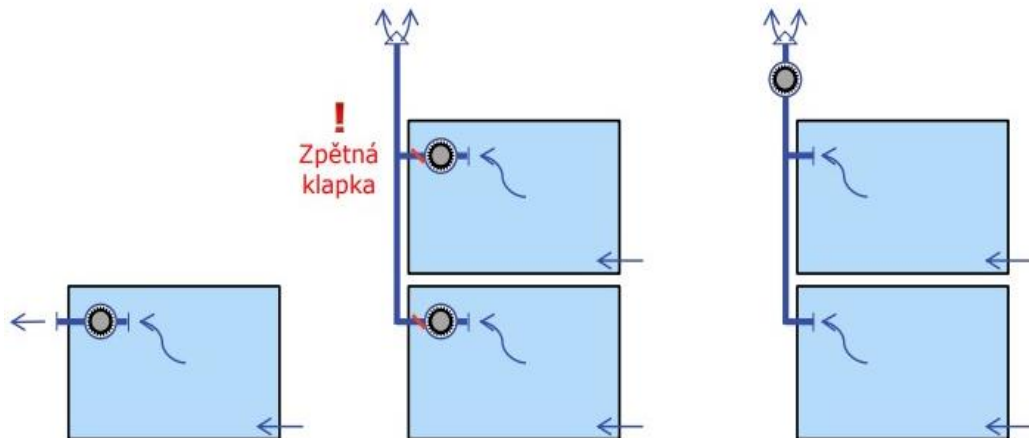
Kritická hodnota pro vzduch je $Re_{krit} = 2300$. Pokud je hodnota $Re < 2300$ nastává laminární proudění, pokud je větší nastává turbulentní.

6.2.3. Podtlakový systém

Z prostoru je odváděno více vzduchu, než je do něj přiváděno. Tento systém se využívá zejména v místnostech, kde vzniká velké množství škodlivých látek, vodní páry, pachů apod., jako je např. WC nebo koupelna. V těchto místnostech je umístěn ventilátor, který odvádí vzduch z místnosti do venkovního prostoru. Pro vyrovnání tlaků se využívá prostupu vzduchu přes větrací mřížky nebo mezery pod dveřmi z okolních místností. Ostatní místnosti musí mít osazeny větrací mřížky pro přívod čerstvého vzduchu. Při využití odsávání více místností a odvodem společným potrubím je nutné umístit za každý ventilátor zpětnou klapku, aby nedošlo k průniku odpadního vzduchu do místnosti, pokud zrovna není ventilátor v provozu. Regulace může probíhat ručně, např. tlačítkem on/off na stěně místnosti nebo společným spínačem na osvětlení. Ventilátor potom běží pouze pokud je v místnosti rozsvíceno. Existuje i chytřejší systém, který snímá



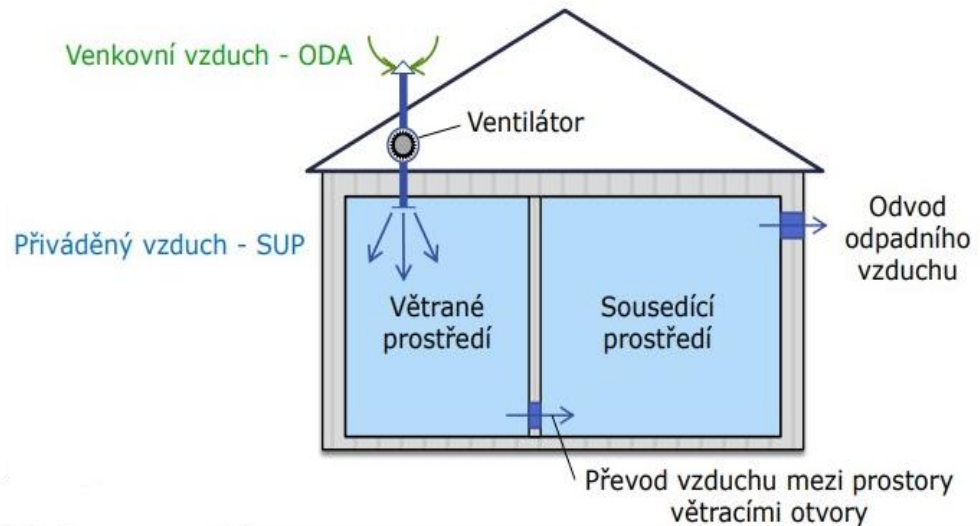
množství škodlivin (většinou CO₂ nebo relativní vlhkost) ve vzduchu a podle toho se zapíná nebo vypíná. Výhodou tohoto systému je zejména jeho cena, stačí k tomu 1 malý ventilátor a kus potrubí a systém funguje. Další výhodou je rychlá doba náběhu. Odvod funguje okamžitě po přijetí signálu ke spuštění. Velkou nevýhodou je hlučnost, tento systém jde špatně odhlučnit a hodí se pouze do nepobytových místností.



Obrázek 11- Systém podtlakového větrání [4]

6.2.4. Přetlakový systém

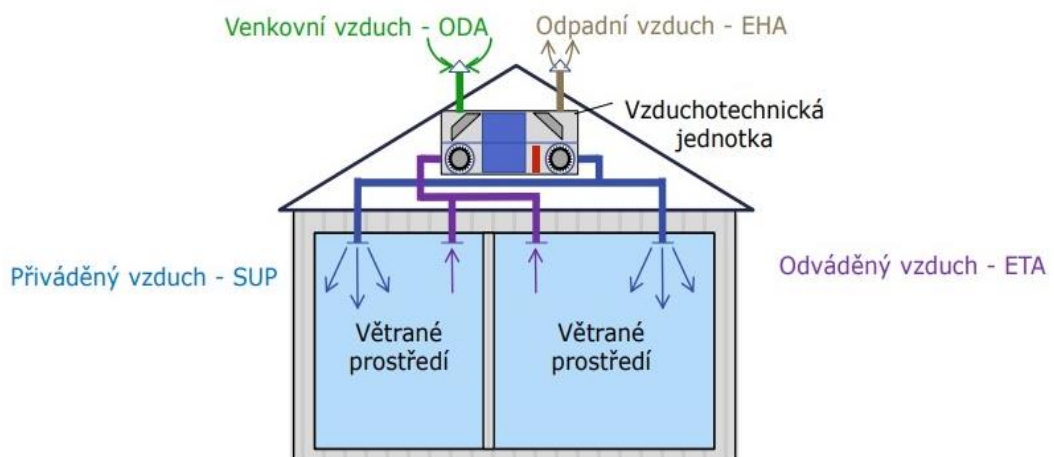
Opačným způsobem, než je popsáno v předchozím bodě, je větrání pomocí přetlaku. Do obytné místnosti je přiveden čerstvý vzduch, který vytěsňuje odpadní vzduch do další, ideálně podřadné místnosti jako je např. chodba, odkud je odváděn přes větrací mřížky pryč z objektu. Výhodou tohoto systému je, že lze lépe regulovat množství přiváděného vzduchu, pokud je nasáván vzduch na severní straně, lze díky tomu v létě chladit přehřívanou místnost. Jedná se opět o velice levný a nenáročný systém. Velkou nevýhodou je riziko průvanu, jelikož do prostoru přivádíme vzduch, který je většinou výrazně chladnější, než je vzduch uvnitř místnosti a můžeme pociťovat průvan. Stejně jako v minulém případě jde opět o hlučný systém. Tohoto systému se využívá v čistých prostorech, kde díky tomu dojde k zamezení průniku vzduchu z okolních prostor. Detailněji je tato aplikace popsána v praktické části mé diplomové práce. Tato aplikace už ale není jednoduchou a levnou záležitostí, jako při užití v „obyčejné“ místnosti.



Obrázek 12- Systém přetlakového větrání [4]

6.2.5. Rovnotlaký systém

Při použití tohoto systému nevzniká rozdíl tlaků mezi místnostmi, jelikož přivádíme a odvádíme stejné množství vzduchu. Je zapotřebí vzduchotechnická jednotka. Tento systém se využívá většinou u obytných místností. Dá se regulovat množství větracího vzduchu. Velmi často se využívá rekuperace, kdy odváděný vzduch předá tepelnou energii přiváděnému vzduchu a sníží se tak energetická náročnost budovy. Dále se dají přidat do vzduchotechnické jednotky další úpravy vzduchu, jako jsou ohřev, chlazení, vlhčení, odvlhčení, filtrace, atd. Při správném návrhu tohoto typu větrání nedochází k pocitu průvanu a systém není tak hlučný jako předchozí typy. Nevýhodou je výrazně vyšší cena, složitější rozvody potrubí a náročnější provoz na obsluhu. Můžeme mít jednu jednotku pro jednu místnost nebo pro celou budovu.



Obrázek 13- Systém rovnotlakého větrání [4]

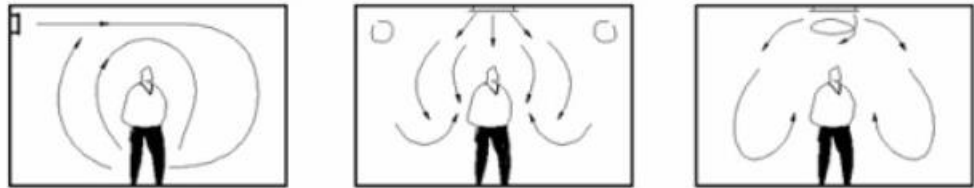


6.3. Distribuce vzduchu

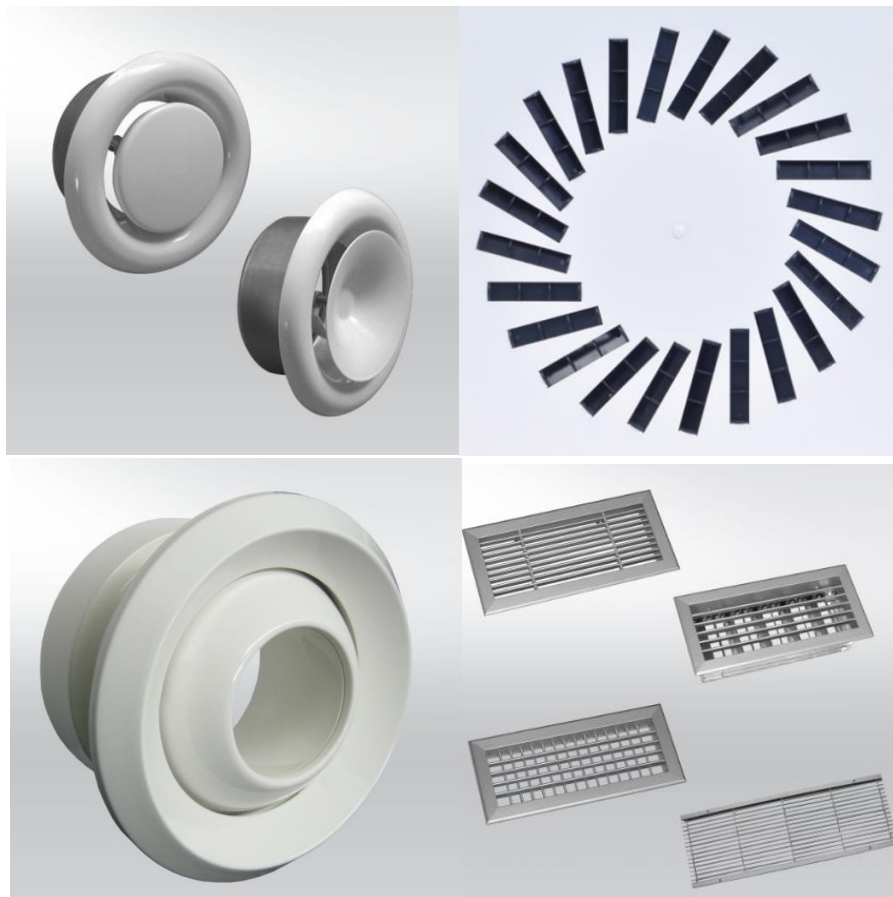
Distribuci vzduchu můžeme roztřídit podle 3 základních způsobů.

1) Směšovací systém

V prostoru dochází k míšení stávajícího vzduchu s čerstvým přivodním vzduchem. Škodliviny se rovnoměrně naředí po celém objemu místnosti. Distribučními elementy pro tento typ distribuce jsou např. talířové ventily, vířivé anemostaty, štěrbinové vyústky, dýzy.



Obrázek 14- Směšovací systém [6]



Obrázek 15- Talířový ventil, anemostat, dýza, štěrbinová vyústka [8]

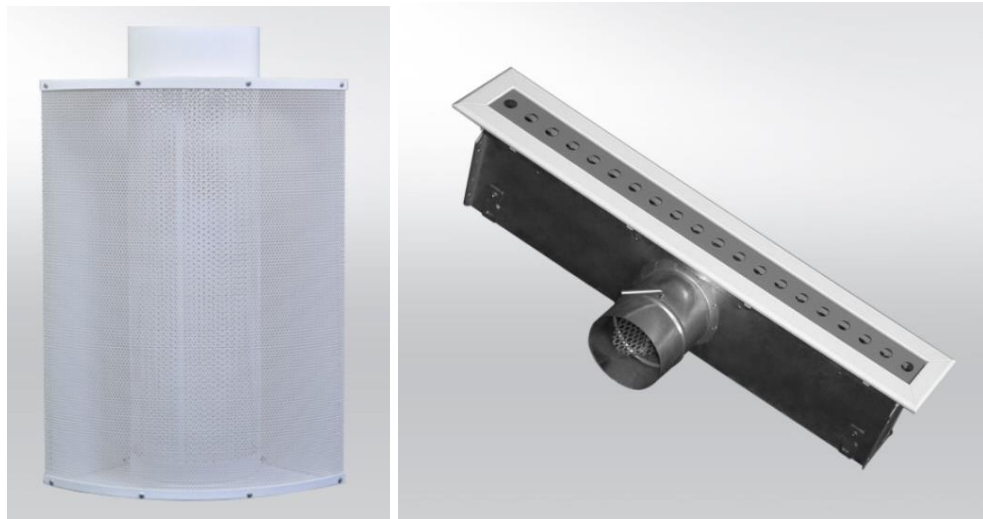


2) Zaplavovací systém

Tento typ šíření vzduchu se využívá např. v kino sálech, kde se přivádí čerství vzduch z pod sedaček. Vzduch musí proudit velice pomalu, aby se předešlo pocitu průvanu, jelikož musí být o 1 až 3 K chladnější, než je vzduch v místnosti, o osoby v sále se ohřeje a stoupá směrem vzhůru, kde je odsáván. Jako distribuční element se využívá např. velkoplošná výúst, nebo široké štěrbinové výústky.



