

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



STUDIE ČISTÉHO PROVOZU V NEMOCNICI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:

Tereza Šamsová

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2018/2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šamsová	Jméno: Tereza	Osobní číslo: 458642
Zadávací katedra: katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Architektura a stavitelství		
Studijní obor: Architektura a stavitelství		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie čistého provozu v nemocnici

Název bakalářské práce anglicky: Case study of clean space in a hospital

Pokyny pro vypracování:
Zpracujte rešerši stávajících požadavků na čisté prostory v nemocnicích. Zaměřte se na normy, předpisy dohlížecích orgánů a technickou literaturu národní i mezinárodní. Zpracujte studii řešení větrání vybraného zdravotnického provozu s čistým prostředím, vytvořte výkresy a popis řešení. Popište provozní podmínky pro užívání prostoru a pro provoz vzduchotechnického zařízení.

Seznam doporučené literatury:
předpisy SUKL vyr 36, 32, 26, 10
ČSN EN 14644-1 Čisté prostory a příslušné řízené prostředí- Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu
Kužel, j., Mathauserová, Z. Čisté prostory ve zdravotnictví, Vytápění Větrání Instalace, č. 5, 2003.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Daniel Adamovský

Datum zadání bakalářské práce: 13. 2. 2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26. 5. 2019
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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

13. 2. 2019 Podpis studenta(ky)

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, dne 25. 5. 2019

.....

podpis

Poděkování

Velmi ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Danielovi Adamovskému, PhD. za cenné rady a připomínky v průběhu zpracování práce, za vstřícný přístup a ochotu poskytnout svůj čas.

Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Petlachovi za jeho rady a poskytnutý čas.

Poděkování patří také mému muži za trpělivost, modlitby a povzbuzování při psaní této práce i v celém studiu.

OBSAH

I. Úvod	7
1. Problematika čistých provozů	7
2. Čisté prostory	7
II. Cíle práce	10
III. Rešerše literatury	10
1. Zdroje znečištění	10
2. Stavební úpravy čistých prostorů	11
3. Proudění vzduchu v místnosti	14
4. Požadavky na vnitřní prostředí	16
5. Monitoring čistých prostor	18
6. Dispozice a provoz operačního traktu	20
7. Části vzduchotechnického systému	22
8. Montáž a údržba	27
9. Snižování spotřeby energie	30
IV. Studie	32
1. Úvod	32
2. Provoz operačního traktu	32
3. Popis řešení	35
4. Výpočty	38
5. Návrh vzduchotechnické jednotky	43
6. Návrh distribučních prvků	43
- Technická zpráva	45
- Výkaz výměr	50
V. Závěr	51
- Seznam literatury	52
- Seznam obrázků	57
- Seznam tabulek	58
- Seznam příloh	58

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá čistými prostory ve zdravotnictví, především operačními sály. Práce je zaměřena na zařízení vzduchotechniky, která jsou pro čisté prostory nezbytná. V teoretické části je zpracován přehled současných požadavků na podmínky a provoz v těchto prostorech, zabývá se také problematikou snižování spotřeby energie. V praktické části je zpracována studie zařízení vzduchotechniky pro 2 operační sály se zázemím. Zařízení je navrženo tak, aby splňovalo náročné mikroklimatické podmínky v těchto prostorech.

This bachelor's thesis examines the topic of clean spaces in health care facilities, mainly the operating theatres. The thesis is focused on air-conditioning systems, that are necessary for operation of clean spaces. In the theoretic part the current conditions and operation requirements are summarized, and it also deals with the question of lowering the energy consumption. In the practical part the air-conditioning system for 2 operating theatres and utility rooms are designed. System is designed so that it would comply demanding microclimate conditions in these spaces.

I. ÚVOD

1. Problematika čistých provozů

Čisté provozy jsou v dnešní době využívány v celé řadě aplikací a jejich využití roste spolu s vývojem technologií. Nové postupy výroby jsou velmi přesné a vyžadují přísně kontrolované prostředí. Rovněž v medicíně se rychle vyvíjejí nové metody a je třeba na ně reagovat. Vývoj směřuje k využití technologií a robotizaci, což znamená větší bezpečnost pacienta, nicméně nároky na čistotu prostředí jsou stále platné. Praxe ovšem často zaostává za nejnovějšími výzkumy, modernizace nemocnic je nákladná a trvá dlouho. Bohužel stále vznikají různé pooperační infekty a komplikace způsobené nedostatečnou hygienou na operačních sálech. Je proto třeba této problematice věnovat pozornost. Legislativě ošetřeny jsou čisté provozy v zdravotnických zařízeních, a to evropskou normou a předpisy dohlížecích orgánů, pro výrobní provozy ale takové předpisy chybí.

Ve zdravotnických zařízeních se čisté prostory používají pro operační sály, jednotky intenzivní péče, infekční oddělení a další prostory a zázemí. Vysoké požadavky na čistotu má také potravinářský a farmaceutický průmysl a výroba různých zdravotnických pomůcek. V těchto odvětvích se kontroluje především obsah mikroorganismů, které by mohly způsobit infekce. Další využití je ve velmi přesné výrobě, například optických přístrojů, elektroniky a jemné mechaniky, kde se sleduje obsah neživých částic. [1]

2. Čisté prostory

2.1. Definice

Dle normy ČSN EN ISO 14644-1 je čistý prostor definován takto:

Místnost, ve které je koncentrace částic nesených vzduchem kontrolována a klasifikována. Je navržena, konstruována a provozována takovým způsobem, aby vnikání částic do prostoru, jejich vznik a zadržování v něm bylo regulované. [2]

Čisté prostory jsou určeny třídou čistoty, kterou musí dle normy splňovat. Koncentrace částic unášených vzduchem musí v čistém prostoru splňovat limity uvedené v tab. 2.1. Částice, které v prostoru vznikají nebo které se do prostoru dostávají musí být tedy co nejeefektivněji odváděny. Toho je dosaženo velkými výměnami vzduchu, které zajišťuje vzduchotechnický systém. Vzduch musí být v zařízení několikrát filtrován, aby byla

zajištěna potřebná kvalita. Distribuce vzduchu musí být navržena s ohledem na požadované proudění vzduchu v prostoru, vzhledem k jeho funkci uspořádání. [1] [3] Provoz v těchto zařízeních podléhá zvláštním pravidlům, pohyb osob i materiálů je navržen tak, aby nedocházelo ke kontaminaci. Osoby obvykle musí při vstupu do prostoru projít filtry, kde se převléknou do sterilního oděvu, důležité je i zakrytí vlasů, případně úst a desinfekce rukou. Nezbytnou součástí je pravidelná a pečlivá údržba a úklid prostoru i vzduchotechnického zařízení. Prostory jsou testovány měřením při uvedení do provozu a jsou pravidelně kontrolovány.

2.2. Klasifikace čistých prostorů

Čisté prostory se klasifikují dle normy ČSN EN ISO 14644-1 [2]. Pro každou třídu čistoty jsou uvedeny limitní koncentrace částic různých velikostí od 0,1 μm do 5 μm . Hodnoty koncentrací uvedené v tabulce 2.1 jsou kumulativní, tzn. že limit pro určitou velikost se vztahuje na částice této velikosti a větší. Musí být určeno k jakému stavu obsazenosti se třída vztahuje.

Částice větší než 5 μm se nazývají makročástice a vlivem gravitace klesají a usazují se, pro porovnání jsou to částice 10x menší, než je tloušťka lidského vlasu. Částice menší než 0,1 μm jsou ultrajemné částice. Je možné sledovat i obsah těchto částic. [1] Sledování počtu neživých částic v čistých prostorech ve zdravotnictví je nezbytné, protože tyto částice fungují jako nosiče bakterií a virů. [3]

Číslo třídy ISO (N)	Maximální povolená kumulativní četnost částic C_n ($1/\text{m}^3$)					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
1	10					
2	100	24	10			
3	1 000	237	102	35		
4	10 000	2 370	1 020	352	83	
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7				352 000	83 200	2 930
8				3 520 000	832 000	29 300
9				35 200 000	8 320 000	293 000

Tab. 2.1. Třídy čistoty vzduchu ISO podle koncentrace částic [2]

Prostory lze také klasifikovat podle molekulárního znečištění, dle normy ČSN EN ISO 14644-8. [4] Sleduje se například obsah kyselin (ac), zásad (ba), žiravin (cr), biotoxinů (bt) nebo konkrétních látek. Výsledkem zařazení je označení ISO-AMC N (X), kde N označuje třídu čistoty od 0 do -12, vyjadřuje maximální povolenou koncentraci látky. Kategorie znečišťující látky X, je vyjádřena danou zkratkou nebo chemickým vzorcem látky.

Například zápis ISO-AMC -7 (ba) říká, že maximální povolená koncentrace zásad je $C_x = 10^{-7} \text{ g/m}^3$. [1] [4]

Další možností klasifikace je dle vyhlášky č. 414/2017 [5], která se týká lékařských provozů a zacházení s léčivy a dělí čisté prostory na 4 třídy. (tab.2.2) Počet částic za klidu se dá převést na klasifikaci podle normy ČSN EN ISO 14644-1 [2].

Třída	Maximální přípustný počet částic/m ³ rovný nebo větší			
	Za klidu		Za provozu	
	0,5 μm	5 μm	0,5 μm	5 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	nedefinován	nedefinován

Tab. 2.2 Třídy čistoty dle vyhlášky č. 414/2017 [5]

Operační sály se dělí podle úrovně požadavků na čistotu na: [3] [6]

- Superseptické operační sály: sály s třídou čistoty 5 a vyšší, pro nejnáročnější úkony, např. pro kardiochirurgii, chirurgii hlavy, transplantace a popáleniny, jsou prováděny v přetlaku
- Aseptické operační sály: požadována třída čistoty 7, jsou určeny pro běžné chirurgické úkony, jsou prováděny v přetlaku
- Septické operační sály: požadována je rovněž třída čistoty 7, jsou prováděny v podtlaku a jsou určeny pro úkony, kde lze předpokládat riziko vzniku a následného šíření agencií do okolí, například pro operace střev, zánětlivých onemocnění apod.

II. CÍLE PRÁCE

Tato práce se zabývá čistými prostory v nemocnicích, převážně operačními sály se zaměřením na vzduchotechniku. Jejím cílem je zmapovat platné předpisy týkající se čistých prostor ve zdravotnictví a dále provést rešerši dostupné literatury. Práce se zabývá teoretickou stránkou problematiky a shrnuje získané poznatky z oblasti navrhování, provozu a údržby čistých provozů. Věnuje se také nejnovějšímu vývoji v této oblasti, konkrétně otázce energetické úspornosti. Poznatky jsou prakticky uplatněné při návrhu vzduchotechniky pro konkrétní blok operačních sálů v nemocnici. Návrh je rozpracován v úrovni studie a je popsán v samostatné kapitole této práce, dokumentace je v příloze.

III. REŠERŠE LITERATURY

1. Zdroje znečištění

Zdroje znečištění můžeme rozdělit na ty, které se nacházejí a produkují nečistoty uvnitř prostoru a na vnější znečišťovatele. Je třeba eliminovat obě skupiny. V případě operačních sálů ale obvykle hlavní podíl znečištění vzniká uvnitř. [1]

1.1. Vnější znečišťovatelé

Venkovní vzduch obsahuje několikanásobně větší počet částic, než jaký je přípustný v čistém prostoru, proto je nežádoucí, aby do prostoru bez úprav pronikal. Částice zvenčí se mohou do čistého prostoru dostávat různými způsoby. Může to být netěsnostmi v konstrukcích, otvory nebo vzduchotechnickým systémem. Konstrukce operačního sálu má být co nejvíce těsná, řeší se nejčastěji jako speciální vestavba. Obvykle je operační sál umístěn ve středu dispozice a nemá okna, u starších staveb a rekonstrukcí se ale vyskytují i sály s okny. Dveří do operačních sálů je obvykle více, ale otevřeny mohou být vždy jen jedny a co nejméně často. Bylo zjištěno, že počet otevření dveří výrazně negativně ovlivňuje kvalitu vzduchu v prostoru mimo laminární pole. [7] Infiltraci lze zabránit vytvořením přetlaku v místnosti, tím že přívod vzduchu převažuje nad odvodem, asi o 20 %. Díky tomu vzduch z místnosti netěsnostmi uniká a zabraňuje proniknutí znečištěného vzduchu zvenčí. Přetlak je i v místnostech navazujících na sál, a klesá směrem od operačního sálu. [8]

Část nečistot se do prostoru dostává i vzduchotechnickým systémem, je proto třeba, aby byl venkovní vzduch dostatečně filtrován. Důležitá je pravidelná údržba vzduchotechnické jednotky a výměna filtrů. Výměny vzduchu na operačním sále jsou

velké, zhruba 20násobné, aby byl prostor neustále promýván. Vzduch odváděný ze sálu obsahuje stále poměrně málo částic a je již upravený, proto se nabízí možnost ho využívat, směšovat jej s nutným minimem čerstvého vzduchu a znovu přivádět do místnosti. [1] Toto řešení ale není optimální, protože cirkulační vzduch může být v prostoru znehodnocen, například narkotizačními plyny, které filtr nezachytí, a takto znovu přiváděn do místnosti. Lze jej použít, když je cirkulační vzduch odváděn z horní části místnosti – těžké plyny klesají dolů a odtud jsou odvedeny do exteriéru. [3] Dnes se ale o cirkulaci uvažuje více, vzhledem k požadavkům na energetickou úspornost. Nahrává tomu i fakt, že se nyní medicína přiklání spíše k nitrožilně podávané anestezii. [9]

1.2. Vnitřní znečišťovatelé

Mezi vnitřní zdroje znečištění patří všechny povrchy a zařízení, ze kterých se uvolňují částice, Znečišťovatelem může být i technologie, která v místnosti probíhá nebo desinfekční přípravky používané na úklid. Největším zdrojem částic i bakterií je ale člověk. Za minutu se z lidské kůže uvolní miliony částic a stovky bakterií, částice se oddělují i z oděvů. [3] Platí, že čím je větší pohyb člověka tím větší jsou emise částic. [1] Zdrojem částic je vlastní povrch látky, ale i místa, kde je poškozená, otvory v látce a mezery v zakrytí kůže (u krku). [10] Pro snížení znečištění vlivem přítomnosti lidí je nutné používat ochranné sterilní prostředky. Dnes se tyto pomůcky vyrábí ze syntetických materiálů a jsou jednorázové. Jedná se například o pláště, rukavice, respirátory, čepice atd. Je důležité přísně dodržovat hygienická pravidla na operačním sále, aby nebylo ohroženo zdraví pacienta. [11] [12] Další znečišťující látkou jsou narkotizační plyny, které mohou být nebezpečné pro lékaře na sále, při dlouhodobější expozici. Pacientem jsou vydechovány po dobu operace. Může být zařízení jejich odsávání. [13]

2. Stavební úpravy čistých prostorů

Pro zajištění velmi nízké koncentrace částic v čistých prostorech, konkrétně operačních sálech, je třeba, aby byly speciálně upraveny všechny povrchy (stěny, podlahy, podhledy), vybavení (operační stůl, osvětlení, různé přístroje) a aby fungoval vzduchotechnický systém. [3]

2.1. Požadavky na stavební konstrukce

Na každou část konstrukce jsou kladeny vysoké požadavky. Musí být dostatečně těsná, aby odolala různým tlakovým poměrům. [3] Při výběru materiálu, který bude použit v čistém prostoru, musíme zvážit třídu čistoty, čisticí metodu, která bude použita, riziko

biologické degradace nebo koroze a také důsledky obrušování materiálu. Na odkryté plochy je třeba používat materiály, z jejichž povrchu se neuvolňují částice, a to ani vlivem obrušování. Nebo musí být takové materiály dostatečně ošetřeny. Povrchy mají být odolné vůči častému čištění a desinfekcím, nesmí v nich vznikat póry, nesmí korodovat nebo jinak degradovat. Všechny povrchy mají být snadno čistitelné, včetně jejich napojení (příčka – strop, podlaha – příčka, vnitřní roh), to se řeší obloukovými přechody. Počet rohů, zejména vnitřních a dalších nerovností, například parapetů, by měl být co nejmenší. Je třeba věnovat pozornost i barevnosti povrchů a riziku oslnění. [14] Výsledné povrchy musí být hladké, nepropustné, bez různých vad (pórů, prasklin atd.). [15]

Důležitou vlastností použitých materiálů je i to, zda nevytvářejí nebo si neudržují elektrostatický náboj. Pokud by došlo k akumulaci elektrostatického náboje je zde za přítomnosti plynů riziko exploze nebo možnost poškození některých přístrojů. Elektrostatický náboj také způsobuje nežádoucí usazování částic. Vytváření elektrostatického náboje ovlivňuje i vzdušná vlhkost, proto lze některým negativním jevům předejít zvýšenou vlhkostí.

Způsob provedení konstrukce může být různý, může být prefabrikovaná s dokončením na stavbě nebo například skládaná z dílců – modulární systém, záleží na konkrétním případě, možnostech v daném místě, konstrukci stavby apod.