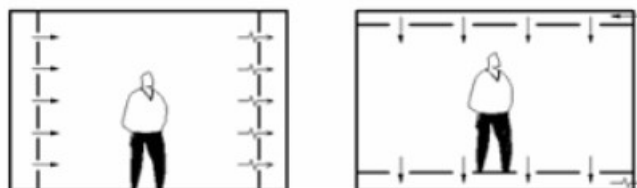
Obrázek 16- Zaplavovací systém [6]



Obrázek 17- Velkoplošná výústka, štěrbinová výústka [8]

3) Usměrněné proudění

Tento typ průběhu vzduchu se využívá zejména v operačních sálech nebo v jiných velice čistých prostorech. Princip spočívá na velkoplošném přivádění a odvádění vzduchu. Na jedné straně je vzduch do místnosti přiváděn, na druhé straně odváděn. Lze využít i svislý proud. Ze stropu je vzduch přiváděn, podlahou odváděn.



Obrázek 18- Usměrněné proudění [6]



6.4. Filtrace vzduchu

Filtraci vzduchu je nutné provádět, protože venkovní vzduch může obsahovat velké množství nečistot, ať už ve formě tuhých, kapalných nebo plynných skupenství. Účelem filtrace je snížit koncentraci znečišťujících látek v přiváděném vzduchu pod limitní hodnoty, které jsou definované hygienickými nebo technologickými požadavky. Podle náročnosti čistoty v dané místnosti je zvolena kvalita filtračního média nebo kombinace filtračních médií. Pro tuhé nebo kapalně nečistoty se využívají mechanické filtry ve formě jemných vláken, zrn nebo pórů, případně elektrické filtry. Plyny, páry a pachy se odlučují z přiváděného vzduchu pomocí sorpčních filtrů.

Skupina	Třída	Konečná tlaková ztráta [Pa]	Střední odlučivost A_m [%]	Střední odlučivost E_m [%]
Hrubý	G1	250	$A_m < 65$	
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	
	G4	250	$90 \leq A_m$	
Jemný	F5	450		$40 \leq E_m < 60$
	F6	450		$60 \leq E_m < 80$
	F7	450		$80 \leq E_m < 90$
	F8	450		$90 \leq E_m < 95$
	F9	450		$95 \leq E_m$

Tabulka 1-Třídění filtrů pro běžné větrání [14]

Vysoceúčinné filtry		
Skupina	Třída	Odlučivost [%]
HEPA	H 10	85
	H 11	95
	H 12	99,5
	H 13	99,95
	H 14	99,995
ULPA	U 15	99,9995
	U 16	99,99995
	U 17	99,999995

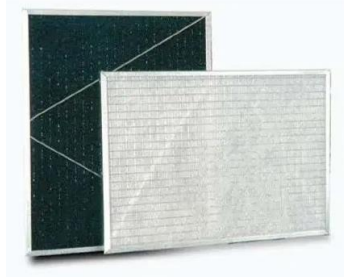
Tabulka 2- Třídění vysoceúčinných filtrů [14]



6.4.1. Konstrukce filtrů

- **Rámečkové**

Mají kovový rám, ve kterém je osazena plochá filtrační vrstva ze syntetických vláken. Tento typ konstrukce se vyrábí pro filtry třídy G1 až G3.



Obrázek 19- Rámečkové filtry [15]

- **Kapsové**

Jedná se o filtry z netkané textilie sešitých do kapes délky až 600 mm. Vlákná mohou být syntetické nebo skleněné. Požívají se pro třídy G3 až F9.



Obrázek 20- Kapsový filtr [15]

- **Kazetové**

Kazetové filtry jsou usazené v rámečku tloušťky cca. 300 mm. Jsou složeny ze skelných vláken papírové struktury. Používají se jako vysoceúčinné filtry třídy H10 a vyšší.



Obrázek 21- Kazetový HEPA filtr [16]



- Elektrofiltry

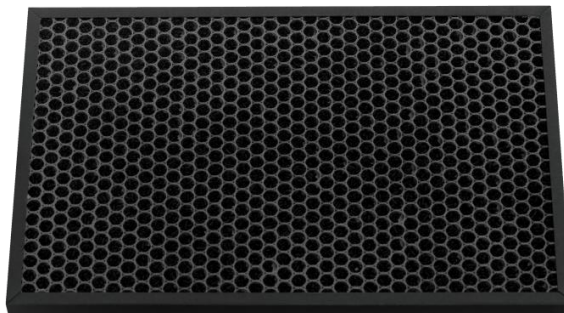
Používají se pro odlučování tuhých i kapalných částic nečistot z atmosférického vzduchu. Mají velmi malou tlakovou ztrátu. Pracují na principu ionizace, kde deskové a drátové elektrody vytvoří elektrické pole o napětí cca. 14 kV. Zde částice získávají kladný náboj a v další části filtru se zachytávají na záporně nabitých elektrodách. Odtud se usazené nečistoty čistí vystříkáním vodou, buďto ručně, nebo soustavou trysek.



Obrázek 22- Elektrofiltr [17]

- Sorpční filtr

Pro zachycení plynných částic nečistot se je využít adsorpční proces, kdy dochází k zachycování plynných látek na povrchu pevných látek pomocí difúze. Nejvíce se využívá aktivní uhlí, kde dochází k zachycení působením van der Waalsovými silami. Sorpční filtry jsou vyráběny ve formě patron naplněných aktivním uhlím.



Obrázek 23- Adsorpční filtr s aktivním uhlím [18]



6.5. Čisté prostory

Distribuce vzduchu v čistých prostorech je velmi specifická záležitost. Při návrhu větrání a klimatizace je zapotřebí zohlednit všechny kontrolované parametry, kterými jsou: teplota, relativní vlhkost a charakter proudění. Dále se posuzuje počet a velikost částic v prostoru, míra molekulárního znečištění, elektrostatické náboje, hluk a vibrace.

Čisté prostory jsou přístupné pouze propustmi se systémem dvojitých dveří, a to jak pro zaměstnance, tak pro materiály. Jsou udržovány v souladu s vhodným standardem čistoty a přiváděný vzduch prochází přes odpovídající stupně čištění. Aby nedošlo k mikrobiální nebo částicové kontaminaci vyráběného produktu, musí být dosažena určitá čistota prostoru v jakémkoliv případě. Proto se navrhuje na 2 základní stavy - na stav „v provozu“ a stav „v klidu“. Podle stupně čistoty musí být dodržen určitý maximální počet částic na m^3 viz. tabulka:

Třída čistoty	Maximální přípustný počet částic / m^3 o velikosti rovné nebo větší			
	Za klidu		Za provozu	
	0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm
A	3 520	20	3 520	20
B	3 520	29	352 000	2 900
C	352 000	2 900	3 520 000	29 000
D	3 520 000	29 000	neodef.	neodef.

Tabulka 3- Maximální přípustný počet částic pro jednotlivé třídy čistoty [9]

- **Třída čistoty A**

Jedná se o pracovní prostor, kde se provádí vysoce rizikové úkony, jako je např. plnění místa, otevřené ampule a lahvičky, aseptické propojení apod. Podmínky pro takto nastavené požadavky zajišťuje vzduchotechnika s laminárním prouděním vzduchu. Systém musí zajišťovat homogenní rychlost proudění v rozsahu 0,36 – 0,54 m/s. Laminarita vzduchu musí být prokázána a validována. Tato třída čistoty se splňuje pouze ve speciálních laminárních boxech.



Obrázek 24- Laminární box [10]



- **Třída čistoty B**

Jedná se o prostor obklopující prostředí třídy A, a pro aseptickou přípravu a plnění. [8]

- **Třída čistoty C a D**

Jedná se o prostory, ve kterých lze provádět méně rizikovou činnost při přípravě sterilních léčivých přípravků. [8]

6.5.1. Konstrukce čistého prostoru

Čistý prostor může být jako samostatná jednotka, nebo montovaná jednotka do stávajícího objektu.

Stěny čistého prostoru musí být opatřeny otěruvzdorným a omyvatelným nátěrem. Ve stěnách mohou být okna, pro přívod denního světla nebo pro komunikaci mezi personálem. Nesmí být ovšem otevíravá a musí plynule navazovat na povrch stěny v které jsou osazeny.

Podlaha tvoří prah mezi stěnou a podlahou čistého prostoru.

Na hranicích zón s rozdílnou třídou čistoty je umístěn senzor tlaku pro kontrolu tlakového spádu.

Dveře mohou být plné, prosklené, jednokřídlé nebo otočné. Nesmí mít viditelné těsnění okolo skel. Na spodní hraně musí mít výsuvnou těsnící lištu. U personální a materiálové propusti musí být opatřeny zvukovou a optickou signalizací otevření. Je vhodné použít systém vzájemné blokace dveří, aby nedošlo k otevření dvou dveří zároveň.

Podhledy musí být kazetové a těsné. Mohou do nich být umístěny vzduchotechnické elementy pro přívod vzduchu. Distribuční prvky musí mít nástavce s HEPA nebo ULPA filtry pro přívod vzduchu do čistého prostoru. Dále jsou v podhledu zapuštěná osvětlovací tělesa.

V čistých prostorech nesmí být použito vytápění pomocí otopných těles, podlahové vytápění ani jiný způsob, který by způsoboval změnu proudění vzduchu, než na kterou je nastavena vzduchotechnika. Z tohoto důvodu lze použít pouze teplovzdušné vytápění pomocí vzduchotechnické jednotky.

Veškeré konstrukce jsou vodivě pospojovány a napojeny na uzemnění objektu.

Celý čistý prostor se čistí pomocí tlakové vody. Konstrukce a elektrické rozvody proto musí splňovat požadovanou ochranu proti pronikání vody.



6.5.2. Tlakové parametry čistého prostředí

Čisté místnosti musí být v přetlaku vůči okolním místnostem. Velikost přetlaku je popsána v tabulce č.2. Nejvyšší přetlak je v nejvyšší třídě čistoty. Se snižující se třídou čistoty musí přetlak klesat vůči místnosti s vyšší třídou čistoty. Nejnižší třída čistoty D musí mít přetlak alespoň 10 Pa vůči místnosti bez přetlakového požadavku.

Třída čistoty	Maximální přípustný počet částic /m ³ o velikosti rovné nebo větší				Intenzita výměny vzduchu h-1	Rychlost proudění m/s	Tlakové rozdíly k místnosti s nejnižší třídou čistoty Pa
	Za klidu		Za provozu				
	0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm			
A	3 520	20	3 520	20	N/A	0,45 HLF 0,35 VLF	N/A LB > 15 izolátor
B	3 520	29	352 000	2 900	> 20	N/A	> 10
C	352 000	2 900	3 520 000	29 000	> 20	N/A	> 10
D	3 520 000	29 000	neodef.	neodef.	> 10	N/A	> 10

Tabulka 4- Velikost přetlaku a intenzity výměny vzduchu v jednotlivých třídách čistoty [9]

HLF- horizontální laminární pole

VLF- vertikální laminární pole

6.5.3. Vzduchotechnika pro čisté prostředí

Pro čisté prostory musí být samostatná vzduchotechnická jednotka. Jejím hlavním úkolem je udržet prostor v čistotě a chránit pracující personál i vyráběný produkt. Vzduchotechnická jednotka musí splňovat náročné požadavky na úpravu vzduchu. Přiváděný vzduch prochází přes 3 stupně filtrace. První stupeň filtrace zajišťují filtry třídy M na přívodu před tepelným výměníkem. Pro druhý stupeň čistoty se používají filtry typu F a jsou umístěné za ohříváči a chladiči vzduchu. Třetí stupeň čistoty zajišťují koncové HEPA nebo ULPA filtry. Nejvyšší stupeň ochrany zajišťují tzv. izolátory, což jsou uzavřené boxy s podtlakem, do kterých se přivádí vzduch přes HEPA filtry. Pracuje se v nich pomocí rukávcových návleků.

Vzduchotechnická jednotka zajišťuje veškeré požadované parametry vnitřního prostředí. Musí zajistit správnou teplotu, vlhkost a čistotu vzduchu. Je zde velký požadavek na výkon ventilátoru, který musí zajistit dostatečný dopravní tlak, kvůli velké tlakové ztrátě, zejména na koncových HEPA filtrech.



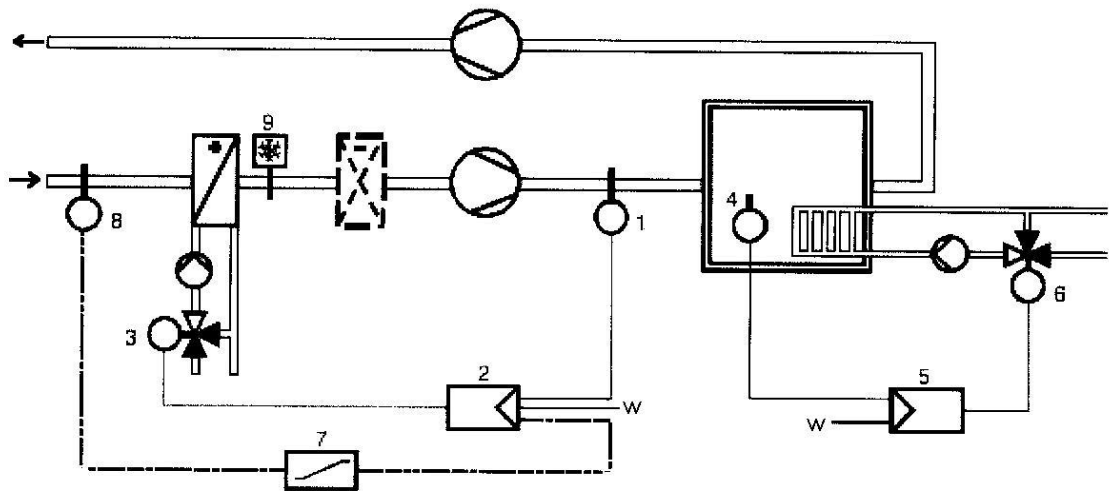
6.6. Regulace

Pro zajištění požadovaných vnitřních podmínek je nutné řízení systému. Řízení lze rozdělit na dvě základní možnosti: ovládání nebo regulace. Jednodušší systém je řízení ovládáním. Řízení ovládáním nemá zpětnou vazbu, tudíž systém nemůže být nestabilní, ale přináší to zásadní nevýhodu - teplota přiváděného vzduchu je řízena pouze podle vnější teploty. Tato vlastnost v podstatě zamezuje jakkoliv řídit teplotu uvnitř místnosti. Vzduchotechnika vůbec nedostává informaci o tom, jaká je aktuální teplota v místnosti. Dá se proto využít pouze tam, kde je velmi malá změna tepelné zátěže/ztráty v dané místnosti, což bývá pouze ojediněle. Z tohoto důvodu je řízení pomocí ovládání velmi nevhodné do většiny prostor.

Vhodné řešení je řízení regulací. Zařízení, které je řízeno regulací dostává zpětnou vazbu z čidel uvnitř prostoru a podle toho může reagovat na chladící nebo vytápěcí výkon. „Příznivý je takový průběh regulačního pochodu, kdy po odchylce regulované veličiny od žádané hodnoty, regulátor vrátí regulovanou veličinu na žádanou hodnotu (nebo jí blízkou) tlumenými kmity optimálním způsobem, tj. bez velkého překmitnutí a dostatečně rychle.“ [9]

V následujících částech budou popsány základní způsoby regulace ve vzduchotechnice.

6.6.1. Regulace podle teploty venkovního vzduchu



Obrázek 25- Regulace teploty přiváděného čerstvého vzduchu [13]

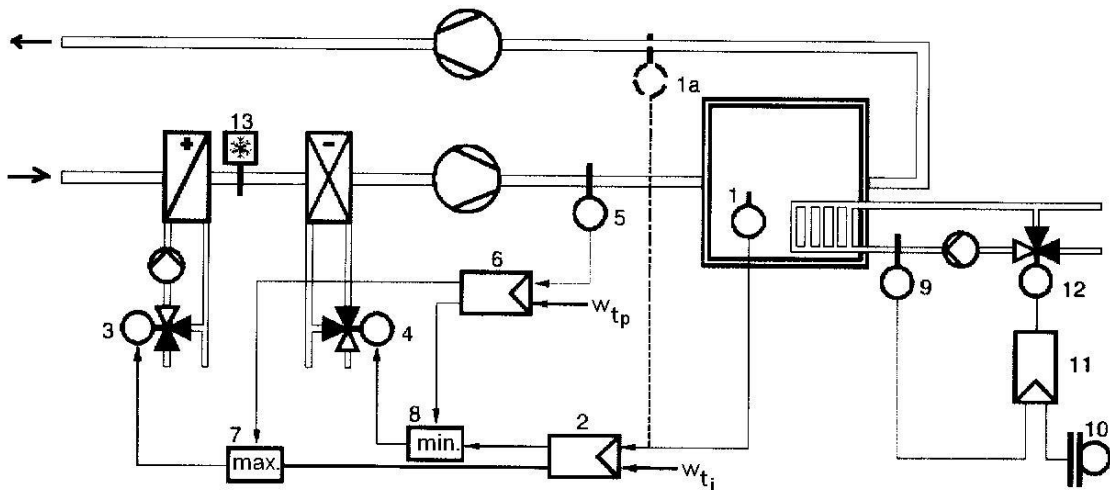
1= čidlo teploty přivodního vzduchu, 2= regulátor teploty přivodního vzduchu, 3= pohon trojcestného směšovacího ventilu u ohřivače vzduchu, 4= čidlo vnitřní teploty vzduchu, 5= regulátor vnitřní teploty vzduchu, 6= pohon trojcestného směšovacího ventilu otopného okruhu, 7= řízení podle venkovní teploty vzduchu, 8= čidlo teploty venkovního vzduchu, 9= termostat protimrazové ochrany, w= požadovaná teplota.

Vzduchotechnická soustava zajišťuje pokrytí tepelné ztráty větráním. Otopná soustava zajišťuje pokrytí tepelné ztráty prostupem.



Regulátor přívodního vzduchu (2) dostává informaci o teplotě z čidla (1) a o teplotě venkovního vzduchu z čidla (8). Regulátor porovnává teplotu přívodního vzduchu s požadovanou teplotou (w), a pokud vzniká regulační odchylka, tak vysílá akční signál k akčnímu členu (3) a ten upraví teplotu přiváděného vzduchu, tak aby dorovnal vzniklou odchylku. Otopná soustava má velkou setrvačnost, tudíž se toto řízení nedoporučuje v případech, kde hrají významnou roli vnější nebo vnitřní tepelné zisky. Zároveň se toto řízení nedá použít v létě pro chlazení, protože klimatizace neví, jaká je teplota uvnitř místnosti. K regulace se využívají PI regulátory. Proto je to regulace vhodná pouze pro regulaci teploty v zimě a hodí se pouze tam, kde teplota nehraje příliš velkou roli, jako např. kuchyně, garáže, tělocvičny apod.

6.6.2. Regulace podle teploty vnitřního vzduchu



Obrázek 26- Regulace podle teploty vnitřního vzduchu [13]

1 = čidlo vnitřní teploty vzduchu, 2= regulátor teploty vnitřního vzduchu, 3= pohon trojcestného směšovacího ventilu u ohřivače vzduchu, 4= pohon trojcestného ventilu u chladiče vzduchu, 5= čidlo teploty přívodního vzduchu, 6= omezovač minima teploty přívodního vzduchu, 7= přednostní volba pro ventil ohřivače, 8= přednostní volba pro ventil chladiče, 9= čidlo teploty přívodní vody, 10= čidlo teploty venkovního vzduchu, 11= regulátor teploty přívodní vody, 12= pohon trojcestného směšovacího ventilu u okruhu vytápění, 13= termostat protimrazové ochrany, w_{tp} = nastavený rozsah teploty w_{ti} = teplota požadovaná .

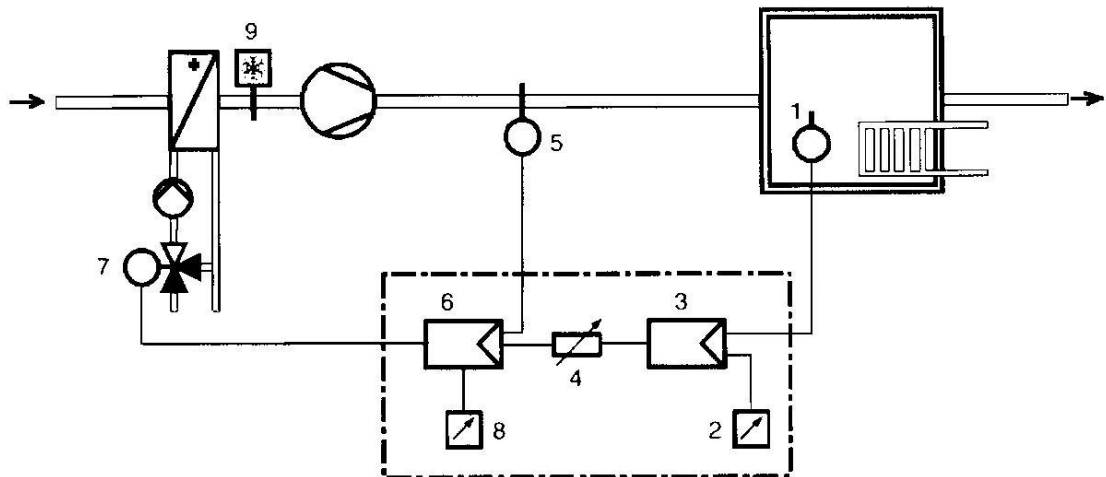
Otopná soustava nereaguje na teplotu vnitřního vzduchu. Protože čidlo teploty (1) vysílá hodnotu do regulátoru (2) a ten, pokud dochází k regulační odchylce následně vysílá akční signál buď k pohonu trojcestného ventilu ohřivače nebo chladiče. Omezovač minima teploty přívodního vzduchu (6) dostává informaci o teplotě přívodního vzduchu, porovnává to s nastavenou mezí a vysílá signál k regulátorům přednostní volby (7,8), který z těchto dvou akčních signálů bude silnější, ten se vykoná. Teplota přívodního vzduchu je řízená podle teploty v klimatizovaném prostoru. Toto zapojení můžeme výhodně použít jak v létě, tak v zimě. Velmi dobře a rychle reaguje na poruchové veličiny. Používá se při větrání



kanceláří, obchodních center, výrobních dílen, pobytových místností, laboratoře, operační sály, atp.

Pro rychlejší reakci systému můžeme čidlo umístit do odvodního potrubí, díky tomu nebude ovlivněno např. střední radiční teplotou a bude reagovat rychleji, protože bude velmi intenzivně omýváno rychle proudícím vzduchem.

6.6.3. Negativní vlečná regulace



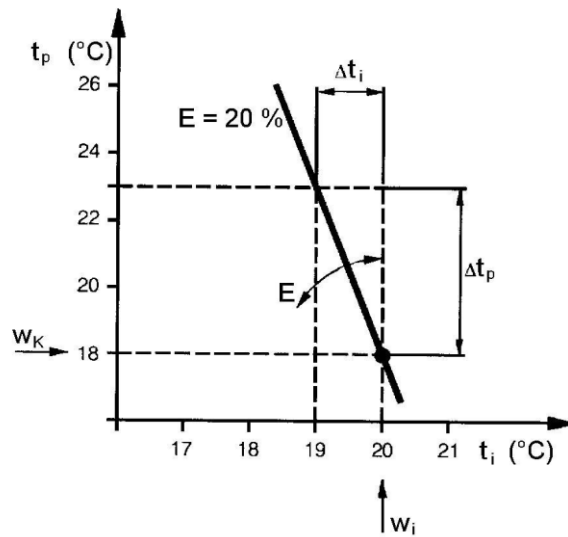
Obrázek 27- Regulace negativní vlečnou regulací [13]

1= čidlo teploty v místnosti, 2= nastavení žádané hodnoty, 3= hlavní regulátor, 4= potenciometr nastavení vlivu kaskády, 5= čidlo teploty přívodního vzduchu, 6= vlečný regulátor, 7= pohon u ventilu ohřivače, 8= potenciometr nastavení základní hodnoty kaskády, 9= termostat protimrazové ochrany; 1-2-3-4= obvod hlavního regulátoru; 4-5-6-7= obvod vlečného regulátoru.

Regulátor (3) je hlavní regulátor, který dostává informaci od čidla teploty v místnosti nebo odvodním potrubí (1). Přes ovladač teploty (2) nastavíme požadovanou teplotu, která se následně v regulátoru (3) porovnává s teplotou uvnitř místnosti. Pokud nejsou stejné, vzniká regulační odchylka. Regulátor poté vysílá výstupní signál, který se mění ve vstupní signál vlečného regulátoru, který na základě této hodnoty upravuje žádanou hodnotu a zároveň vlečný regulátor dostává informaci od senzoru přiváděného vzduchu (5) a porovnává jí s informací od hlavního regulátoru (3) a jestliže nejsou stejné, vzniká regulační odchylka. Pak regulátor vyšle akční signál akčnímu členu ohřivače (7) nebo chladiče, který upraví teplotu. Čím vyšší teplota je ve větraném prostoru, tím nižší musí být teplota přiváděného vzduchu, proto jí nazýváme negativní regulací. Odchytky přívodního vzduchu, jsou zachycené díky negativní vlečné regulaci, ještě dříve, než významně ovlivní teplotu uvnitř místnosti. Autorita kaskády (vliv)(4) se obvykle volí mezi 15 - 20 %, to znamená, že pokud poklesne teplota v místnosti o 1K, tak nastavení teploty přívodního vzduchu vzroste o 5K, viz. obrázek č. 13. Čím je autorita kaskády větší, tím stabilnější bude teplota ve větraném prostoru, ale bude mít delší dobu náběhu.



Pro řízení se používá kaskáda PI (6) a PI regulátorů (3).



Obrázek 28- Autorita kaskády [13]

T_i = teplota vzduchu v místnosti, w_i = žádaná teplota vzduchu v místnosti, Δt_i = odchylka teploty vzduchu v místnosti, t_p = teplota přiváděného vzduchu, w_k = základní hodnota kaskády, Δt_p = změna teploty přiváděného vzduchu, E = autorita kaskády.

Maximální odchylka u PI-PI regulátoru je cca. 0.3 K, proto se hodí do prostor, kde je potřeba udržovat stálou teplotu v místnosti, jako jsou např. výrobní elektroniky, měřící laboratoře apod.



Seznam obrázku a tabulek:

Obrázek 1-Vizualizace areálu [1]	13
Obrázek 2- Rozvody TZB s využitím BIM [1]	13
Obrázek 3- Ukázka rozvodů TZB s využitím BIM [1]	14
Obrázek 4- Nemocnice Vídeň [2]	15
Obrázek 5- Systém vytápění pomocí datového centra [2]	15
Obrázek 6- Nový pavilon nemocnice Pelhřimov [3]	16
Obrázek 7- Ukázka TZB rozvodů s využitím BIM [3]	17
Obrázek 8- Rozdělení zón pro vytápění 1.NP	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 9- Rozdělení zón pro vytápění 2.NP	24
Obrázek 10- Zóny vytápění 1.NP.....	24
Obrázek 11- Systém podtlakového větrání [4]	43
Obrázek 12- Systém přetlakového větrání [4]	44
Obrázek 13- Systém rovnotlakého větrání [4].....	44
Obrázek 14- Směšovací systém [6]	45
Obrázek 15- Talířový ventil, anemostat, dýza, štěrbinová vyústka [8].....	45
Obrázek 16- Zaplavovací systém [6]	46
Obrázek 17- Velkoplošná vyústka, štěrbinová vyústka [8]	46
Obrázek 18- Usměrněné proudění [6]	46
Obrázek 19- Rámečkové filtry [15]	48
Obrázek 20- Kapsový filtr [15]	48
Obrázek 21- Kazetový HEPA filtr [16]	48
Obrázek 22- Elektrofiltr [17]	49
Obrázek 23- Adsorpční filtr s aktivním uhlím [18]	49
Obrázek 24- Laminární box [10].....	50
Obrázek 25- Regulace teploty přiváděného čerstvého vzduchu [13].....	53
Obrázek 26- Regulace podle teploty vnitřního vzduchu [13]	54
Obrázek 27- Regulace negativní vlečnou regulací [13].....	55
Obrázek 28- Autorita kaskády [13]	56
Tabulka 1-Třídění filtrů pro běžné větrání [14]	47
Tabulka 2- Třídění vysoceúčinných filtrů [14].....	47
Tabulka 3- Maximální přípustný počet částic pro jednotlivé třídy čistoty [9]	50
Tabulka 4- Velikost přetlaku a intenzity výměny vzduchu v jednotlivých třídách čistoty [9].....	52



Seznam použitých zdrojů informací a obrázků:

- [1] *Nemocnice Náchod* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/BIM-Projekty/Modernizace-oblastni-nemocnice-Nachod.aspx>
- [2] *Nemocnice ve Vídni* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://gesundheitsverbund.at/rechenzentrum-heizt-ab-2023-die-klinik-floridsdorf/>
- [3] Nový pavilon nemocnice Pelhřimov. *Časopis stavebnictví* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-novy-pavilon-nemocnice-pelhrimov-a-medicentrum-waltrovka-v-praze-5.html>
- [4] Ing. Daniel Adamovský, Ph.D. *Nucené větrání, proudění vzduchu v potrubí, teplovzdušné vytápění. Bytové větrání.* [Přednáška]. V Praze: České vysoké učení technické
Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=vyuka&kod=125TZ02>
- [5] DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2020. ISBN 9788001067369.
- [6] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 8001051811.
- [7] *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (II) - 1. část: Distribuce vzduchu*. In: *TZB info* [online]. 23.4.2007 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/4077-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-ii-1-cast>
- [8] Mandík: Distribuční elementy. *Mandík* [online]. [cit. 2022-05-07].
Dostupné z: <https://www.mandik.cz/produktova-rada/distribucni-elementy>
- [9] NORMA. *Čisté prostory a příslušná řízená prostředí: Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [10] Laminární box FBB 120-12. *Firma Fisher Scientific* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.cz/produkty/laminarni-box-fbb-120-12>
- [11] VYR-36 ČISTÉ PROSTORY. *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. 2009, 1.3.2009 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/vyr-36>
- [12] prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. a prof. Ing. Karel Hemzal, CSc. *REGULACE V TECHNICE PROSTŘEDÍ STAVEB*. Praha, 2009.