Hlavním požadavkem na konstrukci podhledu je jeho těsnost, protože prostor nad ním může být zdrojem nečistot. Je třeba dbát na utěsnění míst prostupů (například osvětlení). Obvykle se pro zhotovení podhledů používá nerez nebo hliník.

Stěny mají být odolné a chráněné proti mechanickému poškození. Exponovaná místa mohou být chráněna gumovými pásky, tak aby nedocházelo k opotřebení materiálu. V náročných případech je požadováno, aby byly panely stěnové konstrukce utěsněny. Těsněné musí umožňovat efektivní čištění. Ve stěnách mohou být prosklená neotvíraná okna, pokud je požadována roleta nebo žaluzie musí být umístěny na vnější straně čistého prostoru nebo mezi skly u dvojitého zasklení. Povrch stěn je dnes nejčastěji zhotoven z hliníku nebo nerez.

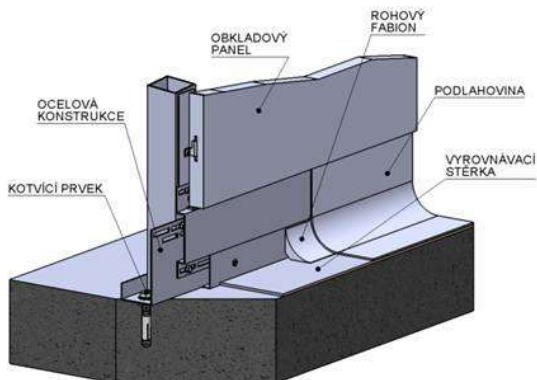
Dveře mají být bezprahové, bez výklenků, aby byla umožněna snadná čistitelnost. Jejich počet je dobré minimalizovat. U dveří vzniká vlivem pohybu mechanické opotřebení materiálů (podlahy, dveří, pantů atd.), je nutné tomu věnovat pozornost a používat dostatečně odolné materiály. Dveře jako celek musí být dobře čistitelné, používá se otevírání zatlačením nebo automatické otevírání pomocí čidel nebo spínačů. Spínače mohou být loketních, kolenní případně nášlapné. Dveře do operačních sálů mohou být otočné i posuvné, posuvné jsou ale výhodnější, protože křídlo dveří neomezuje prostor.

Obvykle jsou zhotovené z nerezového plechu. Mezera mezi zárubní a křídlem dveří je opatřena těsněním. [3] [16] [14]

Podlahy jsou mají obvykle polymerový povrch. Musí být snadno čistitelné, odolné vůči poškození, dostatečně únosné, odolné vůči působení látek, které se budou v prostoru používat, dále by měly mít protiskluznou úpravu a antistatické vlastnosti. [14]

2.2. Vestavba operačního sálu

Dnešním obvyklým řešením je vestavba operačního sálu z dílců (obr.4.2). [3] Výhodou je zkrácení doby výstavby a vyšší kvalita díky prefabrikaci. Nosnou konstrukci tvoří svislé a vodorovné profily, zhotovené z pozinkované oceli. Dále jsou třeba výztuhy a speciální rohové profily. Tato konstrukce prostorově vymezuje vestavbu. Prostor je ohraničen a dělen čistými příčkami, které jsou obvykle zhotoveny z panelů. Příčky mezi dvěma čistými prostory se panely obkládají oboustranně (obr.4.1).



Obr. 2.1 Konstrukce ocelové příčky [16] Obr. 2.2 Operační sál s vestavbou [16]

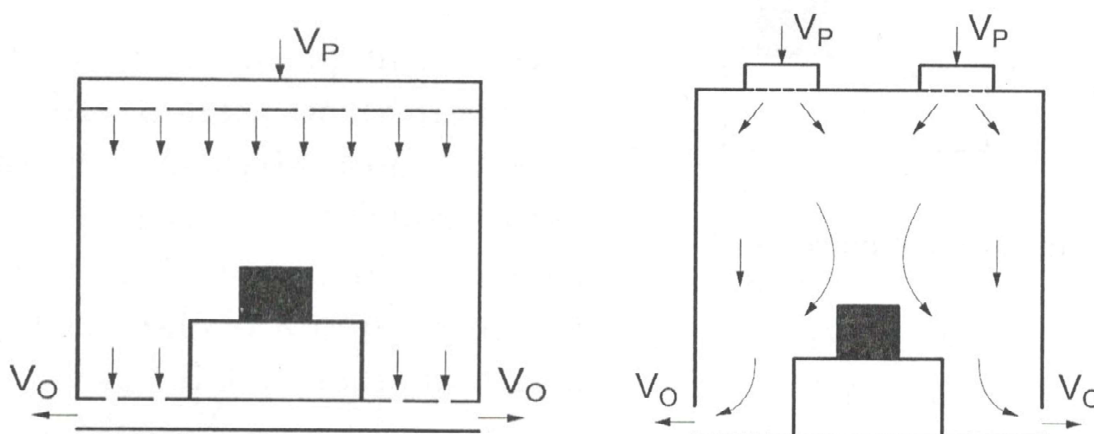
Panely jsou vyrobené z nerezového plechu, případně z pozinku a jsou opatřeny barevnou povrchovou úpravou. V současnosti je možné na panely natisknout libovolnou grafiku, například fotografii, která zlepšuje psychickou pohodu na operačním sále. Do příček lze integrovat speciální prvky, například kontrolní displeje, prosklené okenní panely, hodiny nebo vestavěné skříně. Od toho se odvíjí i výsledná tloušťka příčky.

Podhled má vlastní nosnou konstrukci z pozinkované oceli, výplň tvoří ocelové podhledové kazety nebo panely shodné se stěnovými. V případě kazetového podhledu, jsou kazety vsunuty do hliníkového profilu a utěsněny. [16] [17]

3. Proudění vzduchu v místnosti

Proudění vzduchu lze zobrazit proudnicemi, vektory rychlosti vzduchu, ale odpovídá i rozložení teplot a koncentraci škodlivin v prostoru.[18] Proudění vzduchu můžeme rozdělit na dva druhy – laminární a turbulentní. U laminárního proudění se jednotlivé proudnice nepromíchávají, jsou rovnoběžné, toho lze ale dosáhnout pouze v ideálním případě. Turbulentní proudění je vírové, vzniká při vyšších rychlostech. Rozdíly v proudění na příkladu operačního sálu jsou patrné z obrázku 3.5.

Dalším možným dělením je podle způsobu rozptýlení vzduchu v místnosti na mísení, vytěsňování a zaplavování. Nebo dle ČSN EN ISO 14644-1 dělíme reálné proudění na usměrněné a neusměrněné. [2] [18]

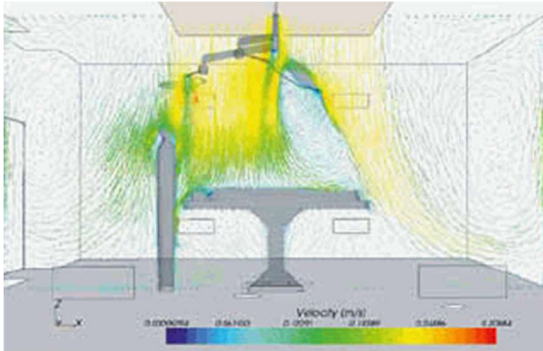


Obr. 3.1 Usměrněné proudění vzduchu [1] Obr. 3.2 Neusměrněné proudění vzduchu [1]

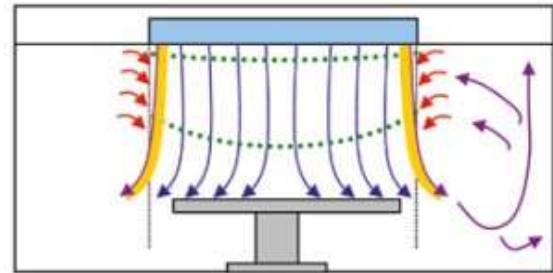
3.1. Usměrněné proudění

Usměrněné (laminární) proudění zajišťuje princip vytěsňování. Používá se v prostorech, kde jsou vysoké nároky na čistotu. Vzduch je v ideálním případě přiváděn celou plochou stropu a podlahou je nasáván. Proud vzduchu funguje jako píst a vytlačuje znečištěný vzduch. Na operačních sálech se nevytváří usměrněné proudění v celém objemu místnosti, ale pouze nad operačním stolem. Vzduch přiváděn pomocí velkoplošné výustě, používaná rychlost výtoku je 0,20 – 0,23 m/s. Proud vzduchu vytlačuje znečištěný vzduch a vzniká laminární pole, kde je proudění přibližně usměrněné a je zde největší kvalita vzduchu. Odvodní prvky nemají na celkový obraz proudění příliš velký vliv, jejich dosah je malý. Tento druh proudění se používá pro čisté prostory třídy 5 a vyšší. [3] [18]

Ve skutečnosti není ideální proudění ani v laminárním poli. Proud vzduchu obtéká překážky, například svítidla instalovaná ze stropu a podobně, je to patrné na obrázku 3.2. Dále na rozhraní přívodního proudu a okolního vzduchu vzniká mezní vrstva, charakteristická přimícháváním okolního vzduchu. (obr. 3.3) Proto kvalita vzduchu v místnosti ovlivňuje i kvalitu vzduchu v laminárním poli. Negativní vliv na obraz proudění má i lišta laminárního stropu, kterou je obvykle rozdělen. Dochází k nasávání vzduchu z okolí a jeho pohybu dál podél lišty. [3]



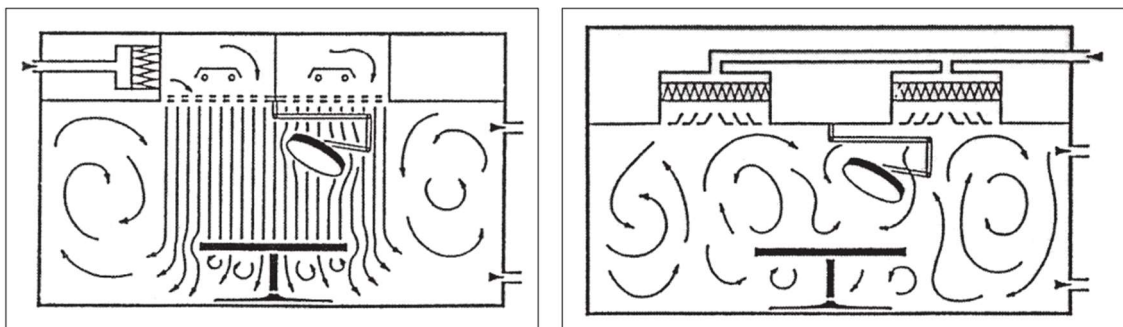
Obr. 3.3 Vektorový obraz proudění. Podélný řez OS se standardním laminárním stropem [20]



Obr. 3.4 Zjednodušené zobrazení proudění vzduchu v OS a znečištění primárního proudu vzduchem v místnosti [20]

3.2. Neusměrněné proudění

Neusměrněné proudění odpovídá turbulentnímu a je nejčastější, používá se v běžných aplikacích. Funguje na principu ředění koncentrací škodlivin – nazývá se také směšování nebo mísení. Vniká přívodem vzduchu například tryskami, anemostaty nebo štěrbinami. Primární proud z výusti se smísí se vzduchem v místnosti, vyrovnají se jejich rychlosti a teploty a vznikají primární a sekundární víry. Kvalita vzduchu je ve všech místech prostoru zhruba stejná, obsah škodlivin se snižuje ředěním. Tento způsob větrání se používá i pro čisté prostory, je možný pro třídy čistoty ISO 6 a vyšší. Objevuje se ale i tam, kde je cílem dosáhnout usměrněného proudění, jak je vidět z obr. 3.2, proudění je laminární pouze v idealizovaném případě. [3] [18]



Obr. 3.5 Příklad laminárního proudění nad operačním stolem (vlevo) a turbulentního proudění (vpravo) [19]

4. Požadavky na vnitřní prostředí

4.1. Teplotní požadavky

S návrhem systémů větrání operačních sálů se pojí i návrh optimálních úprav přiváděného vzduchu. Teplotu vzduchu na operačním sále je velmi obtížné určit, liší se v tom i předpisy různých států. Jdou proti sobě požadavky personálu a pacienta. Personál na operačním sále se skládá z operátora, asistentů, sester a anesteziologa. Každý se nachází v jiné části místnosti, vykonává jinou činnost a je jinak oblečen. Zároveň specifický obraz proudění vzduchu způsobuje, že se liší i teplotní podmínky v různých místech prostoru. Tím se stává otázka určení vnitřní teploty velmi komplikovanou.

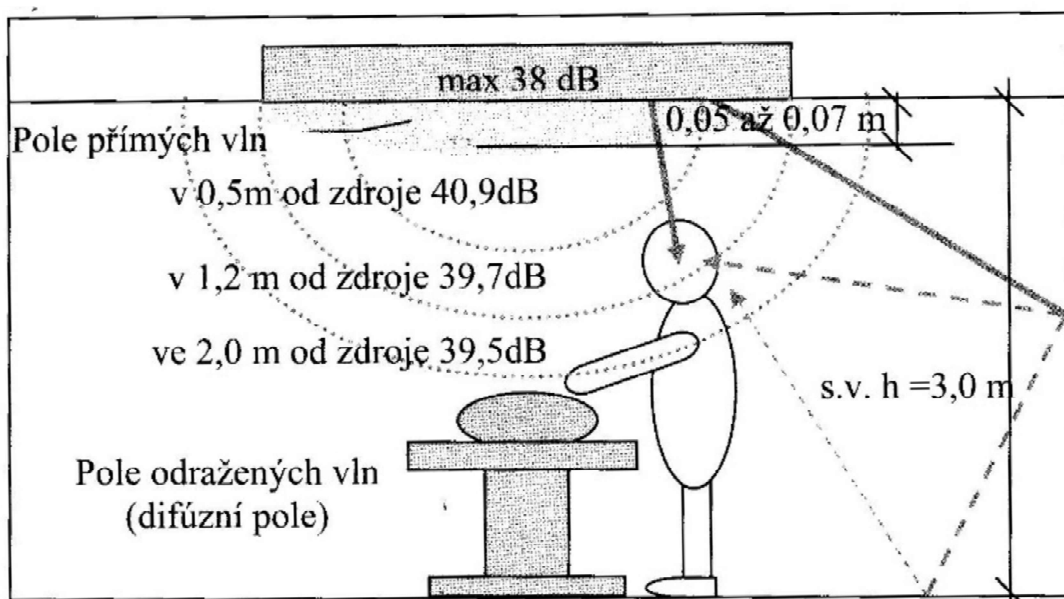
Operátor se pohybuje v laminárním poli nebo na jeho hranici a obvykle požaduje nižší teplotu, má více vrstev oblečení a při operaci by se neměl potit. Na druhou stranu studený proud vzduchu na operátora záda je nepříjemný a způsobuje zatuhlost páteře. Při některých operacích je pacient záměrně podchlazen, teplota na sále při takových výkonech je kolem 16 °C. Z pohledu anesteziologa je optimální spíše vyšší teplota. Obvykle je oblečen jen do jedné vrstvy a sedí mimo operační pole. Při nízkých teplotách hrozí riziko podchlazení pacienta, na druhou stranu je nižší teplota méně příznivá pro bakterie a viry. Obecně platí, že vzduch do místnosti se přivádí podchlazený, protože zařízení, svítidla i přítomné osoby generují teplotní zisky. Doporučená teplota přívodního vzduchu je v zimě 22–26 °C a v létě 17–23 °C, záleží ovšem na konkrétním provozu a požadavcích na vnitřní teplotu. Teplota na operačním sále se mění i v průběhu dne v závislosti na provozu. Může se měnit i podle aktuálních požadavků podle prováděného výkonu. [3] [13]

4.2. Vlhkostní požadavky

Požadavky na vlhkost vzduchu nejsou v čistých prostor v centru pozornosti, přesto jsou součástí vnitřního mikroklimatu a je třeba je při návrhu zvážit. Uvádí se hodnota relativní vlhkosti vzduchu minimálně 50 % pro zamezení vzniku elektrostatických výbojů. Dnes tomu lze zabránit i jinými způsoby – používání materiálů, u kterých toto riziko nevzniká. Obecně přípustné jsou hodnoty relativní vlhkosti vzduchu od 30 do 65 %. Vlhčení vzduchu pro čisté prostory probíhá sterilní párou. Vyrábí se buď centrálně nebo ve vyvíječi jen pro jednu jednotku. V reálných podmínkách není vlhčení vzduchu příliš používáno, i z toho důvodu že je finančně nákladné. Podmínky, kdy by relativní vlhkost vzduchu po jeho ohřátí klesla pod 30 % nenastávají často, děje se to v zimě při nízkých teplotách venkovního vzduchu. Přesto takové podmínky nastávají a pro velmi kontrolované prostředí operačních sálů nelze tuto složku zanedbat. [21]