- [13] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-800-1054-550.
- [14] NORMA. *Vzduchové filtry pro všeobecné větrání - Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)*.
- [15] Filtry vzduchu. *TROX KSFilter* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.troxfilter.cz/v%C3%BDrobky-0e8d69c536816ab5>
- [16] Kazetové HEPA filtry. *Biet* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.biet.cz/c/uprava-vzduchu/cisticky-vzduchu/prislusenstvi>
- [17] Elektrofiltr. *Klimafil* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <http://www.klimafil.cz/elektrofiltry.php>
- [18] FILTR S AKTIVNÍM UHLÍM. Bissel [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.bissell.cz/cistenivzduchu/prislusenstvi>

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Návrh vzduchotechnického systému pro modulární
budovu lékárny metodikou BIM**

II. část: Projekt vzduchotechnického systému

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Michal Buk

Vedoucí práce:

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2021/2022



1. Obsah	
2. Část II – praktická část	2
3. Popis objektu	2
3.1. Umístění objektu	2
3.2. Základní popis	2
4. Návrh vzduchotechnického systému	2
4.1. Základní vstupní parametry	3
4.2. Návrh klimatizačních jednotek	3
4.3. Návrh výměny vzduchu	5
4.4. Vzduchotechnické potrubí	8
4.4.1. Akustika potrubí:	8
4.5. Obecný postup návrhu	8
4.6. Výpočet	8
2.6.1 Rozdělení do úseků:	8
2.6.2 Použité vzorce v tabulce pro výpočet dimenzí a tlakových ztrát (<i>Příloha č. 1</i>)	9
4.7. Návrh tlakové kaskády v čistém prostoru	12
4.8. Měření a regulace systému	13
5. BIM a REVIT (Zhodnocení)	14
5.1. Porovnání tlakových ztrát třením	15
5.2. Modelování pomocí dílů výroby	16
5.3. Výsledné pohledy včetně ostatních rozvodů TZB	17
6. Závěr	21
7. Výkazy výměr	21
8. Seznam příloh k části vzduchotechniky:	27



2. Část II – praktická část

Návrh vzduchotechnického systému pro modulární budovu lékárny metodikou BIM

3. Popis objektu

Celý popis objektu je v průvodní zprávě viz. I. část: Koncept TZB.

3.1. Umístění objektu

Objekt se nachází na okraji města Litoměřice na nově vzniklých stavebních parcelách. V blízkosti se nachází elektrická rozvodna, od které budou vybudovány nové sítě. Budova leží na parcele č. 5463/1 katastrálního území města Litoměřice. Podél parcely vede silnice druhé třídy. V jejím okolí se nyní nachází pole a z východního směru zmiňovaná elektrická rozvodna, čerpací stanice a další průmyslové budovy.

3.2. Základní popis

Jedná se o dvoupodlažní budovu složenou z upravených lodních kontejnerů. Budova má 2 nadzemní podlaží. V prvním podlaží jsou navrženy provozní místnosti, sklady chemikálií a zdravotnických potřeb, příjem a výdej léčiv. Ve druhém podlaží se nachází kanceláře, šatny s hygienickým zařízením, jídelna a technická místnost pro systémy TZB. Z druhého podlaží vede venkovní ocelové schodiště pro splnění požadavků požárních norem a předpisů.

Součástí provozních místností je mimo jiné příprava sterilních léčiv v čistém prostoru třídy čistoty „C“ s laminárními boxy třídy čistoty „A“. Dále lékárna zahrnuje místnosti laboratoří, skladů hořlavin, chemikálií, obalů, surovin, chlazený sklad, sklad infusí a desinfekčních prostředků, váhovnu a další místnosti viz. tabulka místností č. 1 a 2.

Budova je uvažována jako „dočasná“, tedy bude se využívat, dokud jí bude potřeba. Po skončení jejího využití bude budova rozebrána a odvezena nebo přestavěna pro jiné účely.

4. Návrh vzduchotechnického systému

Vzduchotechnika objektu je řešena pomocí samostatných zařízení, zabezpečující požadované vnitřní parametry vzduchu ve větraných a klimatizovaných místnostech pro danou technologii a účel místnosti.

Budova je rozčleněna na tři základní části. První částí jsou čisté prostory v 1.NP, které mají vlastní vzduchotechnickou jednotku a je zde zajištěno přetlakové větrání. Druhá část tvoří ostatní místnosti v 1.NP, které mají také vlastní vzduchotechnickou jednotku.



Třetí část je 2.NP, kterou obsluhuje třetí vzduchotechnická jednotka. Nachází se zde kanceláře, šatny, koupelny a společenská místnost.

Princip větrání je založen na nuceném odtahu z WC a koupelen a rovnotlakém větrání ostatních místností, podtlak vzniklý z odsávání na WC a v koupelnách se dorovnáva přívodními vyústky na chodbách. V čistých prostorech je použito přetlakové větrání pro trvalé udržení přetlaku vůči okolním místnostem.

V místnostech č. 109 (Sklad chemikálií) a 112 (Příruční sklad hořlavin) jsou umístěné speciální protipožární skříně, které mají vlastní odtah vzduchu pomocí ventilátoru umístěném v potrubí a je vyvedeno na střechu objektu.

V chlazeném skladu č. 129 je trvale udržováno 2 – 8 °C, chlazení zajišťuje klimatizace typu Multi-split. Je zde požadavek na 100% zálohu zdroje chladu, proto jsou v místnosti instalovány 2 samostatné systémy. Pro větrání je zvolena malá klimatizační jednotka s tepelným výměníkem. Jednotka je umístěna na střeše 2.NP

4.1. Základní vstupní parametry

Meteorologické údaje:

- Léto
 - Teplota: $T_{e,max} = 32 \text{ °C}$
 - Entalpie: $h_{e,max} = 61,2 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Zima
 - Teplota: $T_{e,min} = -12 \text{ °C}$
 - Entalpie: $h_{e,min} = 13,0 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Parametry vnitřního prostředí:

- Čisté prostory
 - Teplota: $T_i = 22 \pm 2 \text{ °C}$
 - Relativní vlhkost $\varphi = 30 - 60 \text{ %}$
- Ostatní prostory
 - Teplota: $T_i = 20 - 25 \text{ °C}$
 - Relativní vlhkost $\varphi = 30 - 60 \text{ %}$

4.2. Návrh klimatizačních jednotek

1. **jednotka** je určena pouze pro čisté prostory. Bude v sestavném provedení, jelikož kompaktní jednotky nespĺňují náročné požadavky pro čisté prostory. Zejména nemají dostatečný dopravní tlak. Jednotka bude umístěna ve strojovně VZT. Před a za vzduchotechnickou jednotkou, na přívodní i odvodní větvy budou umístěny buňkové tlumiče hluku. Jednotka pracuje se 100 % čerstvého vzduchu.



V jednotce budou probíhat následující úpravy vzduchu:

- Přívodní část
 - 1° filtrace třídy M5
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček
 - Ohřev vzduchu vodním ohříváčem
 - Chlazení vzduchu přímým výparníkem
 - Eliminace kapek
 - Dohřev vzduchu elektrickým ohříváčem
 - 2° filtrace třídy F9
 - Vlhčení parním zvlhčovačem
- Odvodní část
 - 1° filtrace třídy M5
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček
 - Eliminace kapek

2. jednotka je pro ostatní místnosti v 1.NP. Bude v sestavném provedení a umístěná ve strojovně VZT ve 2.NP. Jednotka pracuje se 100 % čerstvého vzduchu.

V jednotce budou probíhat následující úpravy vzduchu:

- Přívodní část
 - 1° filtrace třídy M5
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček
 - Ohřev vzduchu vodním ohříváčem
 - Chlazení vzduchu přímým výparníkem
 - Eliminace kapek
 - Dohřev vzduchu elektrickým ohříváčem
 - 2° filtrace třídy F7
- Odvodní část
 - 1° filtrace třídy M5
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček
 - Eliminace kapek



3. jednotka je pro místnosti ve 2.NP. Bude rovněž v sestavném provedení a umístěná ve strojovně VZT. Jednotka pracuje se 100 % čerstvého vzduchu.

V jednotce budou probíhat následující úpravy vzduchu:

- Přívodní část
 - Filtrace třídy F7
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček
 - Ohřev vzduchu vodním ohříváčem
 - Chlazení vzduchu přímým výparníkem
 - Eliminace kapek
 - Dohřev vzduchu elektrickým ohříváčem
- Odvodní část
 - Filtrace třídy M5
 - Rekuperace tepla pomocí deskového výměníku tepla
 - Eliminace kapek
 - Doprava vzduchu ventilátorem s frekvenčním měničem otáček

4.3. Návrh výměny vzduchu

Podle hygienických předpisů jsou stanoveny minimální průtoky čerstvého vzduchu.

- V čistých prostorech
 - Čistý prostor třídy čistoty D= intenzita výměny vzduchu $20x h^{-1}$
 - Čistý prostor třídy čistoty C= intenzita výměny vzduchu $25x h^{-1}$
 - Kontrolovaný prostor třídy čistoty CNC= intenzita výměny vzduchu $5x h^{-1}$
- Kanceláře, laboratoře apod.
 - Podle počtu osob $50 m^3/h/osobu$
- Sklady: $0,5 - 2x h^{-1}$
- Ostatní místnosti
 - WC $50 m^3/h/mísu$
 - Umývárny $150 m^3/h/sprchu$
 - Umývárny $30 m^3/h/umyvadlo$
 - Pisoáry $25 m^3/h/stání$
 - Šatny $20 m^3/h/skříňku$
 - Úklidová komora $5x h^{-1}$
- V místnostech č. 111 (Laboratoř) a 133 (Příprava a ředění desinfekce) jsou instalovány speciální technologické digestoře, které odvádí z místnosti při plném provozu $900 m^3/h$ vzduchu. Aby nedocházelo k přetlaku, pokud digestoře nejsou v provozu, je zde automatické řízení pro přívod vzduchu, které není předmětem této práce.



Vypočtené hodnoty větracího vzduchu jsou uvedeny v následující tabulce:

1.NP										
Číslo	Název místnosti	TŘÍDA ČISTOTY	Plocha	Objem	Počet osob	Intenzita větrání	Vypočtené množství	Zaokrouhlená hodnota	Řívod	Odvod
			m ²	m ³		h ⁻¹	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
101	ČISTÝ PROSTOR "C"	C	14,84	38,57		25,0	964	950	950	915
102	MATERIÁLOVÁ PROPUST "C"	C	0,45	1,16		25,0	29	50	50	50
103	MATERIÁLOVÁ PROPUST "C"	C	0,42	1,08		25,0	27	50	50	50
104	MATERIÁLOVÁ PROPUST "D"	D	4,78	12,44		20,0	249	250	250	215
105	ÚKLID	C	2,11	5,49		25,0	137	150	150	150
106	PERSONÁLNÍ PROPUST "C"	C	2,83	7,36		25,0	184	200	200	165
107	PERSONÁLNÍ PROPUST "D"	D	4,46	11,6		20,0	232	250	250	215
Celkem							1 822	1 850	1 900	1 760
108	CHODBA	CNC	14,72	38,26	0	5,0	191	200	200	200
109	SKLAD CHEMIKÁLIÍ		10,69	27,78	0	2,0	56	50		50
110	KANCELÁŘ		17,54	45,59	3		150	150	150	150
111	LABORATOŘ		19,26	50,07	2		900	900	900	900
112	PŘÍRUČNÍ SKLAD HOŘLAVIN		6,65	17,28	0		90	100		100
113	SKLAD INFUSÍ A DESINFEKČNÍCH PROSTŘEDKŮ		120,78	314,04	0	1,5	471	500	500	500
114	KANCELÁŘ		12,18	31,68	2		100	100	100	100
115	VÝDEJ		29,7	77,23	0	3,0	232	250	250	250
116	KANCELÁŘ VÝDEJ		11,99	31,18	3		150	150	150	150
117	SKLAD HVLP		108,85	283,01	0	2,0	566	550	550	550
118	PŘÍPRAVA STATIM		29,75	77,34	0		150	150	150	150
119	ZÁDVEŘÍ		9,07	23,58	0	3,0	71	100	100	100
120	VÝDEJ STATIM		19,63	51,05	3		150	150	150	150
121	CHODBA		140,16	364,42	0		-	-	600	
122	WC ŽENY		21,95	57,07	0		240	250		250
123	VSTUP		14,32	37,22	0	2,0	74	100	100	100
124	ÚKLID		8,47	22,03	0	5,0	110	100		100
125	ULOŽENÍ OBČANSKÉ OBUVI		23,05	59,92	0	2,0	120	100	100	100
126	SCHODIŠTĚ		23,05	59,92	0		-	-	-	-
127	SKLAD OBALŮ A SUROVIN		25,04	65,11	0	1,0	65	50	50	50
128	VÁHOVNA		10,55	27,44	2		100	100	100	100
129	CHLAZENÝ SKLAD 2- 8°C		10	26	0	2,0	52	50	50	50
130	LABORATOŘ IPLP		26,92	69,98	2		100	100	100	100
131	LABORATOŘ IPLP		26,86	69,84	5		250	250	250	250
132	UMÝVÁRNA		22,69	59	2		100	100	100	100



133	PŘÍPRAVA A ŘEDĚNÍ DESINFEKCE		10,94	28,44	0		900	900	900	900
134	SKLAD OBALŮ		8,73	22,7	0	2,0	45	50		50
135	PŘÍPRAVA MASTNÝCH TYLŮ		18,81	48,9	2		100	100	100	100
136	SKLAD		35,98	93,55	3	2,0	187	200	200	200
137	PŘÍJEM		9,83	25,57	0	2,0	51	50	50	50
Celkem							5 772	5 800	5 850	5 850
2.NP										
Číslo	Název místnosti	TŘÍDA ČISTOTY	Plocha	Objem	Počet osob	Intenzita větrání	Průtok m ³ /h	Zaokrouhlená hodnota m ³ /h	Přívod m ³ /h	Odvod m ³ /h
			m ²	m ³		h ⁻¹				
201	STROJOVNÝ VZT, VYTÁPĚNÍ, DEMI VODA		115,28	299,72	0		0,00	-	-	-
202	ŠATNA ŽENY		59,19	153,9	0		1180,00	1 200	1 200	
203	WC ŽENY		28,56	74,26	0		540,00	550		550
204	WC MUŽI		5,28	13,72	0		80,00	100		100
205	ŠATNA M		10,87	28,26	0		250,00	250	250	150
206	KANCELÁŘ THP		42,79	111,25	4		200,00	200	200	200
207	KANCELÁŘ THP		30,54	79,4	3		150,00	150	150	150
208	KANCELÁŘ HVLP		22,44	58,35	3		150,00	150	150	150
209	KANCELÁŘ VEDOUcí FARMACUTICKÉ ASISTENTKY NL		29,9	77,73	2		100,00	100	100	100
210	KANCELÁŘ VEDOUcí NL		28,46	74	4		200,00	200	200	200
211	CHODBA		41,06	106,76	0		0,00	-		-
212	KANCELÁŘ		29,9	77,73	4		200,00	200	200	200
213	KANCELÁŘ		22,59	58,73	3		150,00	150	150	150
214	KLINICKÉ STUDIE		23,05	59,92	4		200,00	200	200	200
215	SCHODIŠTĚ		23,5	61,11	0		0,00	-	-	-
216	CHODBA		74,31	193,21	0		0,00		-	200
217	ÚKLID		6,29	16,36	0	5,00	81,80	100		100
218	WC ŽENY		9,32	24,24	0		210,00	200		200
219	WC MUŽI		6,09	15,84	0		130,00	150		150
220	DENNÍ MÍSTNOST		70,12	182,32	28		1400,00	1 400	1 400	1 400
Celkem							12 727	12 750	4 200	4 200

Tabulka 1- Seznam místností a množství větracího vzduchu



4.4. Vzduchotechnické potrubí

Pro rozvody vzduchu bude použito pozinkované ocelové potrubí. V hlavních páteřních větvích bude použito hranaté potrubí. Připojovací větve budou z kruhového potrubí. Napojení distribučních prvků bude pomocí ohebného tlumiče hluku CONNECTDEC délky 1 m.

V čistých prostorech bude veškeré potrubí z pozinkovaného plechu, kruhového profilu + v rozích čistých prostor jsou vybudovány vzduchové kanály pro odvod vzduchu. Pro rozvody v čistých prostorech bude použito potrubí s vyšší těsností spojů, tj. s tmelenými spoji.

Veškeré potrubí pro přívod čerstvého vzduchu před vzduchotechnickými jednotkami a pro odvod vzduchu za vzduchotechnickými jednotkami bude opatřeno tepelnou izolací.

4.4.1. Akustika potrubí:

Požadovanou hladinu akustického tlaku zajistí buňkové tlumiče hluku. Tlumiče hluku budou umístěné na přívodní a odvodní větvi, před i za vzduchotechnickou jednotkou.

Další snížení hluku zajišťují přívodní ohebné tlumiče, kterými se připojují vyústky ke vzduchotechnickému potrubí.

4.5. Obecný postup návrhu

- 1) Rozmístění vyústek vzduchotechniky
- 2) Rozkreslení trasy potrubí
- 3) Rozdělení do úseků
- 4) Návrh maximální povolené rychlosti proudění vzduchu
- 5) Návrh rozměrů
- 6) Posouzení skutečné a maximální povolené rychlosti
- 7) Výpočet tlakových ztrát třením a místních ztrát
- 8) Určení kritické cesty
- 9) Zaregulování (nastavení regulačních klapek a distribučních prvků na místě stavby)

4.6. Výpočet

2.6.1 Rozdělení do úseků:

V mém návrhu jsem kvůli složitosti půdorysu a počtu vzduchotechnických jednotek, musel úseky rozdělit do několika celků (1-6).

U vzduchotechnické jednotky č. 2 (pro 1.NP) je přívodní a odvodní trasa rozdělená na 2 podcelky, ačkoliv je to ve skutečnosti 1 celek. Rozdělení je následující:



Celek č. 1+2 je přívodní část 2. vzduchotechnické jednotky

Celek č. 3+4 je odvodní část 2. vzduchotechnické jednotky

Celek č. 5 je přívodní část pro 3. vzduchotechnickou jednotku

Celek č. 6 je odvodní část pro 3. vzduchotechnickou jednotku

Celek „Čistý prostor“ je přívodní a odvodní část pro 1. vzduchotechnickou jednotku

Číslování úseků je znázorněno ve výkresech č. 8 a 9.

2.6.2 Použité vzorce v tabulce pro výpočet dimenzí a tlakových ztrát (Příloha č. 1)

Sloupec č.:

1. Požadovaná výměna vzduchu
2. Převod na m^3/s
3. Maximální povolená rychlost proudění vzduchu

V tabulce je uvedena maximální povolená hodnota v daném prostředí, né doporučená! V projektu jsem se přesto snažil v naprosté většině úseků dodržet rychlost proudění vzduchu pod 3 m/s.

4. Navrhovaný průměr kulatého potrubí
5. Plocha průřezu kruhového potrubí
6. Navrhovaný rozměry hranatého potrubí
7. Plocha průřezu hranatého potrubí
8. Skutečná rychlost proudění v potrubí

$$w_{skut} = \frac{V}{S} = \frac{0,02}{0,012} = 1,7 \text{ m/s}$$

V objemový průtok [m^3/s]

S plocha průřezu [m^2]

9. Plocha průřezu (slouží pouze pro ulehčení vzorců v exelu do dalších výpočtů)

10. d_h hydraulický průměr

$$d_{hkruh} = \frac{4 \cdot S}{O} = \frac{4 \cdot S}{\pi \cdot D} = \frac{4 \cdot 0,012}{\pi \cdot 125 \cdot 0,001} = 0,12 \text{ m}$$

S plocha průřezu [m^2]

D průměr potrubí [mm]

O poloměr [m]



$$d_{\text{hobdelník}} = \frac{4 \cdot S}{O} = \frac{4 \cdot A \cdot B}{2 \cdot (A + B)} \cdot 0,001 = \frac{4 \cdot 200 \cdot 200}{2 \cdot (200 + 200)} = 0,2 \text{ m}$$

S plocha průřezu [m^2]
 A, B rozměry potrubí [mm]
 O poloměr [m]

11. Délka potrubí
12. Obvod hranatého potrubí
13. Hustota vzduchu
14. Viskozita vzduchu
15. Drsnost potrubí
16. Posouzení charakteru proudění

$$Re = \frac{w_s \cdot d_h}{\nu} = \frac{2,26 \cdot 0,13}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 19587 [-]$$

w_s skutečná rychlost proudění [m/s]
 d_h hydraulický průměr [m]
 ν kinetická viskozita vzduchu [m^2/s]

Pokud $Re \leq 2300$ → laminární proudění
Pokud $2300 < Re < 3000$ → přechodové proudění
Pokud $Re \geq 3000$ → turbulentní proudění

17. Relativní (poměrná) drsnost potrubí

$$\varepsilon_{\text{kruh}} = \frac{k}{d} = \frac{0,15}{125} = 0,0012 [-]$$

k drsnost potrubí [mm]
 d průměr potrubí [mm]

18. Korekční součinitel C - měřením bylo zjištěno, že součinitel tlakové ztráty třením λ , je pro čtyřhranné potrubí nutno upravit korekčním součinitelem. Uvedený vztah platí, pokud poměr potrubí $B/A \leq 1$

$$\lambda = C \cdot \lambda_0$$

$$C = 1,1 - 0,1 \cdot \frac{B}{A}$$

A, B rozměry potrubí [mm]

**19. Součinitel tření**

Nejpřesnější vzorec:

podle Colebrooka: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right)$, tento vzorec vyžaduje iterační výpočet.

Pro praktické výpočty je doporučeno používat vzorec podle Swameeho:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot d_h} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} = \frac{1,325}{\left[\ln\left(\frac{0,0012}{3,7 \cdot 0,125} + \frac{5,74}{18862,8^{0,9}}\right)\right]^2} = 0,041 [-]$$

ε poměrná drsnost potrubí [mm]
 d_h hydraulický průměr potrubí [mm]

20. Tlaková ztráta třením

Pro kruhové potrubí:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_s^2 = 0,04 \cdot \frac{0,55}{0,125} \cdot \frac{1,22}{2} \cdot 2,26^2 = 0,55 \text{ Pa}$$

d_h hydraulický průměr potrubí [m]
 w_s skutečná rychlost proudění [m/s]
 l délka potrubí [m]
 ρ hustota vzduchu [kg/m³]

Pro čtyřhranné potrubí:

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l \cdot U}{4 \cdot S} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_s^2 = 0,04 \cdot \frac{8,49 \cdot 0,8}{4 \cdot 0,04} \cdot \frac{1,22}{2} \cdot 0,69^2 = 0,62 \text{ Pa}$$

U Obvod průtočného průměru [m]
 w_s skutečná rychlost proudění [m/s]
 l délka potrubí [m]
 ρ hustota vzduchu [kg/m³]
 S průtočná plocha [m²]

21. Součet součinitelů místních ztrát ze sloupců 24 - 29**22. Tlaková ztráta místní:**

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_s^2 = 0,42 \cdot \frac{1,22}{2} \cdot 2,26^2 = 1,31 \text{ Pa}$$

ζ Součinitel místních ztrát
 ρ hustota vzduchu [kg/m³]
 w_s skutečná rychlost proudění [m/s]



23. Celková ztráta úseku
24. Součet součinitelů místních ztrát všech kolen v úseku
25. Součet součinitelů místních ztrát všech zúžení v úseku
26. Součet součinitelů místních ztrát všech rozšíření v úseku
27. Součet součinitelů místních ztrát všech přechodů na kulaté potrubí v úseku
28. Součet součinitelů místních ztrát všech přechodů na hranaté potrubí v úseku
29. Součet součinitelů místních ztrát všech odboček v úseku
30. Doplňkové tlakové ztráty, např. koncovým tlumičem hluku
31. Vyznačení postupného růstu tlakových ztrát kritické cesty

4.7. Návrh tlakové kaskády v čistém prostoru

Aby byla zajištěna požadovaná čistota a kvalita vzduchu v čistých prostorech je navržena tlaková kaskáda, která se postupně snižuje s klesající třídou čistoty.

Přetlak se porovnává s první sousedící místností bez přetlaku, do které se dá z čistého prostoru vstoupit. V tomto případě s chodbou č. 121.

Rozvržení tlaků:

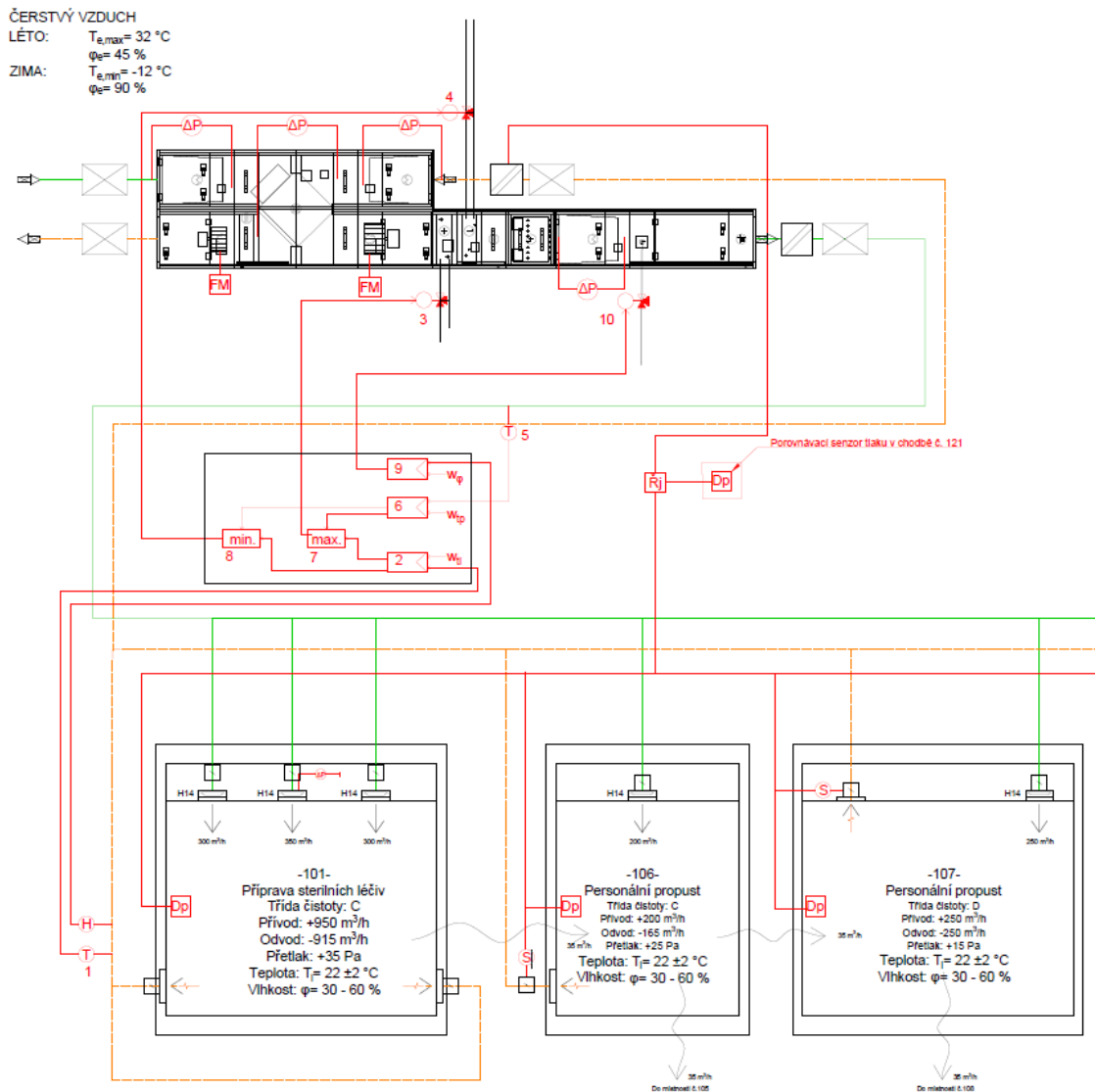
Nejvyšší přetlak je v hlavní místnost č. 101 „Čistý prostor C“, kde bude regulace vzduchotechniky udržovat přetlak vůči chodbě č.121 +35 Pa. V sousedících místnostech č. 102 a 103 „Materiálová propust“, č. 106 „Personální propust“ a č. 105 „Úklid“, bude přetlak +25 Pa. V dalších prostorech s třídou čistoty D, místnost č. 104 „Materiálová propust“ a 107 „Personální propust“, bude přetlak +15 Pa. V poslední místnosti č. 108 „Chodba“ (*chodba v čistých prostorech, nejedná se o porovnávací chodbu*) bude přetlak +5 Pa. Takto navržená tlaková kaskáda nám zajistí, že se nedostane externí znečištěný vzduch do čistého prostoru.

Funkční schéma tlakové kaskády je zobrazeno v **příloze č. 3**.



4.8. Měření a regulace systému

Pro čisté prostory je navržena regulace podle vnitřní teploty. Vzduchotechnika v čistých prostorech plně pokrývá tepelné ztráty a v létě tepelné zisky.