4.3. Akustické požadavky

Hluk na operačních sálech může negativně ovlivňovat soustředěnost a způsobovat stres, a to u personálu i u pacientů. Dle několika studií byly zjištěny hlavní zdroje hluku, je to především manipulace s předměty, vozíky, zvuky různých přístrojů a komunikace personálu. V Dánsku v roce 2010 probíhal výzkum hlučnosti operačních sálů, průměrná hladina akustického tlaku A (je zohledněna váhová korekce zvukoměru) naměřená na sálech se pohybovala od 51 do 75 dB. Vyšší hodnoty mohou narušovat ústní komunikaci. Největší hladiny hluku byly naměřeny při ortopedických operacích, z důvodů používání hlučných nástrojů. [22] Jako hlavní zdroj hluku nebyl vzduchotechnický systém uveden, pravděpodobně proto že je součástí hluku pozadí. Nicméně je důležité se jím rovněž zabývat. Pokud uvažujeme operační sál jako pracoviště je dle nařízení vlády 272/2011 Sb. platný hygienický limit $L_{Aeq,T} = 50$ dB pro práci náročnou na pozornost a soustředění. Jedná se o ekvivalentní hladinu akustického tlaku A za 8 hodin pro denní dobu, případně za 1 hodinu pro noční. [23]



Obr. 4.1 Akustika prostoru s velmi nízkou pohltivostí – simulace místnosti operačního sálu [3]

Operační sál je uzavřený prostor s velmi nízkou pohltivostí povrchů. Činitel zvukové pohltivosti α vyjadřuje, jakou část zvukových vln povrch pohltí. Tvrdé materiály mají menší pohltivost oproti měkkým (např koberce, vláknité izolace). Činitel pohltivosti je pro operační sály 0,02 – 0,05, tedy extrémně malý, povrchy jsou tvrdé, často kovové a většinu vln odrážejí. Jedná se tedy o prostor, který je z hlediska akustiky problematický. [3]

Zdrojem hluku ve vzduchotechnice jsou ventilátory a další zařízení, dále aerodynamický hluk, který vzniká pohybem vzduchu v potrubí a jeho výtokem z koncových prvků. U ventilátoru lze snížit hluk již samotnou úpravou výrobků. Hluk způsobený průtokem vzduchu v rovném potrubí je obvykle zanedbatelný, roli mohou hrát tvarovky, kde proud vzduchu mění směr. Hluk z těchto dvou zdrojů se dá snížit použitím tlumičů hluku. Koncové prvky vzduchotechniky mají na operačním sále velkou plochu a průchod vzduchu přes laminizátor rovněž způsobuje hluk, který již nelze ovlivnit tlumičem. Proto je třeba dbát na správný výběr těchto prvků. Pro snížení hluku z provozu vzduchotechniky je vhodné podrobně spočítat tlakové ztráty systému, neboť jedině tak můžeme správně stanovit dimenze ventilátoru i potrubí. Tento postup je výhodný i ekonomicky. [3] [24]

Šíření zvuku v prostoru můžeme rozdělit na 2 části – pole přímých a pole odražených vln. Pole přímých vln se nachází u zdroje zvuku. U prostorů s nízkou pohltivostí je ale pole přímých vln velmi malé a téměř celý prostor zaujímá pole odražených vln a kvůli odrazu vln od povrchů se v určité vzdálenosti zvyšuje akustická energie v porovnání se zdrojem. (obr. 4.1) [3]

5. Monitoring čistých prostor

Monitoring čistoty v nemocnicích, a především v prostorech s danou třídou čistoty, je stěžejní pro bezpečný provoz a zabránění šíření nákaz. Kontrolují se povrchy, nástroje, veškerý zdravotnický materiál i vzduch. Monitoring může být prováděn buď stěry a jejich analýzou nebo odběrem vzorků přímo z ovzduší. Sleduje se obsah mikroorganismů nebo obsah prachových částic.

5.1 Způsoby měření

Kontrola ovzduší z hlediska obsahu mikroorganismů se provádí metodou volného spadu nebo nasáváním aeroskopem. Volný spad je pasivní metoda, používají se Petriho misky s živnou půdou, které se nechají na požadovaném místě po určitou dobu, volným spadem na živné půdě ulpí částice. Aeroskop aktivně nasává vzduch pomocí ventilátoru, uvnitř zařízení částice ulpí na živné půdě. (obr.5.1) Získaný vzorek se kultivuje a pomocí mikroskopu se spočítá počet kolonie tvořících jednotek. (obr.5.3 a 5.4) Obsah prachových částic ve vzduchu se zjišťuje pomocí čítače částic. (obr.5.2) [25] [26] [27]



Obr. 5.1 Aeroskop [28]



Obr. 5.2 Ruční čítač částic [29]

Přístroje pro měření musí být předem kalibrovány. Prostory jsou monitorovány za klidu nebo za provozu. Kontrolní měření za klidu se provádí vždy alespoň jednou ročně a dále při uvedení do provozu nebo při změnách. Výsledky zjištěné měřením za provozu by měly vést k případnému odstranění problému. Četnost měření závisí na druhu prostoru. [11] Vzorky mají být odebírány z místa s největším rizikem kontaminace. V případě operačních sálů je to operační stůl. Je nutné rovněž kontrolovat účinnost filtrů. [30]

5.2 Monitorování a klasifikace dle platných předpisů

Problematika monitorování a klasifikace čistých prostor je podrobně popsána v normě ČSN EN ISO 14644 a v pokynu VYR 36. [15] Jsou zde popsány postupy zařídění prostoru do třídy čistoty. Pro toto měření se používá čítač částic. Počet pozic, ve kterých bude provedeno měření je v normě stanoven podle plochy místnosti. Například pro operační sál o velikosti 36 m² by bylo provedeno měření v 9 pozicích. Je možné přidat další pozice, pokud je nějaká část prostoru riziková. Je stanoven výpočet minimálního objemu vzorku vzduchu. Měří se za provozu, ve stavu, ve kterém má být garantována třída čistoty – při reálné operaci nebo při simulacích. [2] [15]



Obr.5.3 Kultivovaný vzorek – plísně [27]



Obr.5.4 Kultivovaný vzorek – bakterie [27]

V normě ČSN EN ISO 14644-2 [31] je specifikováno vytvoření monitorovacího plánu, který je třeba, aby byla zaručena čistota po celou dobu provozu. Pro vytvoření monitorovacího plánu musíme zvážit, jaké je riziko kontaminace a jaké by měla následky. Plán obsahuje popis metod měření, které budou použity a jak často bude měření probíhat. Může být manuální i automatické. Kromě množství částic je možné měřit také tlak v místnosti nebo proudění vzduchu. V monitorovacím plánu jsou stanoveny hladiny znečištění (nebo mezní hodnoty jiných veličin), při jejichž překročení je nutné nějak reagovat. První, nižší stanovená hladina („alert“) je informativní upozornění o překročení limitu, je třeba zavést nápravné opatření. Druhá stanovená hladina („action“) už hlásí závažné překročení limitu, kdy je třeba ihned zasáhnout a situaci prošetřit. [31]

6. Dispozice a provoz operačního traktu

6.1 Dispoziční uspořádání

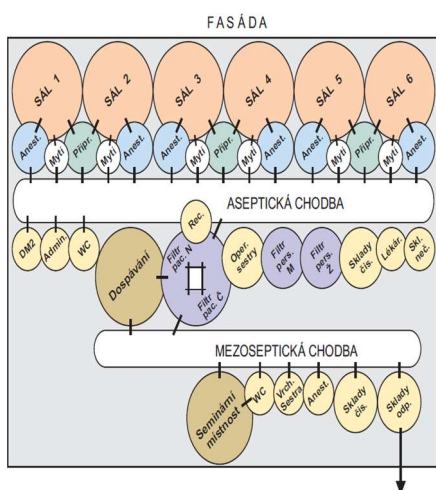
Správné uspořádání operačních sálů i jejich zázemí a návaznost dalších provozů jsou klíčové pro bezpečný chod zařízení. Vzhledem k rychlému vývoji v medicíně, zařízení rychle stárnou a mění se i prostorové požadavky. Navrhují se tak, aby byly co nejvíce univerzální a daly se modernizovat bez nutnosti zásahu do nosné konstrukce. Používají se skeletové systémy, obvykle lokálně podepřené desky se sloupy bez hlavic.

Je efektivní sdružovat sály po 4 až 8 do celků. Tento celek tvoří jádro operačního komplexu. Komplex je uzavřený a oddělený od dalších částí nemocnice filtry. Při tvorbě dispozice nemocnice je třeba dbát na návaznosti s ostatními odděleními, například s lůžkovým oddělením, urgentním příjmem, jednotkou intenzivní péče, sterilizací, odděleními zobrazovacích metod atd. [32]

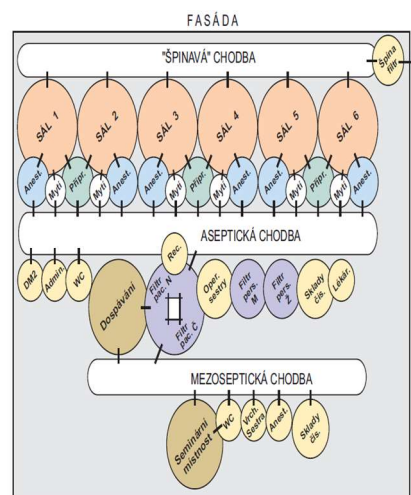
Používají se tyto dispoziční uspořádání: [33]

- uspořádání s jednou vnitřní chodbou: za filtry následuje chodba, na které se odehrává veškerý provoz, sterilní i použitý materiál je nutné převážet v uzavřených kontejnerech, aby nedošlo ke kontaminaci, obr. 6.1
- uspořádání se dvěma chodbami:
 - čistá a špinavá chodba – čistá chodba je komunikací za filtry a slouží pro přístup personálu, pacientů i sterilního materiálu na sál, špinavá chodba navazuje na operační sál z druhé strany slouží k odvozu odpadů, obr. 6.2
 - chodba pro vstup personálu, pacientů a nesterilního materiálu na sál, zvláště chodba pro sterilní materiál
- halový systém – funkčně podobné jako uspořádání s jednou chodbou

Velikost jednoho sálu je zhruba 36 m², pro speciální sály 42 m². Sály se umísťují do středu dispozice, a jsou k nim přidruženy další místnosti, které na něj přímo navazují nebo se nacházejí v blízkosti. Bývá to umývárna lékařů, místnost přípravy pacienta, sklady materiálu, pokoj na dospávání a sterilizace. Tyto místnosti mohou sloužit samostatně pro každý sál nebo mohou být sdílené 2 nebo více sály. Je to znázorněno na obrázcích 6.1 a 6.2. [33]



Obr. 6.1 Uspořádání operačních sálů s jednou chodbou [32]



Obr. 6.2 Uspořádání operačních sálů s čistou a špinavou chodbou [32]

6.2 Provoz operačního komplexu

V celém komplexu musí být dodržována přísná pravidla pohybu osob i materiálu. Jsou nastavena tak, aby byl provoz bezpečný, efektivní a nedocházelo ke kontaminaci čistých prostorů. Čistý prostor je obvykle proveden v přetlaku, rozdíl tlaků je 10-15 Pa, mezi čistým a „nečistým“ prostorem a mezi prostory různých tříd čistoty. Okolní místnosti kolem operačního sálu mají také definovanou třídu čistoty – obvykle o třídu nižší než samotný sál. [11] [15]

Pacient se do komplexu dostává přes filtr, kde je přeložen na jiné lůžko nebo na operační desku. Čistou chodbou se dostává do místnosti určené k přípravě pacienta na operaci. Odtud je dopraven na sál. Po operaci může být převezen do místnosti dospávání nebo na jednotku intenzivní péče.

Personál musí nejprve projít přes šatny, které mají dvě části – čistou a špinavou. Svléká si zde svůj oděv, ukládá ho do skříňky či na věšák a obléká se do operačního oděvu. Na sál vchází personál přes umývárnu lékařů a obléká si další ochranné sterilní pomůcky. Oblečení se liší podle třídy čistoty. Například pro sál třídy ISO 5 musí být personál oblečen do kombinézy; vlasy, případně i vousy jsou úplně zakryty; obličej je zakrytý

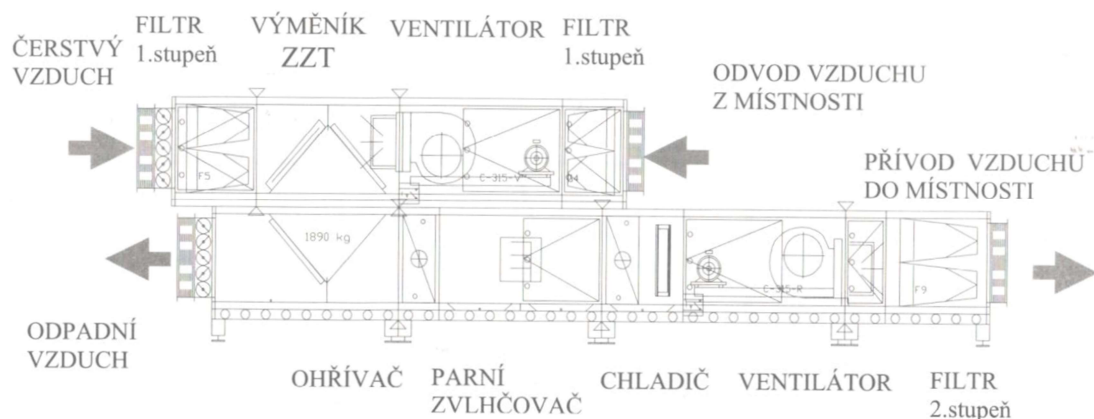
maskou. Nutností jsou nasazené sterilní rukavice. Na nohy se používají návleky nebo sterilní obuv. Je důležité mít zastrčené rukávy do rukavic a nohavice do bot návleků. Pro vstup na operační sál třídy ISO 7 by měl mít personál oblečenou kombinézu nebo kabátek a kalhoty s utaženými rukávy, musí mít rovněž zakryté vlasy i vousy, nasazenou ústenku, na ruku rukavice. Používá se speciální obuv nebo návleky. [11] [32] [33]

Materiál potřebný pro operaci je dopraven ze sterilizace nebo výroby do filtru a do skladu, který navazuje na operační sál. Odpady, které na operačním sále vznikají jsou soustředěny v kontejnerech přímo na sále a odvezeny na určené místo nebo vráceny do sterilizace. [33]

7. Části vzduchotechnického systému

7.1 Vzduchotechnická jednotka

Venkovní vzduch je nasáván do vzduchotechnické jednotky, kde je upraven na požadované parametry. Jedno zařízení slouží pro jeden nebo i více operačních sálů a obvykle i jejich zázemí. Je výhodnější mít na každý sál vlastní jednotku z důvodu lepší regulace teploty na sále. Někdy se používá systém jedné centrální jednotky pro více sálů, kde je vzduch základně upraven. Další úpravy probíhají v dílčích jednotkách pro každý sál zvlášť.



Obr. 7.1 Jednotka pro operační sál: [3]

- *Přívodní část: filtr 1. stupně, výměník zpětného získávání tepla, ohřivač, zvlhčovač, chladič, ventilátor, filtr 2. stupně.*
- *Odvodní část: filtr 1. stupně, ventilátor, výměníku zpětného získávání tepla.*

Jednotka musí být vyrobena v hygienickém provedení, má speciální úpravu povrchů a je snadno udržovatelná. Lze jí umístit do vnějšího i vnitřního prostoru, umístění uvnitř je ale bezpečnější i jednodušší pro údržbu. Čerstvý vzduch je do jednotky nasáván z místa, s co největší kvalitou ovzduší, minimální výška sání je jeden metr nad zemí. Skladba jednotky je vidět na obr. 7.1.