Obrázek 1-Schéma regulace v čistých prostorech

Legenda:

Regulační prvky

Přívodní potrubí

Odvodní potrubí

Popis funkce:

Senzor č. 1 měří teplotu vnitřního vzduchu místnosti a odesílá data do regulátoru teploty vnitřního vzduchu (2). Hlavní regulátor (2) vysílá akční signál k akčnímu členu- pohonu trojcestného ventilu u ohřivače nebo k pohonu trojcestného ventilu chladiče a ten přivře nebo otevře přívod tepla nebo chladu.



Omezovač minima teploty přívodního vzduchu (6) dostává informaci o teplotě přiváděného vzduchu z přívodního potrubí (5) a porovnává s nastavenou mezí teploty přiváděného vzduchu (w_{tp}). (6) Vysílá informaci pro regulátory přednostní volby- pro ohřivač (7) a pro chladič (8). Který z těchto dvou signálů bude silnější, ten se aplikuje. Čidlo teploty (1) v potrubí odváděného vzduchu má výhodu, že udává teplotu odsávaného vzduchu a rychleji reaguje na změny vnitřního prostředí. Pokud by čidlo bylo umístěné v místnosti, mohlo by docházet k nechtěnému působení střední radiační teploty a zvyšovat tak jeho teplotu a ve výsledku by to znamenalo, že by do místnosti začal proudit chladnější vzduch, než je požadováno.

System díky tomuto typu řízení umožňuje velmi rychle reagovat na poruchové veličiny.

Pro udržování požadované vlhkosti vzduchu je ve vzduchotechnické jednotce umístěn parní zvlhčovač vzduchu, který funguje na principu On/Off. V prostorech je dovolen velký rozsah relativní vlhkosti, proto není potřeba přesnější regulace. V hlavní místnosti č. 101 je umístěn senzor relativní vlhkosti (T), který vysílá data do řídicí jednotky (9), která je porovná s požadovanou hodnotou a následně vyšle akční signál akčnímu členu, který zapne nebo vypne vlhčení (10).

Tlaková kaskáda se řídí pomocí řídicí jednotky, která dostává informaci ze senzoru tlaku v hlavní místnosti č. 101 a z chodby č. 121. Velikost přetlaku v hlavní místnosti se řídí nastavením elektronického regulátoru průtoku. Pokud dojde ke změně tlaku regulátor upraví množství odváděného vzduchu. Ostatní místnosti v čistém prostoru se řídí podle tlaku v hlavní místnosti. V každé místnosti je umístěný senzor tlaku vzduchu, který odesílá data do řídicí jednotky a ta posílá akční signály do servopohonu regulačních klapek, tak aby byl zajištěný požadovaný přetlak.

5. BIM a REVIT (Zhodnocení)

Tato část se zaměřuje na zhodnocení využití projektování ve 3D pomocí softwaru REVIT 2022.

- Výhody:
 - Rychlejší projektování
 - Větší přesnost
 - Přesnější výkazy výměr
 - Lepší prezentace projektu
 - Umožňuje výpočet tlakových ztrát
 - Zvýraznění kolizí s ostatními profesemi
 - Lze použít modelování pomocí přesných dílů výroby



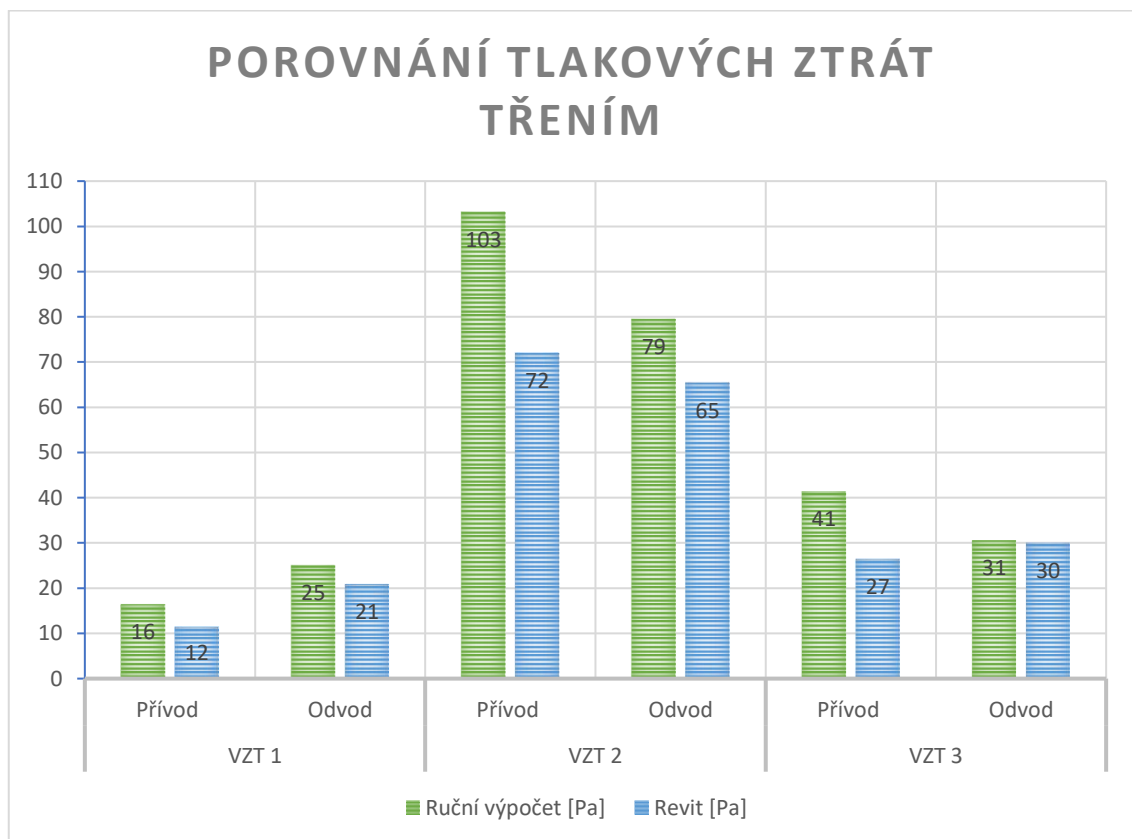
- Nevýhody:
 - Kvalita projektu závisí na kvalitě použitých rodin
 - Aktuálně nelze používat výpočet tlakových ztrát, bez úpravy rodin
 - Občas vznikají problémy s připojením potrubí na určitou tvarovku
 - Nelze nastavit styl zobrazení potrubí v řezu podle vlastních představ
 - Pro výpočty je potřeba precizně všechny části napojit
 - Pro rychlejší projektování je nutnost stáhnout doplňující pluginy od externích firem
 - Rodiny některých zařízení je těžké najít, občas si musí uživatel vytvořit vlastní, což výrazně prodlužuje dobu projektování
 - Při modelování kanalizace je velký problém s připojováním úseků ve sklonu k jinému potrubí ve sklonu

5.1. Porovnání tlakových ztrát třením

Pro zajímavost zde uvádím tabulku vypočtených tlakových ztrát třením v porovnání s tlakovými ztrátami vypočtené Revitem:

Tlaková ztráta třením	VZT 1			VZT 2			VZT 3		
	Ruční výpočet [Pa]	Revit [Pa]	Rozdíl %	Ruční výpočet [Pa]	Revit [Pa]	Rozdíl %	Ruční výpočet [Pa]	Revit [Pa]	Rozdíl %
Přívod	16	12	30	103	72	30	41	27	36
Odvod	25	21	17	79	65	18	31	30	2

Tabulka 2- Porovnání výsledků tlakových ztrát třením





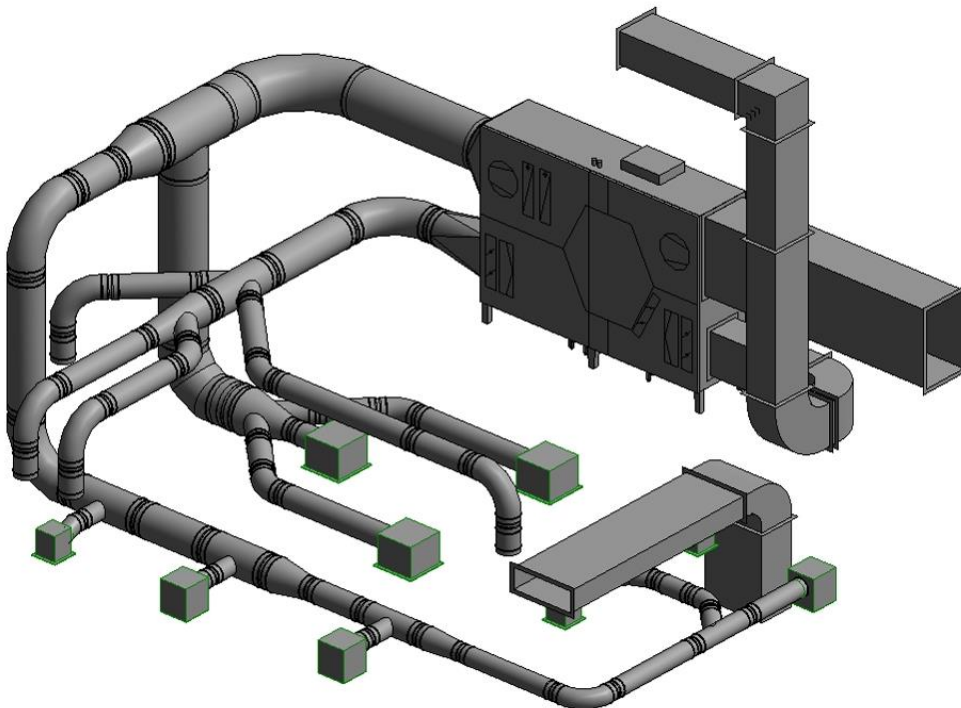
Z grafu a tabulky jsou patrné v některých případech velmi velké rozdíly výsledků a naopak, někde jsou téměř shodné.

Když se podíváme na půdorysy, tak zjistíme, že největší rozdíl ve výsledku tlakových ztrát třením je u přívodních potrubí. Který činí 30 – 36 %. Je to způsobeno tím, že Revit zatím počítá tlakové ztráty třením pouze v rovných úsecích, proto v odvodní části u VZT č. 3 (odvodní část ve 2.NP) vychází velmi malá odchylka 2 %, jelikož je tento úsek složený hlavně z rovných částí.

Tlakové ztráty vřazených odporů se bohužel se standartní verzí Revitu nedají počítat, jelikož Revit přiřazuje ke tvarovkám nesmyslné součinitele místních ztrát, u některých je nevypočítá vůbec a vychází pak nesmyslné hodnoty. Aby tato funkce šla využít, dá se použít pluginy od externích firem, které tento výpočet upravují, ale je rovněž zapotřebí použít upravené tvarovky potrubí, které v základní databázi Revitu nejsou.

5.2. Modelování pomocí dílů výroby

Zajímavou alternativou k modelování potrubí v Revitu, je modelování pomocí dílů výroby. Tato funkce umožňuje modelovat detailními tvarovkami potrubí, které se skutečně vyrábějí. Nevýhodou toho způsobu je, že pak už nelze použít žádné výpočty na tlakové ztráty, zvýraznění kritické cesty apod. Velkou výhodou je, že vidíme přesně, jak potrubí bude vypadat a kde bude uchyceno ke stěně nebo stropu. Další výhodou je, že je možné označit 2 nespojené úseky potrubí, které ani nemusí vést proti sobě a Revit nám vygeneruje možnosti z jakých tvarovek a potrubí trasu poskládat. Všechno nám samozřejmě ukáže ve 3D.

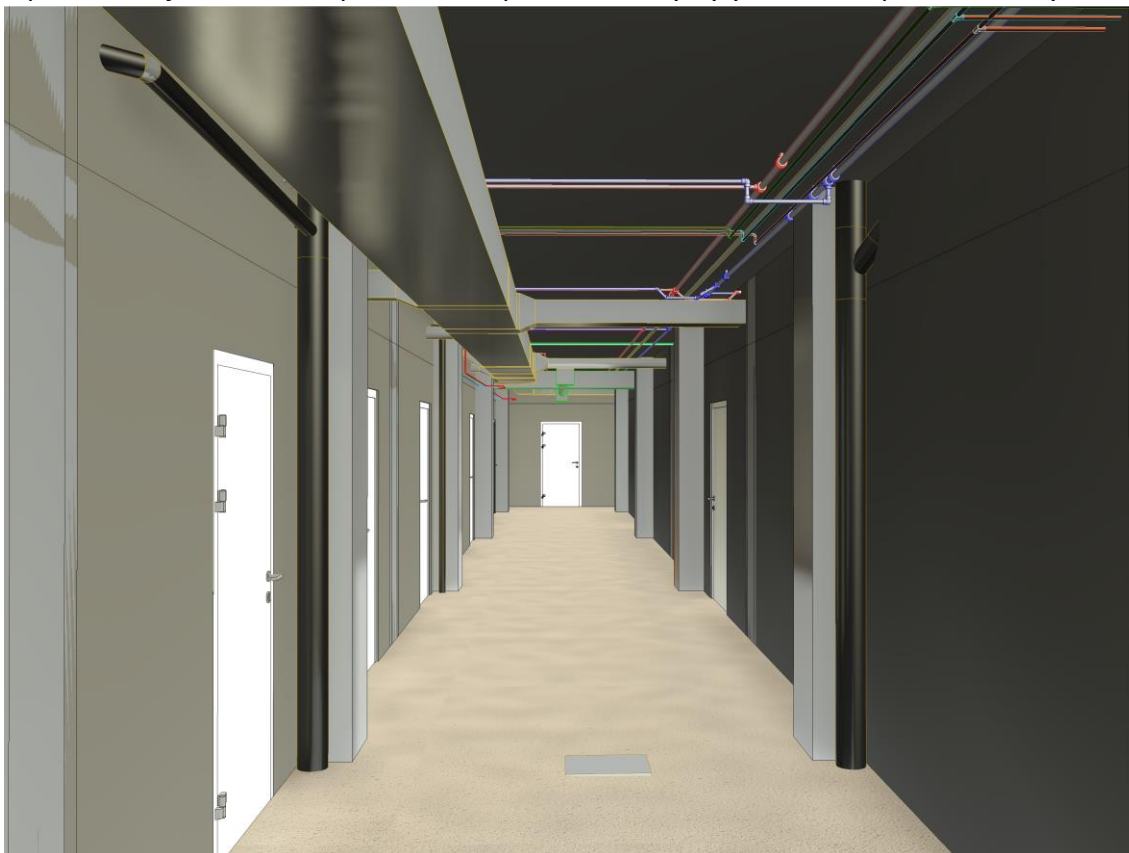


Obrázek 2- Ukázka modelování pomocí funkce "Díly výroby"

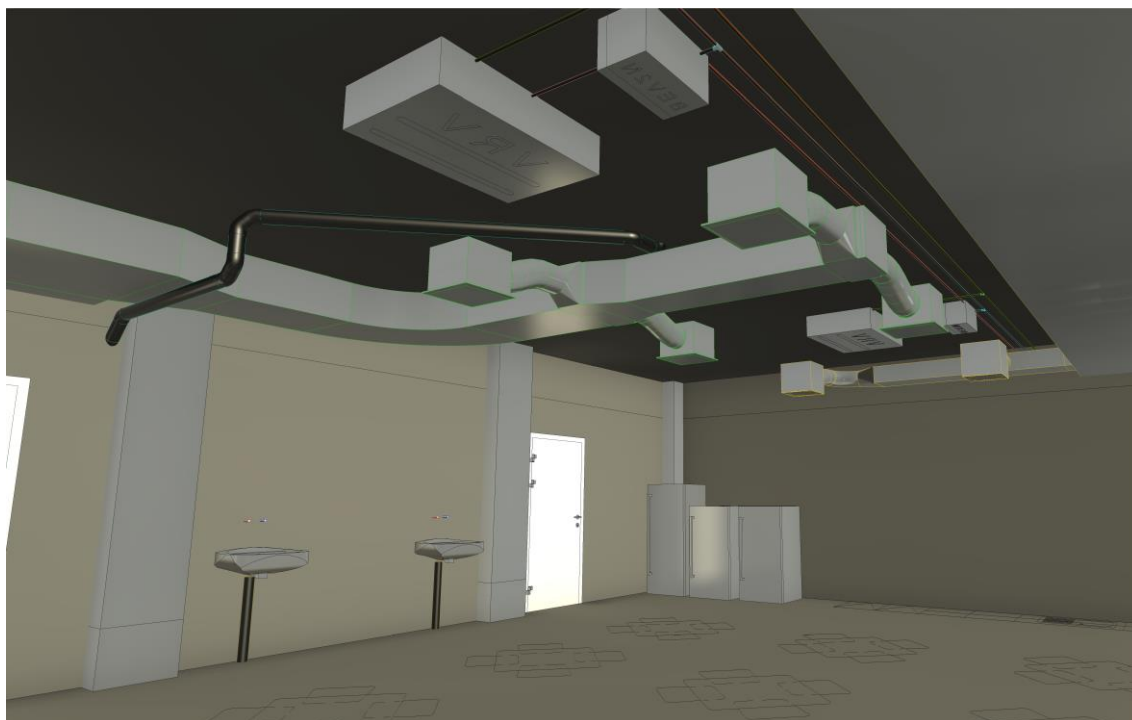


5.3. Výsledné pohledy včetně ostatních rozvodů TZB

V pohledech je nastavena průhlednost podhledů, aby byly vidět kompletní rozvody.



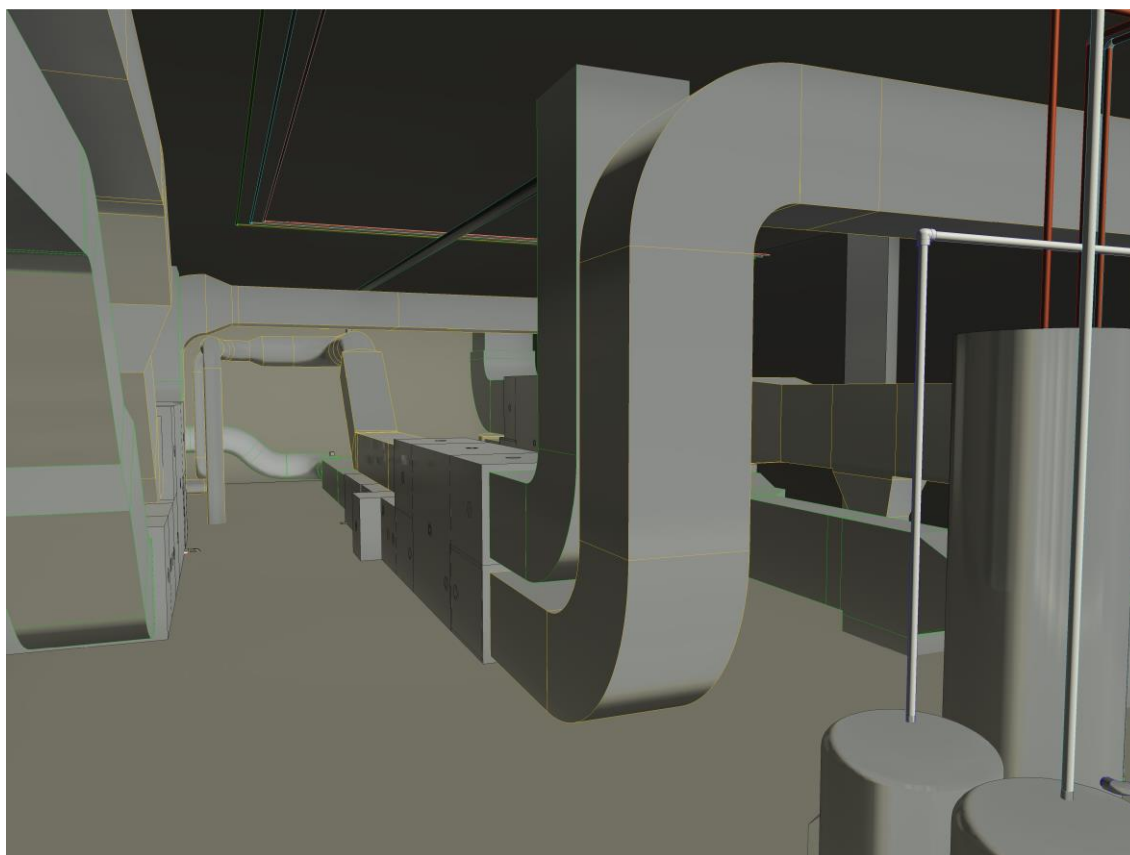
Obrázek 4- Pohled na chodbu 1.NP



Obrázek 5- Pohled na společenskou místnost



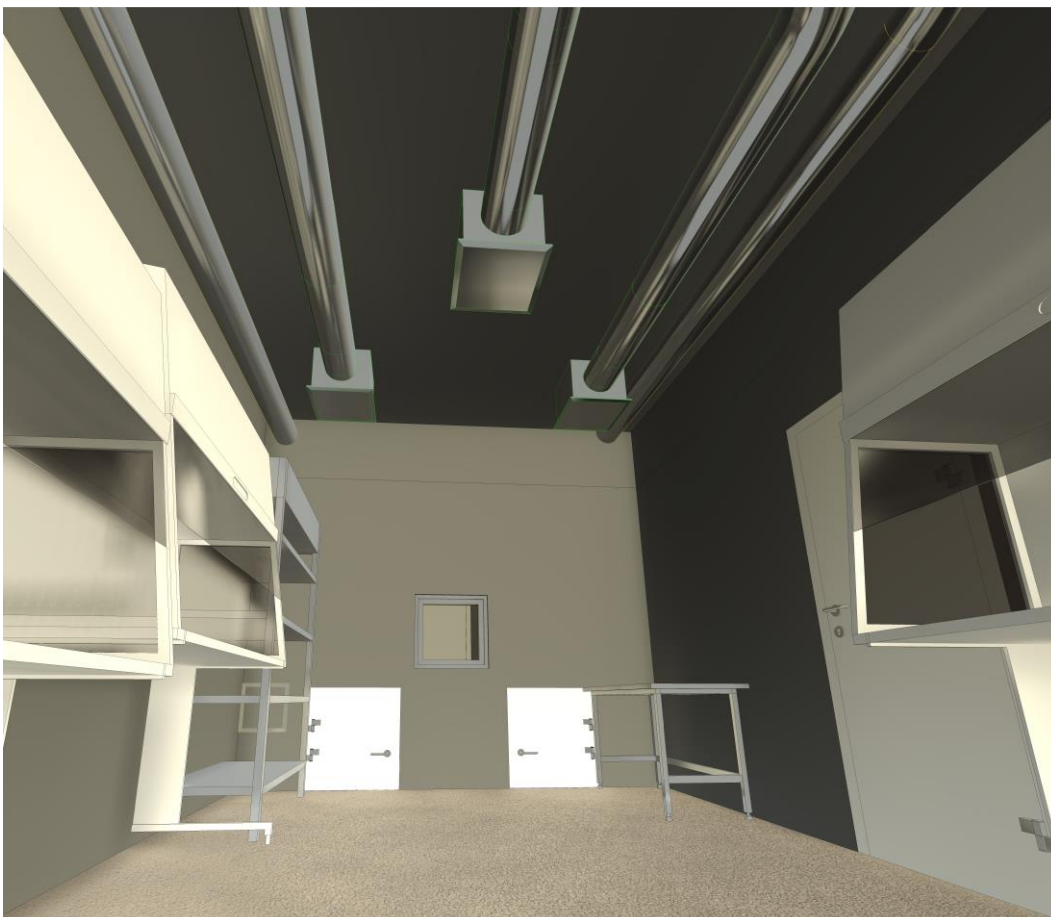
Obrázek 6- Pohled na sklad



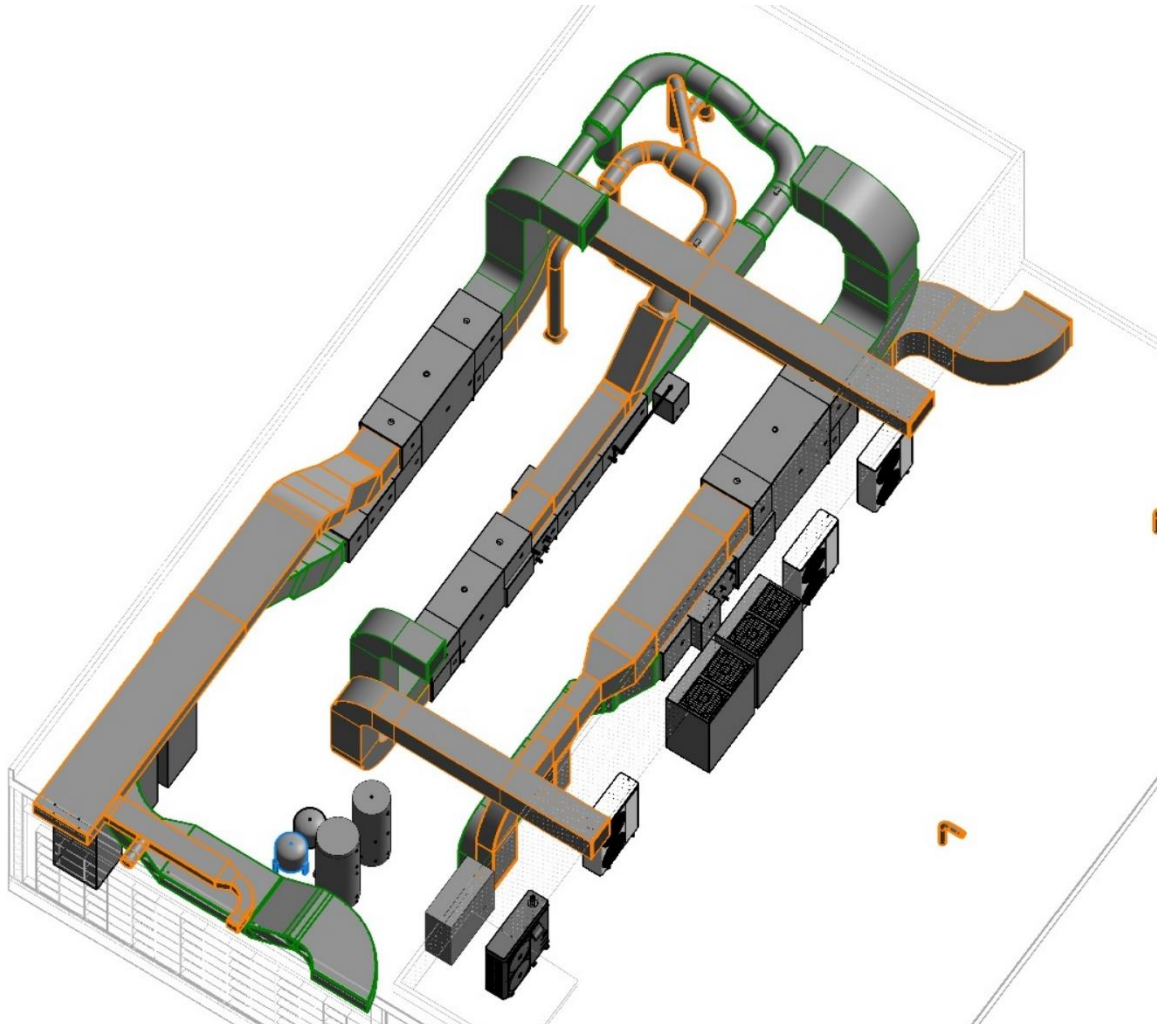
Obrázek 7- Pohled na strojovnu TZB



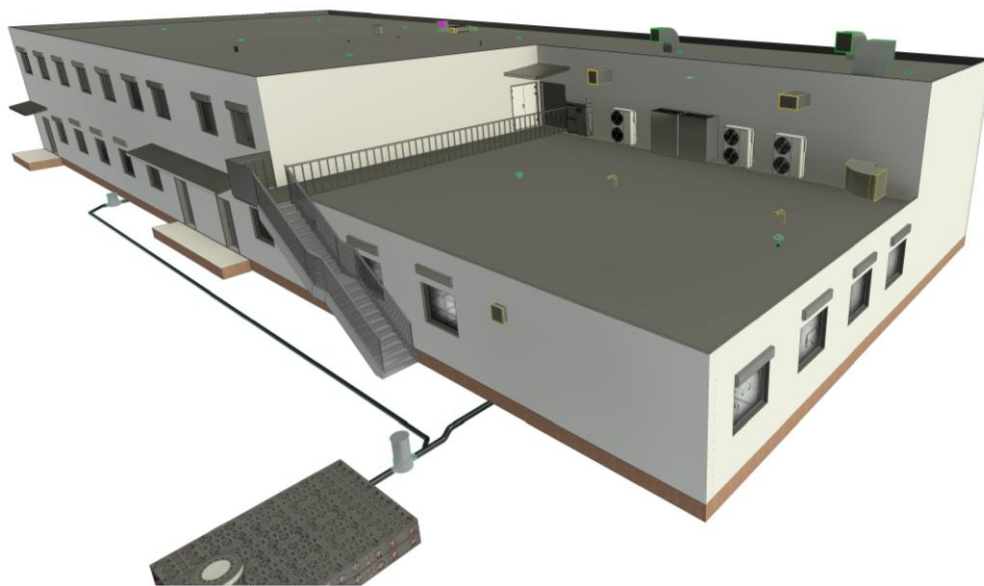
Obrázek 8- Pohled na dámské šatny



Obrázek 9- Pohled na čisté prostory



Obrázek 10- Celkový pohled na strojovnu TZB



Obrázek 11- Celkový pohled na budovu



6. Závěr

Cílem této práce byl návrh větracího systému v modulární lékárně s využitím metody BIM. V práci jsem se seznámil s problematikou čistých prostor a provozem ve farmaceutických podnicích. Z analyzoval jsem jaké jsou podmínky pro provoz, jaké typy technologií jsou povoleny a co všechno je nutné zajistit v čistých prostorech.