Pro operační sály se z důvodu větší bezpečnosti nepoužívá cirkulace vzduchu. Teplo z odpadního vzduchu se využívá k ohřívání přívodního vzduchu ve výměníku, kde se proudy vzduchu nemísí. Systém se za běžného provozu vůbec nevypíná ale vždy běží alespoň na poloviční výkon. Výkon ventilátorů je se zanášením filtrů nutné postupně zvyšovat pomocí frekvenčního měniče. Regulace probíhá na základě měření rychlosti vzduchu v potrubí. [3] [8]

7.2 Teplotní úprava vzduchu

Venkovní vzduch je nutné upravit na požadovanou teplotu, která se pohybuje v rozmezí od 17 do 27 °C. První teplotní úprava vzduchu je jeho ohřev ve výměníku zpětného získávání tepla. Využívá tepla odpadního vzduchu pro ohřátí přiváděného vzduchu. V letních měsících se toto zařízení nepoužívá a vzduch obtéká okolo. Výměník je vhodný deskový, případně trubkový. Rotační regenerační výměníky se pro čisté prostory obvykle nepoužívají, neboť může dojít ke smísení odpadního a čistého vzduchu. V případě, že sání vzduchu je oddělené od výfuku lze použít výměníky s kapalinovým okruhem. Používané deskové výměníky mohou mít účinnost 40–80 %, vždy záleží na velikosti teplosměnné plochy. Obvykle se s vyšší účinností pojí větší velikost výměníku a vyšší tlakové ztráty. V zimním období vzniká riziko kondenzace vodní páry ve výměníku, v horším případě i jeho namrzání, které výrazně snižuje účinnost a může i poškodit výměník. Pro zamezení namrzání se používá systém měření teploty přiváděného vzduchu za výměníkem, pokud klesne pod +5 °C je výměník uzavřen klapkou a vzduch proudí okolo. [3] [34]

Ohříváč i chladič fungují jako vodní výměníky, umísťují se mezi 1. a 2. stupeň filtrace. Neliší se od zařízení v běžných aplikacích, pouze musí být zhotoveny v hygienickém provedení. Chladič má eliminátor kapek. [3] [8]

7.3 Vlhčení

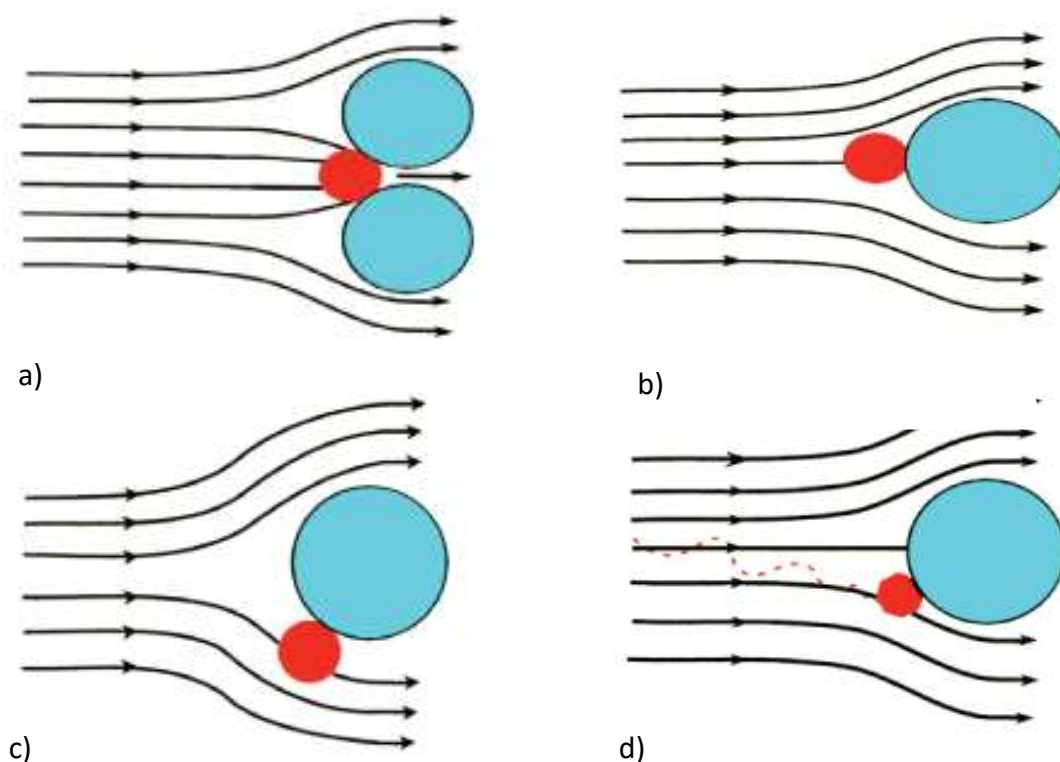
Vzduch se vlhčí parou, která nesmí obsahovat zdraví škodlivé látky – sterilní (čistá pára). Může být vyráběna ve vyvíječi páry přímo u jednotky nebo v centrálním zdroji. Rovněž se umísťuje mezi 1. a 2. stupeň filtrace. [3] [8]

7.4 Filtrace vzduchu

Pro čisté prostory je filtrace přiváděného vzduchu naprosto stěžejní, neboť se ve venkovním vzduchu nachází velké množství částic, obsah až desítky milionů v 1 m^3 , tuto koncentraci je třeba snížit na desítky nebo jednotky částic v 1 m^3 . Je toho dosaženo pomocí filtrů, přes které přiváděný vzduch prochází. Označení tříd filtrů se řídí normou ČSN EN ISO 16890-1 [35], která se zabývá filtry pro všeobecné větrání a dále dle ČSN EN 1822-1 pro vysoce účinné filtry. [36]

Je třeba dbát na správnou instalaci filtrů a pravidelnou údržbu, neboť jinak ztrácí účinnost. Materiálem, který zachytává částice mohou být organická, syntetická vlákna, pro jemné filtry se používají skelná mikrovláknna, která jsou ve formě papírů skládaná do rámečku. [3]

Vzduch přiváděný do čistého prostoru operačního sálu musí být třikrát filtrován. První filtrace je na vstupu do vzduchotechnické jednotky, používá se filtr třídy minimálně ISO ePM10 50 %. Další filtr je na výstupu z jednotky, jedná se například o filtr třídy alespoň ISO ePM1 80 %. Potřetí je vzduch filtrován před distribučním prvkem, kde je umístěn vysoce účinný filtr HEPA nebo ULPA. [3]



Obr. 7.2 Principy filtrace vzduchu [37]

a) Efekt síta b) Setrvačnost částice c) Zachycování d) Rozptylování

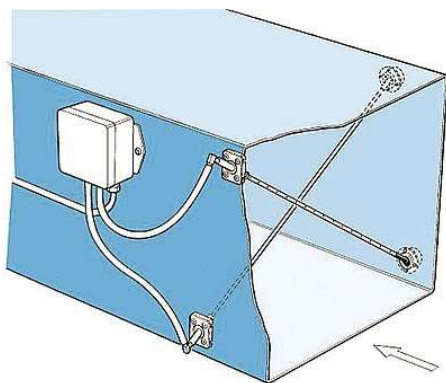
K filtraci vzduchu se využívá několik principů, podle velikosti částic, které má filtr zachytit. Graficky znázorněno na obr. 7.2. Pro největší částice a první fázi filtrace lze použít efekt síta, kdy jsou částice zachytávány v mezerách mezi vlákny, mezery jsou menší než velikost částice. Dalším způsob filtrace funguje díky setrvačnosti částic, proud vzduchu v blízkosti překážky – vlákna filtru mění směr, a obtéká překážku, zatímco částice díky své hmotnosti pokračuje setrvačností a zachytí se. U částic o velikosti 0,1 – 0,2 μm funguje princip zachycování, tyto částice mají malou hmotnost a jsou přitahovány a zachycovány adhezí silou k vláknům filtru, nekopírují proud vzduchu. U nejmenších částic (<0,1 μm) dochází k rozptylování. Tyto částice se pohybují po nepravidelných drahách (Brownův pohyb), nutně nekopírují proud vzduchu a je větší pravděpodobnost jejich zachycení na vlákna. Zachycení jsou díky van der Waalsovým silám. [38] [3]

7.5 Vzduchovody a další zařízení

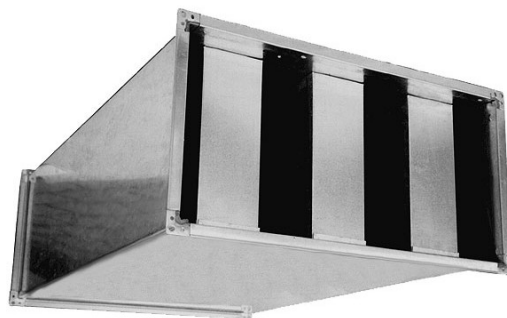
Materiály použité pro vzduchovody musí být k tomuto účelu určeny a nesmí ovlivňovat kvalitu vzduchu, který jimi prochází. [14] Potrubí se navrhuje co nejkratší, musí být těsné, aby nedocházelo k přisávání neupraveného vzduchu na trase zejména mezi jednotkou a koncovým prvkem. Má být provedeno ve třídě těsnosti C, lépe B dle normy ČSN EN 1507 [39]. Znamená to, že spoje jsou utěsněny pryžovým materiálem. Nedoporučuje se použití ohebných potrubí pro připojení distribučních elementů.

Do vzduchodů je třeba instalovat také další prvky, například regulační, měřicí atd. Požární klapky musí být osazeny na potrubí v případě, že prochází dělicí konstrukcí mezi dvěma požárními úseky a má plochu větší než 40 000 mm^2 . Klapky musí být přístupné pro revize. Na jednotlivých větvích je vhodné osadit regulační klapky, aby mohl být celý systém přesně nastaven. Pro měření rychlosti vzduchu v potrubí se používají anemometry nebo měřicí kříže. (obr.7.3) Měření rychlosti je důležité pro správnou regulaci výkonu ventilátoru. Podle naměřené rychlosti je upravován výkon ventilátorů, aby byly zajištěny stálé tlakové poměry a konstantní průtok vzduchu. Tyto prvky nesmí být osazeny přímo v čistém prostoru, kde je těsný podhled, který znemožňuje přístup.

Pro zajištění akustické pohody musí být osazeny tlumiče hluku (obr.7.4), používají se buňkové i kulisové, vždy v hygienickém provedení. Pro čisté prostory se doporučuje umístění ve vzduchotechnické jednotce. Hluk je tak tlumen nejbližší zdroji, kterým jsou ventilátory. Tlumiče by měly být otěruvzdorné a vodoodpudivé [3] [8] [40]



Obr. 7.3 Měřicí kříž [41]



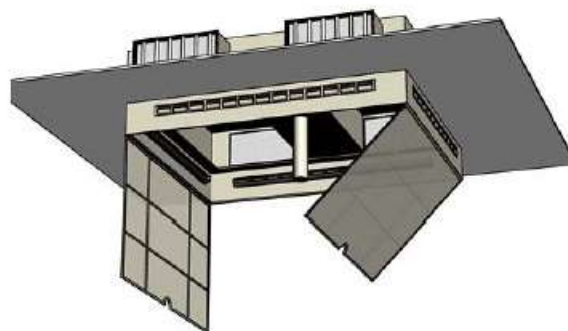
Obr. 7.4 Kulisový tlumič hluku [42]

7.6 Distribuční prvky

Distribuce vzduchu do čistých prostor probíhá pomocí tzv. čistých nástavců a může mít dvě základní podoby. První je použití běžných vyústí se zabudovaným filtrem, které se používají pro neusměrněné proudění. Druhá možnost je použití velkoplošného prvku a vytvoření usměrněného proudění v jeho blízkosti. V obou případech je před distribučním prvkem umístěn filtr 3. stupně, dle třídy čistoty, jedná se o filtry H12-U16. [3]



Obr. 7.5 Přívodní prvek s filtrací [43]



Obr. 7.6 Laminární strop [20]

Přívodní prvek pro neusměrněné proudění se skládá ze skříně z ocelového plechu, ošetřeného práškovým lakem, na které je osazena klasická vířivá výust' nebo například děrovaná deska. [3] [44]

Velkoplošným koncovým prvkem používaným v operačních sálech je laminární strop. Jeho součástí je skříně, svařená z oceli, s povrchovou úpravou práškovou barvou. Do skříně jsou připojeny přívodní vzduchovody, přes filtry se vzduch dostává do tlakové komory, odkud je laminátorem distribuován do prostoru. Rychlost vzduchu na výstoku

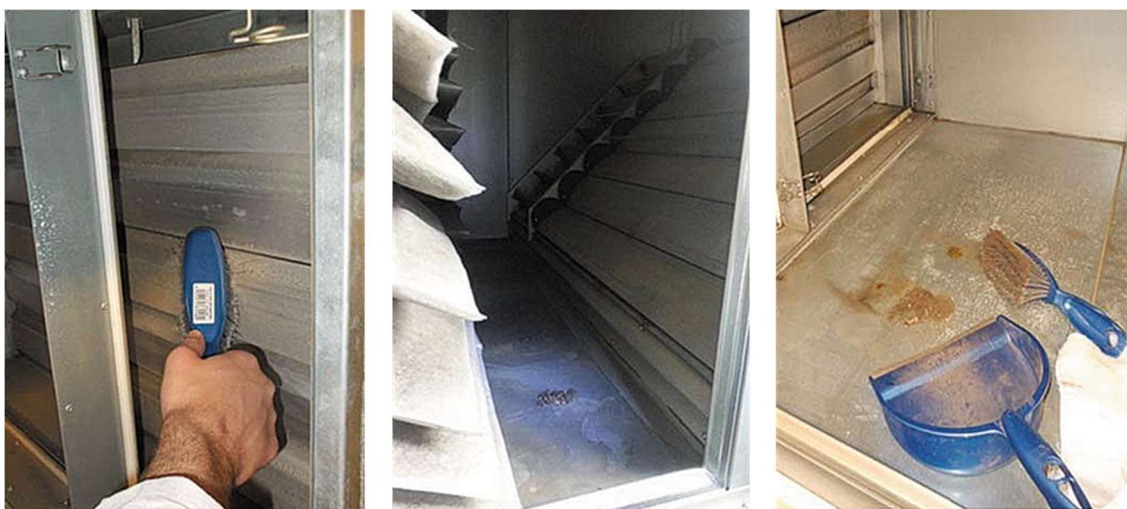
z laminizátoru 0,20 – 0,23 m/s. Filtry mohou být umístěny vodorovně nebo svisle. Při svislém umístění jsou vzduchovody napojeny z boku skříně, poté vzduch prochází přes filtry, za nimiž vzniká 1 tlaková komora. Pokud jsou filtry umístěny vodorovně, jsou vzduchovody přivedeny v horní části a tlakové komory vznikají 2 – před a za filtrem. Toto uspořádání se používá méně často, protože má horší parametry. Výtokovou plochu tvoří laminizátor. Je vyrobený z mikrotkaniny, která je napnutá v rámu a zajišťuje rovnoměrné proudění. V laminárním stropu je obvykle integrováno osvětlení a prostupuje jím tubus operačního svítidla. [3]

Odvodními prvky jsou běžné mřížky, anemostaty nebo vířivé vyústě. Vždy musí být čistitelné. Vzduch se obvykle odvádí od podlahy i od stropu. Je doporučeno odvádět vzduch u podlahy alespoň ze dvou rohů, které jsou u hlavy pacienta. U superseptických sálů ze všech dolních rohů místnosti. [3]

8. Montáž a údržba

8.1 Montáž

Dodržování správného postupu při montáži potrubí je velmi důležité, neboť zanesení částí vzduchotechniky již během instalace může později způsobovat kontaminace prostoru. Při instalaci nesmí na stavbě probíhat mokré a prašné procesy, aby nebyly zaneseny vnitřní části vzduchovodů. Musí být provedena pečlivá kontrola všech součástí před jejich instalací. Všechny nainstalované koncové prvky musí být zaslepeny folií, stejně tak neukončené části potrubí. Po montáži potrubí se po částech, náhodně provádí zkoušky těsnosti potrubí. [45]



Obr. 8.1 Mechanické čištění vzduchotechnické jednotky [46]



Obr. 8.2 Mokré čištění vzduchotechnické jednotky [46]

Po dokončení instalace potrubí a jeho pe liv e kontrole se vyčistí vzduchotechnická jednotka a odlepí se ochranné folie z distribučních elementů. Poté lze systém zkušebně spustit. Filtry do čistých nástavců se instalují až po dokončení prostoru, po montáži podhledu a po prvním spuštění jednotky. Je velmi důležité, aby nebyly nijak kontaminovány před jejich osazením.