Zjistil jsem a vyzkoušel, jak lze využít program REVIT pro modelování systémů TZB. Popsal jsem jeho výhody a jeho úskalí.

Výsledkem práce je ucelený návrh vzduchotechnického systému v rozsahu stavebního povolení.

7. Výkazy výměř

Výkaz potrubí				
Šířka	Výška	Průměr	Plocha	Délka
		80 mm	0.644 m ²	2.562 m
		100 mm	10.204 m ²	32.480 m
		125 mm	10.610 m ²	27.018 m
		150 mm	7.339 m ²	15.573 m
		160 mm	10.161 m ²	20.215 m
		200 mm	25.846 m ²	41.136 m
		300 mm	4.625 m ²	4.908 m
		400 mm	1.136 m ²	0.904 m
		450 mm	3.378 m ²	2.389 m
100 mm	100 mm		0.769 m ²	1.921 m
200 mm	100 mm		1.664 m ²	2.774 m
200 mm	200 mm		124.324 m ²	155.405 m
400 mm	200 mm		91.370 m ²	76.142 m
425 mm	280 mm		0.027 m ²	0.019 m
400 mm	315 mm		36.984 m ²	25.863 m
500 mm	315 mm		37.133 m ²	22.781 m
630 mm	315 mm		84.970 m ²	44.958 m
800 mm	315 mm		35.114 m ²	15.746 m
1000 mm	315 mm		52.844 m ²	20.093 m
325 mm	320 mm		0.037 m ²	0.029 m
320 mm	325 mm		0.052 m ²	0.040 m
600 mm	355 mm		3.331 m ²	1.744 m
300 mm	380 mm		3.386 m ²	2.490 m
380 mm	380 mm		0.015 m ²	0.010 m
400 mm	380 mm		3.299 m ²	2.115 m
200 mm	400 mm		1.617 m ²	1.348 m
315 mm	400 mm		1.061 m ²	0.742 m
400 mm	400 mm		0.736 m ²	0.460 m



600 mm	400 mm		12.690 m ²	6.345 m
500 mm	450 mm		16.702 m ²	8.790 m
600 mm	450 mm		4.016 m ²	1.912 m
450 mm	500 mm		5.268 m ²	2.773 m
500 mm	500 mm		6.110 m ²	3.055 m
650 mm	600 mm		14.442 m ²	5.777 m
315 mm	630 mm		7.067 m ²	3.739 m
600 mm	650 mm		1.844 m ²	0.738 m
810 mm	760 mm		10.062 m ²	3.204 m
760 mm	810 mm		1.548 m ²	0.493 m
Celkový součet: 374			632.429 m²	558.692 m

Výkaz tvarovek potrubí		
Rodina	Velikost	Počet
Hranaté koleno s pokosem	200x200-200x200	1
Hranaté koleno s pokosem	315x630-315x630	2
Hranaté koleno s pokosem	315x1000-315x1000	2
Hranaté koleno s pokosem	450x500-450x500	1
Hranaté koleno s pokosem	600x650-600x650	1
Hranaté koleno	200x200-200x200	13
Hranaté koleno	200x400-200x400	1
Hranaté koleno	315x400-315x400	1
Hranaté koleno	315x630-315x630	2
Hranaté koleno	315x1000-315x1000	1
Hranaté koleno	400x200-400x200	4
Hranaté koleno	400x315-400x315	1
Hranaté koleno	400x600-400x600	1
Hranaté koleno	450x500-450x500	2
Hranaté koleno	500x450-500x450	2
Hranaté koleno	600x400-600x400	1
Hranaté koleno	600x650-600x650	3
Hranaté koleno	630x315-630x315	5
Hranaté koleno	650x600-650x600	2
Hranaté koleno	760x810-760x810	1
Hranaté koleno	800x315-800x315	1
Hranaté koleno	810x760-810x760	3
Hranaté koleno	1000x315-1000x315	1
Hranaté odbočení	200x200-200x200	1
Hranaté odbočení	400x200-400x200	2
Hranaté zakončení	200x100	1
Hranaté zakončení	200x200	3
Hranaté zakončení	300x380	1
Hranaté zakončení	400x315	1
Hranaté zakončení	400x380	1



Hranaté zakončení	500x500	1
Hranaté zakončení	600x355	1
Hranaté zakončení	600x450	1
Hranatý přechod	200x200-100x100	1
Hranatý přechod	200x200-200x100	1
Hranatý přechod	200x315-200x200	3
Hranatý přechod	315x630-200x400	1
Hranatý přechod	315x630-315x400	1
Hranatý přechod	325x320-320x325	2
Hranatý přechod	355x320-325x320	1
Hranatý přechod	380x325-320x325	1
Hranatý přechod	400x200-200x200	8
Hranatý přechod	400x315-200x200	4
Hranatý přechod	400x315-400x200	5
Hranatý přechod	450x280-425x280	1
Hranatý přechod	500x315-200x200	1
Hranatý přechod	500x315-400x315	1
Hranatý přechod	600x315-400x200	1
Hranatý přechod	600x650-600x400	1
Hranatý přechod	630x315-200x200	1
Hranatý přechod	630x315-400x200	1
Hranatý přechod	630x315-400x315	2
Hranatý přechod	630x400-600x400	1
Hranatý přechod	630x710-600x650	1
Hranatý přechod	650x600-600x400	1
Hranatý přechod	650x600-1000x315	1
Hranatý přechod	760x810-630x710	1
Hranatý přechod	800x315-400x315	1
Hranatý přechod	800x315-630x315	2
Hranatý přechod	800x800-810x760	1
Hranatý přechod	810x760-315x630	2
Hranatý přechod	1000x315-600x400	1
Hranatý přechod	1000x315-630x315	1
Hranatý přechod	1000x315-800x315	1
Hranatý spoj T	100x100-100x100-100x100	1
Hranatý spoj T	200x200-200x200-100x200	1
Hranatý spoj T	200x200-200x200-125x200	1
Hranatý spoj T	200x200-200x200-150x200	3
Hranatý spoj T	200x200-200x200-160x200	2
Hranatý spoj T	200x200-200x200-200x200	7
Hranatý spoj T	380x380-380x380-300x380	1
Hranatý spoj T	400x200-200x200-200x200	1
Hranatý spoj T	400x200-400x200-125x200	1
Hranatý spoj T	400x200-400x200-150x200	1
Hranatý spoj T	400x200-400x200-200x200	3
Hranatý spoj T	400x315-400x315-400x315	5



Hranatý spoj T	400x380-400x380-325x380	1
Hranatý spoj T	400x380-400x380-380x380	1
Hranatý spoj T	600x355-600x355-320x355	1
Hranatý spoj T	600x450-600x450-280x450	1
Hranatý spoj T	630x315-500x315-500x315	1
Hranatý spoj T	630x315-630x315-125x315	2
Hranatý spoj T	630x315-630x315-150x315	1
Hranatý spoj T	630x315-630x315-200x315	1
Hranatý spoj T	630x315-630x315-400x315	2
Hranatý spoj T	630x315-630x315-600x315	1
Hranatý spoj T	630x315-630x315-630x315	2
Hranatý spoj T	800x315-800x315-800x315	1
Hranatý spoj T	1000x315-1000x315-200x315	1
Hranatý spoj T	1000x315-1000x315-800x315	1
Kulaté koleno	80 ϕ -80 ϕ	2
Kulaté koleno	100 ϕ -100 ϕ	15
Kulaté koleno	125 ϕ -125 ϕ	4
Kulaté koleno	150 ϕ -150 ϕ	5
Kulaté koleno	160 ϕ -160 ϕ	11
Kulaté koleno	200 ϕ -200 ϕ	15
Kulaté koleno	300 ϕ -300 ϕ	4
Kulaté koleno	400 ϕ -400 ϕ	1
Kulaté koleno	450 ϕ -450 ϕ	6
Kulaté křížení	100 ϕ -100 ϕ -80 ϕ -80 ϕ	1
Kulaté křížení	400 ϕ -400 ϕ -400 ϕ -200 ϕ	1
Kulaté odbočení	100 ϕ -100 ϕ	27
Kulaté odbočení	125 ϕ -125 ϕ	27
Kulaté odbočení	150 ϕ -150 ϕ	6
Kulaté odbočení	160 ϕ -160 ϕ	4
Kulaté odbočení	200 ϕ -200 ϕ	13
Kulatý přechod	100 ϕ -80 ϕ	3
Kulatý přechod	125 ϕ -100 ϕ	2
Kulatý přechod	125 ϕ -125 ϕ	1
Kulatý přechod	150 ϕ -125 ϕ	1
Kulatý přechod	150 ϕ -150 ϕ	1
Kulatý přechod	160 ϕ -100 ϕ	2
Kulatý přechod	160 ϕ -160 ϕ	1
Kulatý přechod	200 ϕ -125 ϕ	1
Kulatý přechod	300 ϕ -160 ϕ	1
Kulatý přechod	300 ϕ -200 ϕ	1
Kulatý přechod	400 ϕ -200 ϕ	2
Kulatý přechod	450 ϕ -300 ϕ	2
Kulatý spoj T	125 ϕ -125 ϕ -125 ϕ	1
Kulatý spoj T	160 ϕ -160 ϕ -160 ϕ	2
Kulatý spoj T	200 ϕ -200 ϕ -200 ϕ	1
Kulatý spoj T	300 ϕ -300 ϕ -160 ϕ	3



Kulatý spoj T	300 ϕ -300 ϕ -200 ϕ	1
Kulatý spoj T	450 ϕ -450 ϕ -400 ϕ	1
Pravouhlé křížení	400x200-400x200-200x200-200x200	1
Pravouhlé křížení	400x315-400x315-200x315-200x315	1
Pravouhlé křížení	630x315-630x315-100x315-100x315	1
Pravouhlé křížení	630x315-630x315-160x315-160x315	1
Pravouhlé křížení	630x315-630x315-200x315-200x315	2
Pravouhlé křížení	800x315-800x315-200x315-200x315	2
Přechod	100x100-100 ϕ	2
Přechod	100x200-100 ϕ	1
Přechod	100x315-100 ϕ	2
Přechod	125x200-125 ϕ	2
Přechod	125x315-125 ϕ	2
Přechod	150x200-150 ϕ	4
Přechod	150x315-150 ϕ	1
Přechod	160x200-160 ϕ	2
Přechod	160x315-160 ϕ	2
Přechod	160 ϕ -132x132	2
Přechod	200x200-100 ϕ	1
Přechod	200x200-125 ϕ	9
Přechod	200x200-150 ϕ	7
Přechod	200x200-160 ϕ	6
Přechod	200x200-200 ϕ	4
Přechod	200x315-160 ϕ	1
Přechod	200x315-200 ϕ	8
Přechod	380x380-200 ϕ	1
Přechod	400x200-200 ϕ	1
Přechod	400x315-200 ϕ	2
Přechod	400x380-200 ϕ	1
Přechod	500x450-450 ϕ	2
Přechod	500x500-200 ϕ	1
Přechod	600x355-200 ϕ	1
Přechod	600x450-200 ϕ	1

Typ	Velikost	Počet	Popis	Výrobce
ALCM 250 R/R1	160 ϕ	3	Anemostat	MANDÍK
ALCM 300 I/R/R1	160 ϕ	4	Anemostat	MANDÍK
ALCM 400 R/R1	200 ϕ	11	Anemostat	MANDÍK
PDZM 40 200x200- .100	132x132	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 40 200x200- .100	132x132	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 400x400- .100	400x400	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 400x400- .100	100 ϕ	2	Protidešťová žaluzie	MANDÍK



PDZM 70 450x500-.100	450x500	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 450x500-.100	450x500	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 630x400-.100	630x400	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 630x710-.100	630x710	2	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 710x710-.100	100 ϕ	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
PDZM 70 800x800-.100	800x800	1	Protidešťová žaluzie	MANDÍK
TVOM 80	80 ϕ	4	Talířový ventil	MANDÍK
TVOM 100	100 ϕ	18	Talířový ventil	MANDÍK
TVOM 125	125 ϕ	18	Talířový ventil	MANDÍK
TVOM 150	150 ϕ	12	Talířový ventil	MANDÍK
TVOM 200	200 ϕ	9	Talířový ventil	MANDÍK
TVPM 80	80 ϕ	1	Talířový ventil	MANDÍK
TVPM 100	100 ϕ	18	Talířový ventil	MANDÍK
TVPM 125	125 ϕ	23	Talířový ventil	MANDÍK
TVPM 150	150 ϕ	5	Talířový ventil	MANDÍK
VNM 1A 280x425 S	280x425	1	Vyústka	MANDÍK
VNM 1A 320x325 S	320x325	2	Vyústka	MANDÍK
VNM 1A 400x200 S	400x200	1	Vyústka	MANDÍK
VNM 1A 420x200 S	420x200	1	Vyústka	MANDÍK
VVDM 300 M/V/P/R	160 ϕ	14	Anemostat	MANDÍK
VVDM 400 C/V/O/R	200 ϕ	6	Anemostat	MANDÍK
VVDM 500 M/V/P/R	200 ϕ	4	Anemostat	MANDÍK
Celkový součet: 167		167		



8. Seznam příloh k části vzduchotechniky:

- **Výkresy:**
 - **Výkres č. 8- Čárové schéma 1.NP**
 - **Výkres č. 9- Čárové schéma 2.NP**
 - **Výkres č. 10- Půdorys vzduchotechniky 1.NP**
 - **Výkres č. 11- Půdorys vzduchotechniky 2.NP**
 - **Výkres č. 12- Půdorys vzduchotechniky střecha**
 - **Výkres č. 13- Řez 1**
 - **Výkres č. 14- Řez 2**
 - **Výkres č. 15- Řez 3**
 - **Výkres č. 16- Pohled na jednotku č. 1**
 - **Výkres č. 17- Pohled na jednotku č. 2**
 - **Výkres č. 18- Pohled na jednotku č. 3**
 - **Výkres č. 19- 3D pohled 1.NP**
 - **Výkres č. 20- 3D pohled 2.NP**
 - **Výkres č. 21- 3D pohled na strojovnu**
 - **Výkres č. 22- 3D pohled celkový**
- **Přílohy:**
 - **Příloha č. 1- Výpočet dimenzí potrubí a tlakových ztrát**
 - **Příloha č. 2- Technická zpráva**
 - **Příloha č. 3- Funkční schéma pro čisté prostory**
 - **Příloha č. 4- Technické listy vzduchotechnických jednotek**
 - **Příloha č. 5- Technické listy ostatních zařízení**