Poté se znovu spouští systém, dochází ke kontrolám a měřením. N asledn e je nutn e jednotku i distribuční elementy vyčistit a desinfikovat. Desinfikuje se i přivodní potrubí. V této  asti lze provést regulaci systému, při které se nastavují p esn e přítoky vzduchu. Tak e se kontrolují všechna za izen i, která jsou součastí vzduchotechniky. [45]



Obr. 8.3 Chemické čištění vzduchotechnické jednotky [46]

8.2 Uvedení do provozu

Pro splnění podmínek pro provoz je nutné provést úklid, který má tři části. První je suché mechanické čištění, poté následuje mokré čištění. Při něm se používá slabé desinfekce. Poslední je mokré chemické čištění, k němu se používají velmi silné desinfekce. Při všech fázích úklidu je třeba blokovat dveře nebo alespoň co nejvíce omezit jejich otevírání. Po úklidu mohou být akreditovanou laboratoří provedeny validační zkoušky, které umožňují uvést zařízení do zkušebního provozu. Měří se při nich například rychlosti vzduchu, tlakové rozdíly, teplota, vlhkost a hluk. Dále se odebírají se vzorky ze vzduchu i povrchů pro kultivaci. Pro zkušební provoz je nutná také kolaudace. Pokud je zkušební provoz bezproblémový, je po jeho skončení zahájen provoz trvalý. [45]

8.3 Údržba prostorů

Pravidelně a pečlivě čištěny musí být nejen vlastní prostory operačních sálů a dalších čistých prostor, ale také vzduchotechnická zařízení. Bez údržby a výměny filtrů není možné počítat s tím, že čistota na sále bude v navržené třídě. Pokud není dostatečně často prováděna údržba mohou být zařízení kontaminována aerosolem, který vytváří podmínky pro růst mikroorganismů. Pokud jsou takto znečištěny i vzduchovody je nutné jejich vyčištění, to je ovšem velmi komplikované a nákladné. [3]

Čištění vzduchotechnické jednotky se provádí při výměně filtrů, nejprve se vyčistí mechanicky komory jednotky, poté probíhá mokré čištění a následně chemické (obr. 8.1). Jednotka k tomu musí být uzpůsobená, její povrchy musí být hladké a odolné proti korozi a chemickým látkám. [10]

Pro zajištění pravidelné údržby slouží sanitační plán a plán preventivní údržby. V těchto plánech je popsáno vzduchotechnické zařízení i celý prostor. Všechny součásti jsou rozděleny na kritické a nekritické podle jejich provozu a údržby. Jsou zde také popsány pravidelné úkony a jak často mají být prováděny. Například jak často mají být měněny filtry. [11]

Úklid čistých prostorů můžeme rozdělit na 3 druhy: [47]

- Hrubý úklid – odstranění částic větších než 50 μm , tyto částice sedimentují a jsou nejčastěji na podlaze
- Střední úklid – odstranění částic o velikosti 10–50 μm , tyto částice se nacházejí na různých površích
- Jemné čištění – obvykle se používá na povrchy v kritických místech v prostoru, odstraňují se částice menší než 10 μm

Jsou různé metody používané k úklidu. Je to například vysávání, které se používá k odstraňování větších částic. Není náhradou mokrého čištění, ale může ho doplňovat. Při vysávání je důležité postupovat uváženě a nezpůsobovat vzduchové víry. Další metodou je mokré čištění. Pro silně znečištěné povrchy se používá mokré čištění kartáčem. Je třeba věnovat pozornost možnosti vzniku kontaminujících látek vlivem obrušování povrchů nebo materiálu kartáče. Po kartáčování má následovat čištění mopem, které se používá pro jemné a střední čištění. Mop může odstraňovat také kapalně znečištění a lze jej použít pro čištění podlah i stěn. Je nutné často měnit vodu do které je mop namáčen a dobře ho ždímat. Postupuje se systematicky, aby byl vyčištěn celý povrch. Poslední možností je vlhké čištění, jedná se o otírání a používá se pro střední a jemné čištění. Používá se k němu navlhčená utěrka, při čištění musí být dostatečně často měněna. Při úklidu čistých prostor je třeba být velmi pečlivý, dávat si pozor na detaily a otřít všechny plochy, například i stativy svítidel apod. Z důvodu bezpečnosti pacientů se úklid a údržba nesmí zanedbávat. [10] [47]

9. Snižování spotřeby energie

Snaha o snížení spotřeby energie je téma, které se prolíná mnoha obory a stavebnictví není výjimkou. Hledají se nová řešení, která by uspokojovala naše náročné potřeby a zároveň byla šetrná k životnímu prostředí. Je třeba říci, že větrání čistých prostor je v tomto směru problematické. Velké výměny vzduchu, které jsou nutné z hygienických důvodů znamenají, že potřeba energie na ohřev, vlhčení a chlazení vzduchu je velmi vysoká, u nemocnic tvoří větrání, chlazení a vytápění 60 % z celkové spotřeby energie pro budovu. Nemocniční, i jiné stavby s nutností velkých výměn vzduchu se dostávají do nevyhovující třídy energetické náročnosti budov. [3]

Od roku 2020 je povinností dle evropské směrnice [48], aby všechny nově postavené budovy byly budovy s téměř nulovou spotřebou energie. To může být pro stavby nemocnic i jiných staveb s čistými prostory velký problém. Zatím není známé řešení, které by mohla dosáhnout tak nízkých spotřeb energie, nicméně jsou řešení, která spotřebu energie snižují alespoň částečně. [49]

Jednou ze zřejmých variant je použití směšování, čímž částečně využijeme upravený odváděný vzduch. Není to ale možné ve všech aplikacích, v některých případech je odváděný vzduch znečištěný a směšování je značně rizikové. Toto řešení lze použít v případě, že v prostoru nevzniká kontaminace mikroorganismy – například na jednotkách intenzivní péče pro popáleniny. Další možností je zařízení zpětného získávání tepla, která značnou část energie šetří a nepředstavují hygienický problém. Používají se výměníky, ve kterých nedochází ke směšování odpadního a přívodního vzduchu.

Účinnost zpětného získávání tepla je mezi 40 a 80 %. Velmi záleží na vnějších podmínkách a na velikosti výměníku. Při mrazech může dojít k odstávce, z důvodu rizika zamrznutí, což opět snižuje celkovou účinnost. [3]

Další možností je hledání řešení, kterým dostačují menší výměny vzduchu, aniž by se snížila kvalita čistého prostoru. Existuje několik řešení, které se již používají, ale v České republice zatím nejsou rozšířené. Jednou možností, která se používá je laminární strop, který není nad operačním stolem, ale tvoří prstenec okolo něj. (obr.9.1) Při tomto uspořádání je možné přivádět menší množství vzduchu. Výhodou je i to, že přívodní prvky nekolidují s operačními svítidly, která musí být umístěna nad operačním stolem. Systém má i své nevýhody, ale v některých případech může být nejlepším řešením. [50]

Dalším řešením, které se používá ve Skandinávii je přivádění vzduchu s kontrolovanou teplotou pomocí půlkruhových útvarů. (obr.9.2) Systém se nazývá *Temperature controlled AirFlow technology (TcAF)*. Dle výzkumu [51] bylo zjištěno, že toto řešení má téměř o 30 % nižší spotřebu energie než klasický laminární strop, při zachování srovnatelné kvality prostředí. Ve výzkumu byla ovšem pro řešení s laminárním stropem použita vysoká výtoková rychlost, 0,4 m/s. Dnes se navrhuje výtokové rychlosti okolo 0,2 m/s, čímž se snižuje množství potřebného vzduchu. Záleží ovšem na konkrétním případě, zde byla použita 70% cirkulace. Řešení TcAF přivádí nad operačním stolem z půlkruhových útvarů uspořádaných do kruhu vzduch o teplotě o 1,5 K nižší, než je teplota v místnosti. Další přívodní útvary jsou rozmístěné na stropě a přivádí teplejší vzduch. Studený proud vzduchu klesá dolů a vytváří čisté pole. [51] [52]



Obr. 9.1 Prstenec laminárního stropu kolem operačního stolu [50]



Obr. 9.2 TcAF systém na operačním sále [52]

V současné době není známé řešení, které by umožňovalo vytvářet čisté prostory bez velkých nároků na energii. V této oblasti ale probíhá vývoj a lze očekávat, že spolu s dokonalejší technologií se bude spotřeba energie snižovat. Metoda, kterou toho lze dosáhnout je také přesné a automatické ovládání systému, který se například přepíná do útlumového režimu v době, kdy sál není používán nebo přesně dávkuje množství vzduchu podle potřeb na sále. [50]

IV. STUDIE

1. Úvod

Předmětem této studie je operační trakt v objektu nemocnice. Konkrétně studie řeší vzduchotechniku dvou operačních sálů a k nim přilehlých místností, které slouží pro mytí lékařů, přípravu pacienta a skladování materiálu. Studie se zabývá také provozem v celém operačním traktu.

Řešené místnosti jsou čisté prostory se specifickými požadavky na vnitřní prostředí. Cílem studie je navrhnout optimální řešení pro zajištění potřebných podmínek v místnostech. Součástí studie je i projektová dokumentace.

2. Provoz operačního traktu

Operační trakt patří v nemocnici k místům s největší třídou čistoty a je proto nutné dodržovat přísné podmínky provozu. Zde se v operačním traktu se nachází 8 operačních sálů ve 3 skupinách.

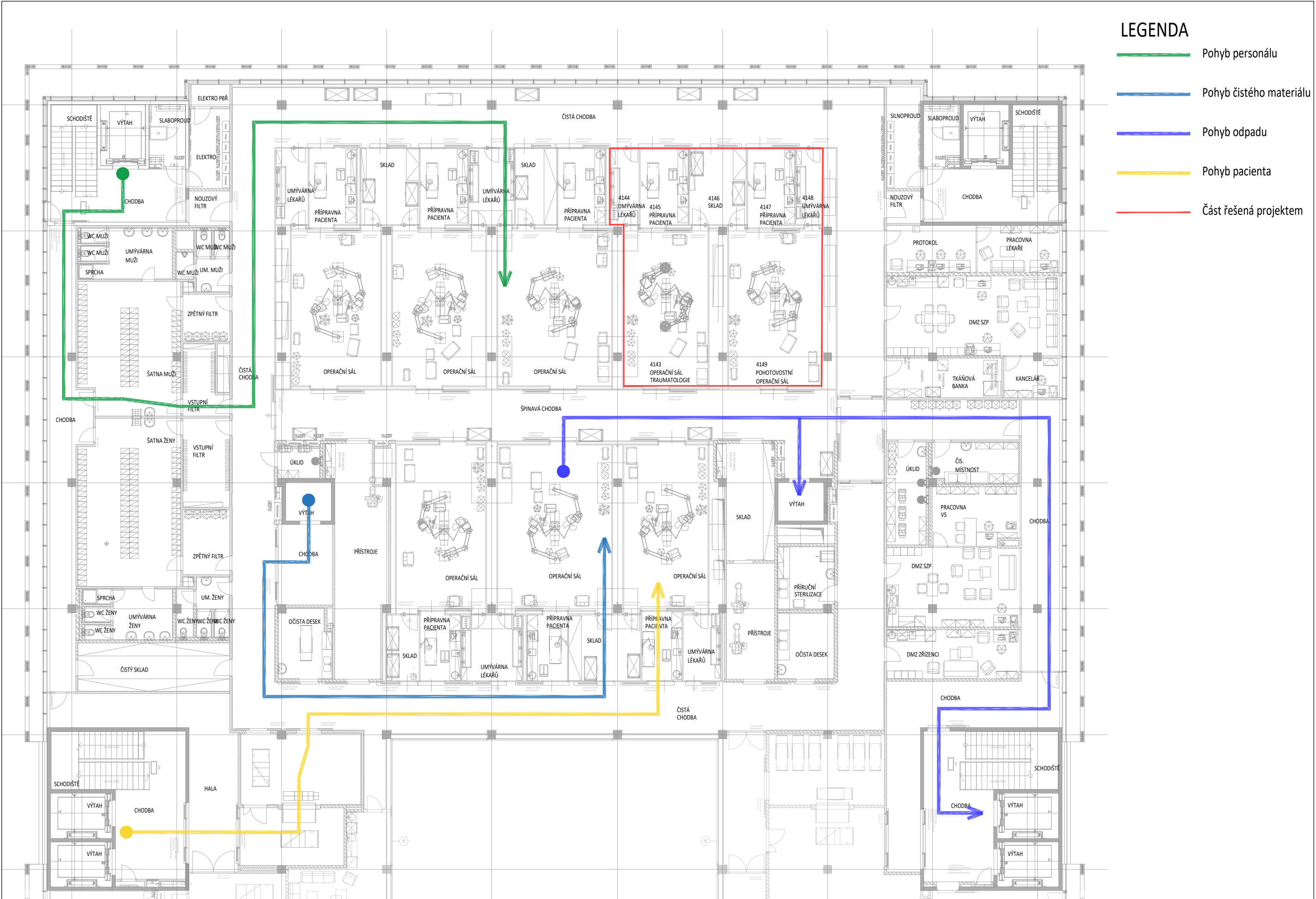
Personál musí při vstupu na sál projít přes šatnu, kde se převlékne a přes vstupní filtr se dostává na čistou chodbu. Z ní jsou přístupné denní místnosti a pracovny lékařů. Na operační sál jde personál přes umývárnu lékařů, kde si umyje ruce. Sál opouští stejnou cestou, případně přes špinavou chodbu z druhé strany sálu. Poté musí projít zpětným filtrem zpět do šatny.

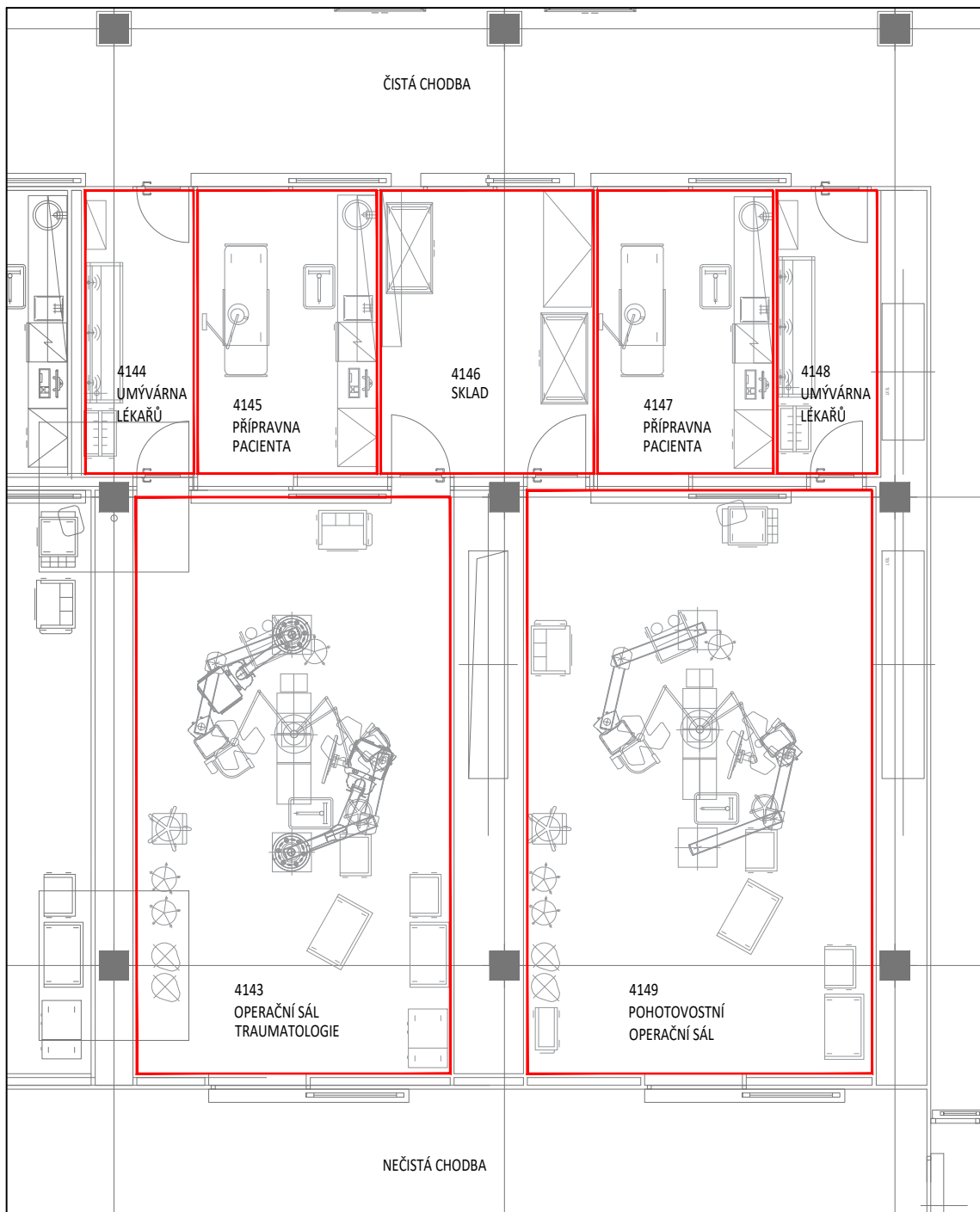
Pacient je dopraven výtahem, následně je prokládacím oknem přeložen na operační desku. Takto může být přes čistou chodbu převezen do místnosti přípravy pacienta. Tato místnost navazuje přímo na operační sál.

Čistý materiál je z centrální sterilizace dopraven výtahem. Odtud je přes čistou chodbu převezen do skladu u operačního sálu. Odpad vznikající na sále je odvážen přes špinavou chodbu. Může být poslán výtahem zpět do sterilizace nebo je dopraven do místnosti odpadů a odvezen z nemocnice. Na patře se nachází i příruční sterilizace pro případ potřeby a další místnosti sloužící pro skladování a úklid.

LEGENDA

- Pohyb personálu
- Pohyb čistého materiálu
- Pohyb odpadu
- Pohyb pacienta
- Část řešená projektem





Tab. S1: TABULKA MÍSTNOSTÍ

č. místnosti	název místnosti	plocha [m ²]	objem [m ³]	výška k podhledu [m]
4.143	Operační sál - traumatologie	43,8	131,4	3
4.144	Umývárna lékařů	7,2	21,6	3
4.145	Přípravna pacientů	12,3	36,9	3
4.146	Sklad	14,2	42,6	3
4.147	Přípravna pacientů	12	36	3
4.148	Umývárna lékařů	6,7	20,1	3
4.149	Operační sál - pohotovostní	48,1	144,3	3

Místnosti řešené studií 1:100

3. Popis řešení

Studie řeší větrání dvou operačních sálů a k nim přilehlého zázemí. Jedná se o čisté prostory s danou třídou čistoty ISO. Pro větrání budou použity 2 vzduchotechnické jednotky umístěné ve strojovně ve 2.NP. Množství přiváděného vzduchu bylo určeno na základě doporučených výměn vzduchu pro tyto prostory.

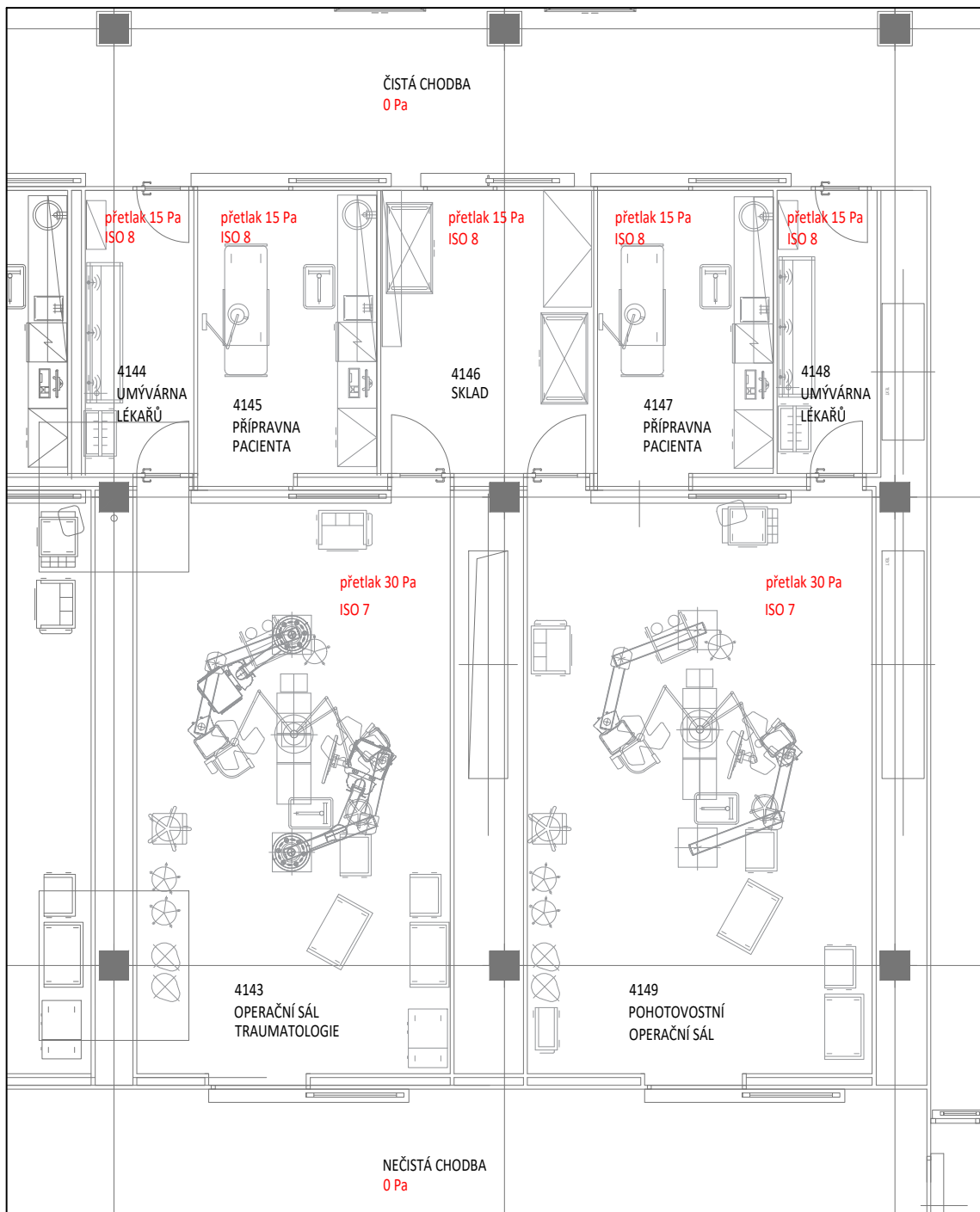
Místnosti budou provedeny v přetlaku, který bude klesat směrem od nejčistšího prostoru, kterým jsou operační sály. Přetlak bude zajištěn tím, že přívod vzduchu bude převažovat nad odvodem. Rozdíl mezi množstvím přiváděného a odváděného vzduchu byl určen na základě výpočtu. Rozdíl tlaků bude monitorován.

Oba sály jsou aseptické a vyžadují třídu čistoty ISO 7. Místnosti zázemí mají čistotu o jednu třídu nižší – ISO 8. . Pro operační sály bude použito usměrněné proudění vzduchu pomocí laminárních stropů, v ostatních místnostech bude proudění neusměrněné.

Určení vlhkosti a teploty vzduchu v místnostech je obtížné a závisí na mnoha faktorech. Ve studii byly určeny střední hodnoty, které vyhovují obvyklým požadavkům, ale bude možné je regulovat. Relativní vlhkost vzduchu se bude pohybovat v rozmezí 40-55 %. Teplota vzduchu v místnosti je stanovena na průměrnou teplotu 21 °C, závisí ale na venkovních teplotních podmínkách a na požadavcích na sále, ty se mohou měnit i s typem prováděného zákroku. Pro pokrytí tepelných zisků bude teplota přiváděného vzduchu o 2 °C nižší, než je požadovaná teplota na operačním sále. Teplota i vlhkost vzduchu bude měřena. Podmínky v ostatních místnostech budou podřízeny operačním sálům.

Filtrace vzduchu bude třístupňová. První dva stupně filtrace budou ve vzduchotechnické jednotce. První filtr na vstupu do jednotky bude třídy ISO ePM10 60 %, druhý bude třídy ISO ePM1 80 %. Třetí stupeň filtrace bude HEPA filtr před distribučním prvkem, pro operační sály třídy H13, pro zázemí H12. Filtry musí být pravidelně vyměňovány, s jejich zanášením se bude postupně zvyšovat výkon ventilátoru.

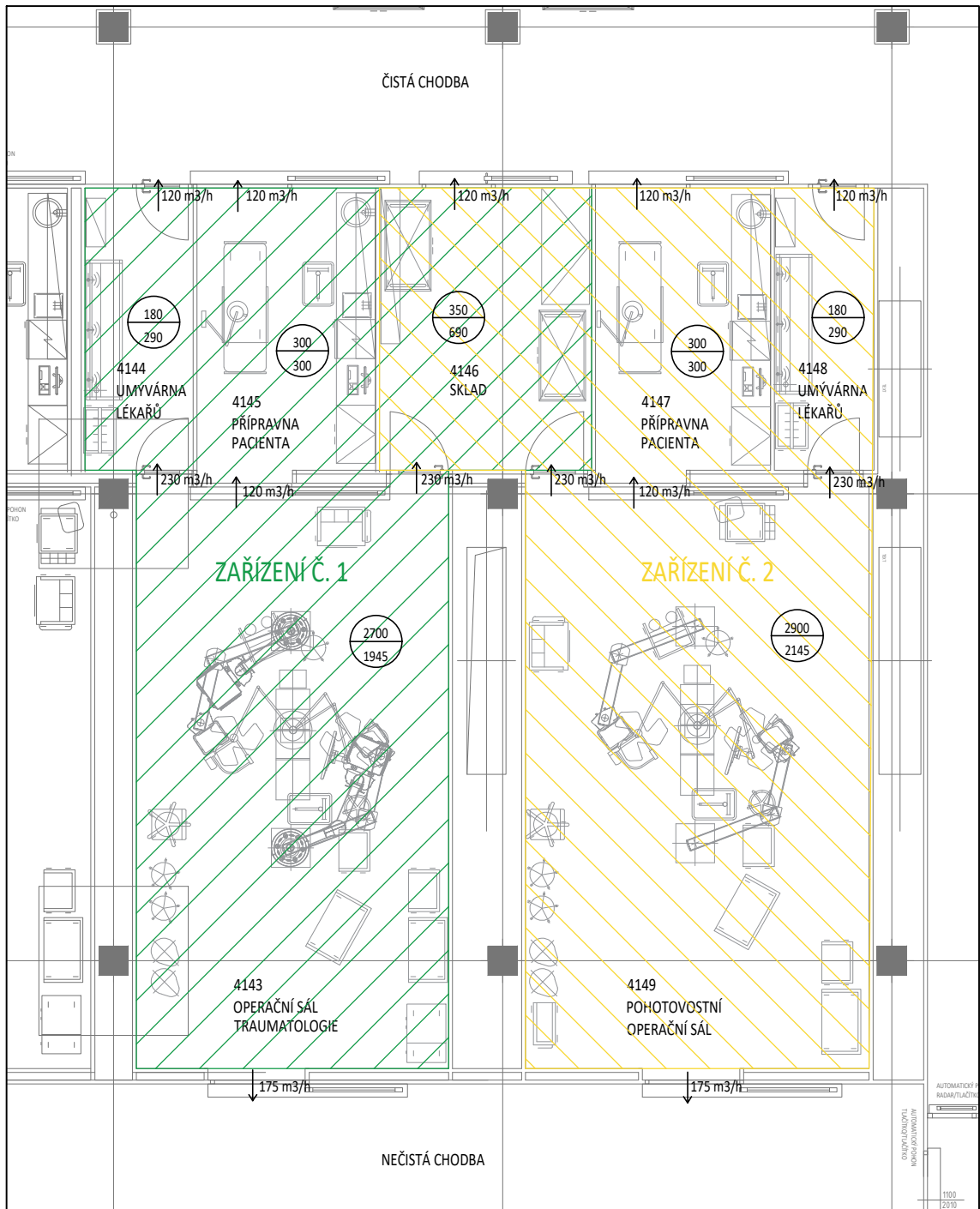
Pro zajištění akustické pohody v místnostech budou v jednotce instalovány tlumiče hluku. Dále budou potrubí osazena požárními klapkami v místech, kde procházejí požárně dělící konstrukcí. V potrubí za vzduchotechnickou jednotkou budou instalovány měřící kříže pro měření rychlosti vzduchu v potrubí, podle které budou frekvenčními měniči regulovány výkony ventilátorů. Tím bude zajištěn konstantní průtok vzduchu. Před distribučními elementy budou osazeny regulační klapky pro tlakovou regulaci soustavy.



Tab. S2: TABULKA MÍSTNOSTÍ

č. místnosti	název místnosti	třída čistoty ISO	relativní vlhkost [%]	teplota [°C]
4.143	Operační sál - traumatologie	7	40 - 55	19 - 25
4.144	Umývárna lékařů	8	40 - 55	19 - 25
4.145	Přípravná pacientů	8	40 - 55	19 - 25
4.146	Sklad	8	40 - 55	19 - 25
4.147	Přípravná pacientů	8	40 - 55	19 - 25
4.148	Umývárna lékařů	8	40 - 55	19 - 25
4.149	Operační sál - pohotovostní	7	40 - 55	19 - 25

Podmínky v místnostech 1:100



Tab. S3: TABULKA MÍSTNOSTÍ

č. místnosti	název místnosti	výměna vzduchu [h-1]	přívod vzduchu [m3/h]	odvod vzduchu [m3/h]
4.143	Operační sál - traumatologie	20	2700	1945
4.144	Umývárna lékařů	8	180	290
4.145	Přípravná pacientů	8	300	300
4.146	Sklad	8	350	690
4.147	Přípravná pacientů	8	300	300
4.148	Umývárna lékařů	8	180	290
4.149	Operační sál - pohotovostní	20	2900	2145

Vzduchotechnická zařízení a množství vzduchu 1:100

4. Výpočty

4.1 Výpočet úniku vzduchu z místností

Výpočet dle normy ČSN EN 12101-6. [53] Do výpočtu byl zahrnut pouze únik vzduchu zavřenými dveřmi, únik vzduchu dalšími netěsnostmi byl zanedbán, neboť je v operačním sále s vestavbou téměř nulový. Výpočet byl proveden pouze pro stav, kdy jsou dveře zavřené, otevření dveří je pouze chvilkové. Otevření 2 dveří zároveň je automaticky blokováno.

Tab. S4: ÚNIK VZDUCHU ZAVŘENÝMI DVEŘMI						
č. m.	název místnosti	rozdíl tlaků 15 Pa			30 Pa	únik vzduchu celkem [m ³ /h]
		Počet dveří (1)	počet dveří (2)	počet dveří (3)	počet dveří (4)	
4.143	Operační sál – traumatologie	0	2	1	1	755
4.144	Umývárna lékařů	1	0	0	0	120
4.145	Přípravna pacientů	0	0	1	0	120
4.146	Sklad	0	0	1	0	120
4.147	Přípravna pacientů	0	0	1	0	120
4.148	Umývárna lékařů	1	0	0	0	120
4.149	Operační sál – pohotovostní	0	2	1	1	755

$$Q_d = 0,83 \times A_e \times P^{\frac{1}{R}}$$

dle ČSN EN 12101-6

A_e... celková plocha netěsností [m ²]		Q_d... intenzita úniku vzduchu zavřenými dveřmi [m ³ /h]
dveře jednokřídlé, otevíravé dovnitř	0,01	pro P = 15 Pa
dveře jednokřídlé, otevíravé ven	0,02	(1) dveře jednokřídlé, otevíravé dovnitř
dveře jednokřídlé, posuvné	0,01	(2) dveře jednokřídlé, otevíravé ven
		(3) dveře jednokřídlé, posuvné
		pro P = 30 Pa
		(4) dveře jednokřídlé, posuvné
R... koeficient	2	
P... rozdíl tlaků		
sál – zázemí	15 Pa	
zázemí – čistá chodba	15 Pa	
sál – špinavá chodba	30 Pa	

4.2 Výpočet tepelných ztrát a zisků

Tab. S5: TEPELNÉ ZISKY				
okna	místnosti nemají okna			
prostup konstrukcí	místnosti nemají konstrukce sousedící s vnějším prostředím			
osoby	místnost	průměrný zisk od jedné osoby [W]	počet osob	celkem [W]
	operační sál	70	7	490
	umývárna lékařů	70	2	140
	přípravná pacienta	70	2	140
	sklad	70	1	70
osvětlení	místnost	výkon svítidla [W]	počet svítidel	celkem [W]
	operační sál	108	14	1512
	umývárna lékařů	36	3	108
	přípravná pacienta	36	5	180
	sklad	36	5	180
operační svítidla	místnost	výkon svítidla [W]	počet svítidel	celkem [W]
	operační sál	65	2	130
Celkové tepelné zisky				
č. m.	název místnosti	zisky od osob [W]	zisky od osvětlení [W]	celkem [W]
4.143	Operační sál - traumatologie	490	1512	2002
4.144	Umývárna lékařů	140	108	248
4.145	Přípravná pacientů	140	180	320
4.146	Skład	70	180	250
4.147	Přípravná pacientů	140	180	320
4.148	Umývárna lékařů	140	108	248
4.149	Operační sál - pohotovostní	490	1512	2002

Pozn. Tepelné ztráty byly zanedbány z důvodu umístění místností uprostřed dispozice.

4.3 Výpočet tlakových ztrát potrubí

Výpočet byl pro představu proveden pro zařízení č. 2, pro některé úseky přívodního i odvodního potrubí. Předpokládá se turbulentní proudění s hydraulicky drsnými stěnami. Systém bude tlakově vyvážen regulačními klapkami před distribučními elementy.

Pro výpočet byly použity ty vzorce:

$$R = \lambda \cdot \frac{U}{4 \cdot S} \cdot l \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad \text{pro obdélníkový průřez}$$

$$R = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad \text{pro kruhový průřez}$$

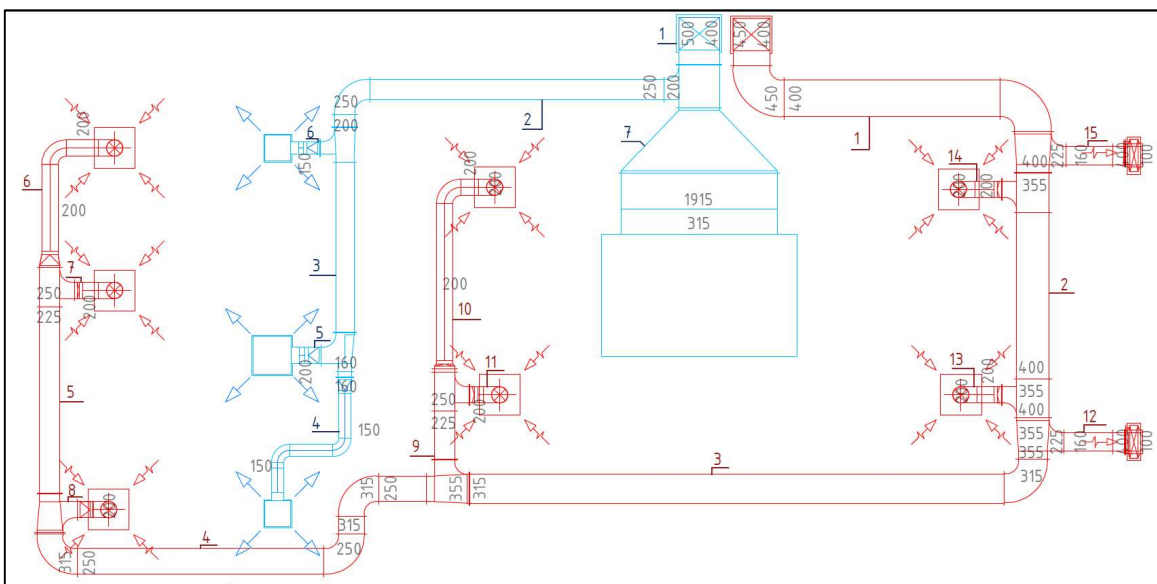
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \cdot \log \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{k}{d}$$

$$D_e = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

$$\Delta p_{\xi} = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

Obr. S1: Schéma pro výpočet tlakových ztrát:



Tab. S6: TLAKOVÉ ZTRÁTY - zař.2 přívod

ú s e k	návrh potrubí						výpočet potrubí								
	V [m ³ /h]	V [m ³ /s]	l [m]	w _{před} [m/s]	Ø D	AxB	w _{skut} [m/s]	e	λ	R [Pa/m]	R.l [Pa]	x	Z [Pa]	Distrib. prvky [Pa]	R.l+Z [Pa]
1	3 555	0,99	11,2	6	444	500x400	4,94	0,00034	0,0153	0,50	5,64	1,10	16,09		21,73
2	655	0,18	4,2	4	222	250x200	3,64	0,00068	0,0179	0,64	2,68	2,31	18,31		21,00
3	475	0,13	2,1	3	212	225x200	2,93	0,00071	0,0181	0,44	0,92	0,43	2,22		3,14
4	175	0,05	7,7	3	150		2,75	0,00100	0,0196	0,59	4,58	2,92	13,27	155,00	172,84
															218,71
1	3 555	0,99	11,2	6	444	500x400	4,94	0,00034	0,0153	0,50	5,64	1,10	16,09		21,73
2	655	0,18	4,2	4	222	250x200	3,64	0,00068	0,0179	0,64	2,68	2,31	18,31		21,00
3	475	0,13	2,1	3	212	225x200	2,93	0,00071	0,0181	0,44	0,92	0,43	2,22		3,14
5	300	0,08	0,4	3	200		2,65	0,00075	0,0183	0,39	0,15	2,25	9,51	120,00	129,66
															175,53
1	3 555	0,99	11,2	6	444	500x400	4,94	0,00034	0,0153	0,50	5,64	0,00	0,00		5,64
2	655	0,18	4,2	4	222	250x200	3,64	0,00068	0,0179	0,64	2,68	0,00	0,00		2,68
6	180	0,05	0,4	3	150		2,83	0,00100	0,0196	0,63	0,25	2,64	12,69	155,00	167,95
															176,27
1	3 555	0,99	11,2	6	444	500x400	4,94	0,00034	0,0153	0,50	5,64	0,00	0,00		5,64
7	2 900	0,81	0,3	2	541	1915x315	1,34	0,00028	0,0147	0,03	0,01	1,15	1,23	200,00	201,23
															206,88
p	[kg/m ³]	1,20													
k		0,15													

Ztráty vřazenými odpory						
úsek	vřazené odpory - x					Σx
1	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	1,10
2	2,13	0,18				2,31
3	0,43					0,43
4	1,41	0,75	0,75	0,02		2,92
5	2,25					2,25
6	2,64					2,64
7	0,42	0,73				1,15

Tab. S7: TLAKOVÉ ZTRÁTY - zař.2, odvod

ú s e k	návrh potrubí						výpočet potrubí								
	V [m ³ /h]	V [m ³ /s]	l [m]	w _{před} [m/s]	Ø D	AxB	w _{skut} [m/s]	e	λ	R [Pa/m]	R.l [Pa]	x	Z [Pa]	Distrib. prvky (Pa)	R.l+Z [Pa]
1	3 135	0,87	14,9	6	424	450x400	4,84	0,00035	0,0155	0,51	7,64	1,32	18,54		26,18
2	2 385	0,66	2,1	5	376	400x355	4,67	0,00040	0,0159	0,55	1,16	0,41	5,30		6,46
3	1 635	0,45	7,1	4	334	355x315	4,06	0,00045	0,0163	0,48	3,43	0,63	6,22		9,64
4	935	0,26	5,1	4	279	315x250	3,30	0,00054	0,0170	0,40	2,02	1,03	6,72		8,74
5	590	0,16	2,3	3	237	250x225	2,91	0,00063	0,0176	0,38	0,87	0,36	1,85		2,72
6	290	0,08	1,8	3	200		2,57	0,00075	0,0183	0,36	0,65	4,78	18,89	15,00	34,54
															88,28
1	3 135	0,87	14,9	6	424	450x400	4,84	0,00035	0,0155	0,51	7,64	1,32	18,54		26,18
2	2 385	0,66	2,1	5	376	400x355	4,67	0,00040	0,0159	0,55	1,16	0,41	5,30		6,46
3	1 635	0,45	7,1	4	334	355x315	4,06	0,00045	0,0163	0,48	3,43	0,63	6,22		9,64
9	700	0,19	0,6	3	237	250x225	2,47	0,00063	0,0176	0,27	0,16	1,64	6,00		6,16
10	350	0,10	2,5	4	200		3,10	0,00075	0,0183	0,53	1,32	3,74	21,49	20,00	42,81
															91,25
1	3 135	0,87	14,9	6	424	450x400	4,84	0,00035	0,0155	0,51	7,64	1,32	18,54		26,18
2	2 385	0,66	2,1	5	376	400x355	4,67	0,00040	0,0159	0,55	1,16	0,41	5,30		6,46
13	350	0,10	0,5	3	200		3,10	0,00075	0,0183	0,53	0,26	2,36	13,60	20,00	33,86
															66,50
1	3 135	0,87	14,9	6	424	450x400	4,84	0,00035	0,0155	0,51	7,64	1,32	18,54		26,18
15a	400	0,11	0,9	3	187	225x160	3,09	0,00080	0,0186	0,57	0,51		0,00		0,51
15b	400	0,11	2,8	3	160	400x100	2,78	0,00094	0,0193	0,56	1,56	1,00	4,64	8,00	14,21
															40,90
ρ [kg/ m ³]	1,20														
k	0,15														

Ztráty vřazenými odpory								
úsek	vřazené odpory - x							Σx
1	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	1,320
2	0,18	0,22						0,406
3	0,19	0,24	0,20					0,628
4	0,19	0,19	0,19	0,46				1,029
5	0,36							0,363
6	1,26	1,26	2,24	0,02				4,784
9	1,64							1,640
10	1,26	1,26	1,18	0,04				3,736
13	1,26	1,09	0,01					2,364
15	0,18	0,74	0,08					1,003

5. Návrh vzduchotechnické jednotky

Jednotky budou v hygienickém provedení. Rychlost proudění vzduchu ve volném průřezu jednotky nepřesáhne 2,5 m/s. Budou umístěny ve strojovně ve 2.NP. Sání vzduchu bude z fasády. Odtah bude také na fasádu v dostatečné vzdálenosti od sání. Obě zařízení budou pracovat nepřetržitě s výjimkou údržby či oprav. V takovém případě je nutné odstavit obě jednotky zároveň, neboť obsluhují jednu místnost společně. Pokud je sál nevyužit, mimo pracovní dobu, je výkon zařízení snížen na polovinu. Zařízení jsou obdenná, mírně se liší průtokem vzduchu. Podrobná technická specifikace je v příloze.

Tab. S8: Vzduchotechnické jednotky				
Název	Přívod [m3/h]	Odvod [m3/h]	Přívodní část	Odvodní část
Zařízení 1	3350	2880	Filtr 1.st., ZZT, ohříváč, vlhčení chladič, tlumiče hluku, ventilátor, filtr 2.st.	Filtr 1. st., tlumiče hluku, ventilátor, ZZT
Zařízení 2	3550	3080	Filtr 1.st., ZZT, ohříváč, vlhčení chladič, tlumiče hluku, ventilátor, filtr 2.st.	Filtr 1. st., tlumiče hluku, ventilátor, ZZT

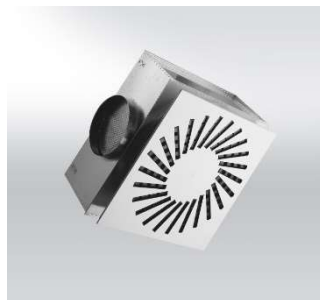
6. Návrh distribučních prvků

Pro přívod vzduchu na operační sály byly zvoleny laminární stropy Lindab DSS o rozměrech 2400x1400 mm a 2400x1500 mm s filtry třídy H13. (technický list v příloze) Pro přívod vzduchu do ostatních místností jsou použity čisté nástavce s vířivými výustěmi s pevnými lamelami firmy Klima-Service. Filtry pro tyto prostory jsou třídy H12. V projektu jsou použity dvě velikosti podle potřebného průtoku vzduchu – 318x318 mm a 470x470 mm. Obě velikosti jsou s instalovanou těsnou klapkou.

Pro odvod vzduchu slouží vířivé výustě a mřížky od firmy Mandík. Vířivé výustě VVM jsou velikosti 500x500 s 24 lamelami. Mřížky jsou typu RAG45 s pevnými lamelami o velikosti 280x425 mm. Slouží k odsávání vzduchu u podlahy na operačních sálech.



Obr. S2 Čistý nástavec KS [54]



Obr. S3 Výustě VVM [55]



Obr. S4 Mřížka RAG45 [55]

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Studie vzduchotechniky operačních sálů a jejich zázemí

1. Úvod

Předmětem této studie je návrh vzduchotechniky pro 2 operační sály a zázemí, které k nim přiléhá. Navržené řešení respektuje požadavky na čistotu a specifické podmínky provozu. Cílem této technické zprávy je doplnění informací k výkresové části dokumentace. Výkresová dokumentace je v příloze.

1.1. Podklady

Pro zhotovení studie byly použity podklady v následujícím seznamu. Jedná se o české technické normy, právní předpisy, předpisy dohlížejících orgánů a další podklady od výrobců a odborníků na tuto problematiku.

- ČSN EN ISO 14644 – Čisté prostory a příslušné řízené prostředí
- VYR-36 Čisté prostory
- ČSN EN ISO 16890 – Vzduchové filtry pro všeobecné větrání
- ČSN EN 1822-1 – Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA)
- ČSN 73 0872 - Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- ČSN EN 12101 – Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla
- Nařízení vlády číslo 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací v platném znění (NV 217/2016 Sb.)
- Další neoficiální literatura týkající se řešení čistých prostor ve zdravotnictví
- Návrhový software AHU select

1.2. Popis objektu a řešené části

Objekt nemocnice je osmipatrový, jedná se o skeletovou konstrukci. Sloupy jsou čtvercové s osovou vzdáleností 7,2 m. Strojovny pro umístění technických zařízení se nacházejí ve 2. NP. Místnosti řešené v tomto projektu jsou umístěné ve 4. podlaží, kde je celkem 8 operačních sálů. Jsou sdružené po 2 až 3 do skupin. Dále se na patře nachází zázemí potřebné pro vstup a pobyt personálu i pacienta, a sklady materiálu. Operační trakt má přímou vazbu na jednotku intenzivní péče. Pomocí komunikačních jader je komplex propojen s dalšími podlažími.

Studie řeší zařízení vzduchotechniky pro dva operační sály a k nim přilehlé zázemí. Sály se nachází v operačním traktu uprostřed dispozice ve 4. nadzemním podlaží. Řešená část se skládá z traumatologického a pohotovostního operačního sálu. Každý sál má místnost pro přípravu pacienta a umývárnu lékařů. Sdílí společný sklad materiálu, ze kterého je možný přístup do obou sálů. Tento celek místností je napojen na čistou a z druhé strany na špinavou chodbu.

2. Základní údaje a požadavky na vzduchotechniku

2.1. Základní výpočtové údaje

- | | |
|-----------------------------------|--------------|
| - Zeměpisná šířka | 50°02' s. š. |
| - Nadmořská výška | 191 m. n. m. |
| - Vnější výpočtová teplota v zimě | - 12 °C |
| - Vnější výpočtová teplota v létě | +30 °C |

Pozn. Pro návrh ohřivačů a chladičů byly použity hodnoty -15 °C a +32 °C

2.2. Podmínky v místnostech

Předpokládaná střední teplota vzduchu v místnostech je 21 °C s možností regulace v rozmezí 19–25 °C dle aktuálních požadavků. Relativní vlhkost vzduchu se pohybuje od 40 do 55 %. Operační sály mají definovanou třídu čistoty ISO 7, místnosti zázemí mají třídu ISO 8.

2.3. Provoz místností

Běžný provoz plánovaných výkonů bude na operačních sálech probíhat od 7:00 do 18:00, nelze ovšem vyloučit akutní výkony mimo tuto dobu, zejména na pohotovostním operačním sále. Vzduchotechnická zařízení bude pracovat nepřetržitě, s útlumem na poloviční výkon v době, kdy sál nebude používán.

2.4. Výměny vzduchu

Přívod vzduchu byl dimenzován podle potřebných výměn vzduchu za hodinu, ty jsou stanovené s ohledem na zajištění čistoty v místnostech. Pro operační sály je to 20násobná výměna, pro jejich zázemí 8násobná. Všechny prostory jsou provedené v přetlaku, množství odváděného vzduchu bylo určeno na základě výpočtu.

2.5. Filtrace vzduchu

Filtrace přívodního vzduchu bude třístupňová. První dva stupně filtrace budou ve vzduchotechnické jednotce. První stupeň filtrace třídy ePM10 60 % bude na vstupu do vzduchotechnické jednotky. Druhý stupeň třídy ePM1 80 % bude na výstupu přiváděného vzduchu z jednotky. Třetí stupeň filtrace bude HEPA filtr před distribučními elementy, pro operační sály třídy H13, pro zázemí H12.

2.6. Hluk a vibrace

Budou navržena opatření pro snižování nepříznivých účinků hluku a vibrací. Hluk a vibrace vznikající činností vzduchotechnického zařízení budou eliminovány použitím příslušných prvků, aby bylo omezeno jejich šíření do vnějšího i vnitřního prostředí. Ve vzduchotechnické jednotce budou instalovány tlumiče hluku. Bude zajištěno pružné uložení všech zařízení, která jsou zdrojem vibrací, dále podložení jednotky pružným materiálem a připojení potrubí na jednotku přes pružnou manžetu.

3. Popis vzduchotechnických systémů

3.1. Popis konceptu

Místnosti řešené projektem budou obsluhovány 2 vzduchotechnickými jednotkami. Každá jednotka bude obsluhovat jeden operační sál a zázemí, které k němu náleží. Společný sklad budou obsluhovat obě jednotky zároveň. Systém větrání bude přetlakový. V jednotkách bude vzduch upraven na požadované parametry, bude zde probíhat ohřev, chlazení a vlhčení.

3.2. Zařízení č. 1

Zařízení č. 1 bude obsluhovat traumatologický operační sál a jeho zázemí. Vzduchotechnická jednotka bude umístěná ve strojovně ve 2.NP. Jednotka bude vyrobena v hygienickém provedení a bude umístěna na podstavném rámu s nožičkami o výšce 400 mm, aby zde byl dostatečný prostor pro odvod kondenzátu. Jednotka bude mít klapky pro možnost jejího uzavření.

Systém bude přivádět pouze čerstvý vzduch, nebude použito směšování. Nasávání čerstvého vzduchu bude probíhat přes z fasády, bude společné pro všechna zařízení. Průtok nasávaného vzduchu pro zařízení 1 bude 3350 m³/hod. Pro zamezení kondenzace bude přívodní potrubí čerstvého vzduchu do jednotky tepelně izolováno. V jednotce bude probíhat 1. stupeň filtrace čerstvého vzduchu (filtr ePM10 60 %). Poté vzduch projde deskovým výměníkem zpětného získávání tepla. Pro zamezení zamrznutí v zimním období bude měřena teplota přívodního vzduchu na výstupu z výměníku, pokud klesne pod 5 °C bude vzduch veden mimo výměník. V letním období bude vzduch rovněž veden okolo výměníku. Vzduch bude dále upraven v ohříváči, parním zvlhčovači a chladiči. Poslední úpravou je druhý stupeň filtrace (filtr ePM1 80 %).

V odvodní části jednotky vzduch prochází filtrací (filtr ePM10 60 %) a výměníkem zpětného získávání tepla. Odpadní vzduch se odvádí přes fasádu, do vnějšího prostředí. Výfuk z fasády je Průtok odváděného vzduchu je 2880 m³/hod.

Teplota přiváděného vzduchu bude o 2 K nižší než požadovaná teplota v místnosti, z důvodů pokrytí tepelných zisků od osob a technologií. Vzduch bude rozváděn hranatým, případně kruhovým kovovým potrubím. V čistých prostorech bude potrubí vedeno v těsném podhledu.

Pro operační sál s třídou čistoty ISO 7 bude jako přívodní prvek použit laminární strop Lindab DSS od rozměrech 1400x2400 mm. Bude přivádět 2700 m³/hod, zároveň bude zajišťovat 3. stupeň filtrace (filtr H13). Operační sál bude proveden v přetlaku 30 Pa oproti vnějšímu prostředí. Odvod vzduchu z místnosti bude pomocí 4 vířivých výustí Mandík VVM 500x500 mm s 24 lamelami. Dále bude vzduch odváděn od podlahy 2 mřížkami Mandík RAG45, každá z nich bude odvádět 400 m³/hod.

Pro ostatní místnosti, třídy ISO 8 budou jako přívodní prvky použity čisté nástavce s vířivými výustěmi Klima-service (318x318 mm a 470x470 mm). Filtrace v těchto nástavních bude třídy H12. Jako odvodní prvky budou rovněž použity výustě Mandík VVM 500x500 mm s 24 lamelami. Tyto místnosti budou provedeny v přetlaku 15 Pa oproti vnějšímu prostředí.

3.3. Zařízení č. 2

Zařízení č. 2 slouží pro větrání pohotovostního operačního sálu a jeho zázemí. Je obdobné jako zařízení č. 1, pouze s tím rozdílem že celkový průtok vzduchu je vyšší. Průtok přívodního vzduchu je 2550 m³/hod, průtok odvodního vzduchu je 3080 m³/hod. Pro přívod vzduchu na operační sál byl použit laminární strop Lindab DSS 2400x1500 mm s průtokem 2900 m³/hod.

4. Požárně bezpečnostní řešení

Na potrubí procházející požárně dělící konstrukcí o ploše větší než 40 000 mm² budou osazeny požární klapky. Projekt PBR nebyl k dispozici, odhad umístění klapek s neznámou požární odolností minimálně ve stropních konstrukcích.

5. Regulace a měření

Pro tlakovou regulaci soustav budou použity pevně nastavené regulační klapky před distribučními elementy. Zařízení budou ovládána systémem pro měření a regulaci. Pro zajištění stálého průtoku vzduchu i při postupném zanášení filtrů budou v přívodním potrubí za vzduchotechnickou jednotkou instalovány měřící kříže. Podle naměřené rychlosti bude pomocí frekvenčního měniče regulován výkon ventilátoru. V místnostech bude měřena hodnota přetlaku, teplota a vlhkost vzduchu. Teplotu bude možné regulovat dle aktuálních potřeb na sále. Podmínky v dalších místnostech jsou podřízené

podmínkám na operačních sálech. Systém pro měření a regulaci bude ovládat také protimrazovou ochranu deskového výměníku, přecházení do úsporného režimu v době nevyužití sálů a další.

6. Energetické nároky

Napojení na elektrickou síť je třeba pro chod ventilátorů ve vzduchotechnických jednotkách, pro systém měření a regulace a pro parní zvlhčovač. Napětí 230/400 V.

Ohříváče vzduchu v jednotkách budou napojeny na rozvod otopné vody s teplotním spádem 55/30 °C, výkon: z. č. 1 42,6 kW; z. č. 2 45,2 kW. Chladiče budou napojeny na chladicí vodu s teplotním spádem 6/12 °C, výkon: z. č. 1 20,2 kW; z. č. 2 21,4 kW.

7. Návaznosti na ostatní profese

- Zdravotechnika: zajištění odvodu kondenzátu od chladičů ve vzduchotechnických jednotkách přes zápachovou uzávěrku do kanalizace
- Vytápění: zajištění otopné vody pro ohříváče vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách, spád 55/30 °C, výkon: z. č. 1 42,6 kW; z. č. 2 45,2 kW
- Chlazení: zajištění chladicí vody o teplotním spádu 6/12 °C pro chladiče vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách, výkon: z. č. 1 20,2 kW; z. č. 2 21,4 kW
- Silnoproud: zajištění napájení všech zařízení na elektrickou energii ve vzduchotechnického systému, napětí 230/400 V
- Stavební profese: zajištění všech prostupů po celé trase potrubí, které budou na každou stranu o 50 mm větší než samotné potrubí; umožnění montáže vzduchotechnických zařízení, vytvoření revizních otvorů pro pravidelný servis požárních klapek, zajištění vertikálních šachet pro vedení potrubí

8. Závěr

Návrh v této studii splňuje požadavky na kvalitu prostředí v čistých prostorech ve zdravotnictví, konkrétně na operačních sálech, podle platných předpisů. Navržená vzduchotechnická zařízení budou před používáním prostoru odzkoušena, budou pravidelně čištěna a servisována. Pro udržení čistoty v těchto prostorech je velmi důležité poučení uživatelů prostorů i obsluhy vzduchotechnických zařízení a důsledné dodržování pravidel provozu. Čistota vzduchu v prostorech bude pravidelně monitorována.

VÝKAZ VÝMĚR

Zařízení č.1						
číslo	název	výrobce	typ	rozměry [mm]	MJ	počet MJ
1.01	Jednotky					
1.01.01	Vzduchotechnická jednotka	CIC Jan Hřebec	TP12105, hygienické provedení, Qp = 3350 m3/h, Qo = 2880 m3/h	8052 x 950 x 1400	ks	1
1.02	Distribuční prvky					
1.02.01	Laminární strop	Lindab	DSS	2400 x 1400	ks	1
1.02.02	Čistý nástavec	Klima-service	1-N-292-M-H-K-KV-VVP-L	342 x 343	ks	2
1.02.03	Čistý nástavec	Klima-service	2-N-292-M-H-K-KV-VVP-L	495 x 495	ks	1
1.02.04	Anemostat	Mandík	VMM 500 C/S/O/24/R	500 x 500	ks	7
1.02.05	Mřížka	Mandík	RAG 45	425 x 280	ks	2
1.03	Regulace					
1.03.01	Regulační klapka	Mandík	RKTM	500 x 400	ks	1
1.04	Požární ochrana					
1.04.01	Požární klapka	Mandík	PKTM III-C	500 x 400	ks	2
1.04.02	Požární klapka	Mandík	PKTM III-C	450 x 400	ks	2
1.05	Potrubí					
1.05.01	Potrubí hranaté				m2	200
1.05.02	Potrubí kruhové			Ø 150	bm	6
1.05.03	Potrubí kruhové			Ø 200	bm	9,5
Zařízení č.2						
číslo	název	výrobce	typ	rozměry [mm]	MJ	počet MJ
2.01	Jednotky					
2.01.01	Vzduchotechnická jednotka	CIC Jan Hřebec	TP12105, hygienické provedení, Qp = 3550 m3/h, Qo = 3080 m3/h	8052 x 950 x 1400	ks	1
2.02	Distribuční prvky					
2.02.01	Laminární strop	Lindab	DSS	2400 x 1500	ks	1
2.02.02	Čistý nástavec	Klima-service	1-N-292-M-H-K-KV-VVP-L	342 x 343	ks	2
2.02.03	Čistý nástavec	Klima-service	2-N-292-M-H-K-KV-VVP-L	495 x 495	ks	1
2.02.04	Anemostat	Mandík	VMM 500 C/S/O/24/R	500 x 500	ks	7
2.02.05	Mřížka	Mandík	RAG 45	425 x 280	ks	2
2.03	Regulace					
2.03.01	Regulační klapka	Mandík	RKTM	500 x 400	ks	1
2.04	Požární ochrana					
2.04.01	Požární klapka	Mandík	PKTM III-C	500 x 400	ks	2
2.04.02	Požární klapka	Mandík	PKTM III-C	450 x 400	ks	2
2.05	Potrubí					
2.05.01	Potrubí hranaté				m2	200
2.05.02	Potrubí kruhové			Ø 150	bm	2,5
2.05.03	Potrubí kruhové			Ø 200	bm	7

V. ZÁVĚR

Tato práce shrnuje poznatky z dostupné literatury, platných norem a předpisů o čistých prostorech. Zabývá se provozem operačních sálů, jejich stavebním i technickým řešením a mikroklimatem v místnostech. Dalším tématem popsaným v práci je aktuální vývoj v oblasti snižování spotřeby energie. Hlavním zaměřením práce jsou vzduchotechnická zařízení, jejich součásti, montáž, údržba a provoz. V praktické části byl s využitím získaných poznatků navržen vzduchotechnický systém pro část operačního traktu.

Seznam literatury

- [1] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Vybrané statě z větrání a klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06458-0.
- [2] ČSN EN ISO 14644-1. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, třídící znak 12 5301.
- [3] RUBINA, Aleš. *Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory operačních sálů*. Praha: Společnost pro techniku prostředí – územní centrum Brno, 2008. Sešit projektanta – pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02065-3.
- [4] ČSN EN ISO 14644-8. *Čisté prostory a příslušná řízená prostředí – Část 8: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace chemických látek*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, třídící znak 12 5301.
- [5] Vyhláška č. 414/2017 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 84/2008 Sb., o správné lékařské praxi, bližších podmínkách zacházení s léčivy v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léčivé přípravky, ve znění vyhlášky č. 254/2013 Sb. In: *Sbírka zákonů ČR*. 2017, 146/2017.
- [6] Oblastní nemocnice Trutnov, a.s. Na sále je důležitá souhra týmu. In: *Zdravotnický holding Královéhradeckého kraje*. <http://zhkhk.cz> [online]. Trutnov. 15.6.2015 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://zhkhk.cz/na-sale-je-dulezita-souhra-tymu>
- [7] PEREZ, P., J. HOLLOWAY, L. EHRENFELD, S. COHEN, L. CUNNINGHAM, G. B. MILEY a B. L. HOLLENBECK. Door openings in the operating room are associated with increased environmental contamination. In: *sciencedirect.com* [online] 2018 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/journal/american-journal-of-infection-control/vol/46/issue/8>
- [8] *Nemocnice s poliklinikou I. a II. typu, VZDUCHOTECHNIKA – sborník technických řešení*, Praha, Zdravoprojekt, MZ ČR, 1991
- [9] KAŠPAR, Antonín. *Možnosti řešení proudění na operačních sálech dle zahraniční koncepce*. [přednáška]. Brno: Sympozium Green Way 2019, 10. 4.2019
- [10] RUBINA, Aleš. VZT systémy CP a OS. [online]. *XXI. Mezinárodní konference Nemocniční epidemiologie a hygiena. SNEH ČLS JEP*, 23. 9. 2014. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: https://www.sneh.cz/konference_2014.phtml
- [11] LEK 17. *Příprava sterilních léčivých přípravků v lékárně a zdravotnických zařízeních*. In: Státní úřad pro kontrolu léčiv, 2016. Dostupné také z: <http://www.sukl.cz/lekarny/lek-17>
- [12] IHNÁT, Peter. *Základní chirurgické techniky a dovednosti*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0334-8.

- [13] MELHADO, M. A., J. L. M. HENSEN, M. LOOMANS a L. FOREJT. Rešerše norem pro návrh klimatizace operačních sálů. In: *tzb-info.cz* [online]. 8. 10. 2007 [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/4401-reserse-norem-pro-navrh-klimatizace-operacnich-salu>
- [14] ČSN EN ISO 14644-4. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 4: Návrh, konstrukce a uvádění do provozu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001, třídící znak 12 5301
- [15] VYR 36. *Čisté prostory*. In: Státní úřad pro kontrolu léčiv, 2009. Dostupné také z: <http://www.sukl.cz/leciva/vyr-36?highlightWords=VYR>
- [16] AKC konstrukce, s.r.o. *AKCmed*. [online]. Rožnov pod Radhoštěm: AKC konstrukce, s.r.o. [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.akcmed.cz/>
- [17] KRŠKA, Zdeněk. *Techniky a technologie v chirurgických oborech: vybrané kapitoly*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3815-4.
- [18] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06378-1.
- [19] KUŽEL, Jaroslav a Zuzana MATHAUSEROVÁ. Čisté prostory ve zdravotnictví. VVI: Vytápění, větrání, instalace [online]. Společnost pro techniku prostředí, 2003, (5), 225 - 227. [cit. 20. 05. 2019]. ISSN 1210-1389. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/cz/cislo-5-2003>
- [20] RUBINA, Aleš a Zdeněk TESAŘ. Význam modelování fyzikálních jevů a užitého vzoru pro vývoj nové technologie. In: *tzb-info.cz* [online]. 22. 8. 2011 [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7745-vyznam-modelovani-fyzikalnich-jevu-a-uzitneho-vzoru-pro-vyvoj-nove-technologie>
- [21] TREPKA, Stanislav. Projektování vzduchotechniky ve zdravotnictví (2. část). VVI: Vytápění, větrání, instalace [online]. Společnost pro techniku prostředí, 2005, (3), 112 - 115. [cit. 20. 05. 2019]. ISSN 1210-1389. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/cz/cislo-3-2005>
- [22] HASFELDT, D., E. LAERNER a R. BIRKELUND. Noise in the Operating Room — What Do We Know? A Review of the Literature. In: *sciencedirect.com* [online] 2010 [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089947210004065#bib11>
- [23] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů ČR*. 2011, 97/2011
- [24] *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 8090157408.

- [25] KOHOUTOVÁ, Jarmila. Monitoring čistoty prostředí v nemocnici [online]. XXI. Mezinárodní konference Nemocniční epidemiologie a hygiena, SNEH ČLS JEP. 22. - 23. 9. 2014. [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: https://www.sneh.cz/konference_2015.phtml
- [26] RUBINOVÁ, Olga. *Mikrobiální mikroklima čistých prostorů*. [přednáška]. Brno: Sympozium Green Way 2019, 10. 4.2019
- [27] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. Mikrobiální mikroklima budov (II). . In: *tzb-info.cz* [online]. 13. 7. 2015 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/12972-mikrobialni-mikroklima-budov-ii>
- [28] Aeroskop Spin Air | iBioTech.cz. *iBioTech.cz - Innovative technologies for your laboratory* [online]. Copyright © 2019 [cit. 21.05.2019]. Dostupné z: <https://www.ibiotech.cz/aktuality/2014/02/aeroskop-spin-air>
- [29] Měřič počtu částic P611. *Blue Panther s.r.o.* [online]. Copyright © 2019 Blue Panther s.r.o. [cit. 21. 05. 2019]. Dostupné z: <https://www.blue-panther.cz/meric-poctu-castic-p611>
- [30] VYR 36. *Validace aseptických procesů*. In: Státní úřad pro kontrolu léčiv, 2009. Dostupné také z: <http://www.sukl.cz/leciva/vyr-10-verze-1#4.9>
- [31] ČSN EN ISO 14644-2. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 2: Sledování pro zjištění vlastností čistého prostoru týkajících se čistoty vzduchu podle koncentrace částic*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, třídící znak 12 5301
- [32] Ministerstvo zdravotnictví ČR. *Manuál stavební standardy: Komplex operačních sálů*. [online]. Ministerstvo zdravotnictví ČR. Dostupné z: <http://www.mzcr.cz/Odbornik/>
- [33] FOŘTL, Karel a Michal JUHA. *Zdravotnické stavby*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04256-4.
- [34] LAIN, Miloš. Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I). In: *tzb-info.cz* [online]. 6. 11. 2006 [cit. 20. 05. 2019]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [35] ČSN EN ISO 16890-1. *Vzduchové filtry pro všeobecné větrání - Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, třídící znak 12 5009
- [36] ČSN EN 1822-1. *Vysoce účinné filtry vzduchu (HEPA a ULPA) - Část 1: Klasifikace, ověřování vlastností, označování*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, třídící znak 12 5002
- [37] AQdemexico. *Cómo funcionan los filtros de aire*. [online]. In: *aqdemexico.com*. [online]. Air quality de Mexico, 14. 10. 2014. [cit. 20.05.2019] Dostupné z: <http://www.aqdemexico.com/como-funcionan-los-filtros-de-aire/>

- [38] The principles of air filtration - AFPRO Filters. *PM1 filter manufacturer - ISO 16890 Air Filters - AFPRO Filters* [online] [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.afprofilters.com/the-principles-of-air-filtration/>
- [39] ČSN EN 1507. *Větrání budov - Kovové plechové potrubí pravoúhlého průřezu - Požadavky na pevnost a těsnost*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006, třídící znak 120507
- [40] Mandík, a.s. *Návod správného návrhu hygienických sestavných jednotek Mandík*. [online]. Hostomice: Mandík, a.s., duben 2017 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktova-rada/klimatizacni-jednotky/klimatizacni-jednotka-mandik>
- [41] RYBÍN, Roman. *Kontinuální měření průtoku v potrubí VZT systémů. Stavebnictví 3000*. [online] [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/kontinualni-mereni-prutoku-v-potrubu-vzt-systemu>
- [42] Multi-VAC spol. s r.o. *Tlumič hluku TH pro snížení hluku v potrubí*. In: *Multivac.cz*. [online]. Pardubice: Multi-VAC spol. s r.o., 2019 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/tlumic-hluku-th-pro-snizeni-hluku-v-potrubu>
- [43] TROX Austria GmbH. *TFC*. In: *Trox.cz*. [online]. Copyright © TROX Austria GmbH [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.trox.cz/strope%C3%AD-hepa-filtry/type-tfc-8c33a9de8dc9c89e>
- [44] KS Klima-service, a.s. *KS Čistě nastavce: Technický list*. [online]. Příbram: KS Klima-service, a.s., 12/2014. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/ks-cisty-nastavec>
- [45] RUBINA, Aleš. *Metodika postupu realizace VZT v čistých prostorách*. [online]. Brno: TZB-info © 2019. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/reklama/rubina-metodika/#1>
- [46] RUBINA, Aleš a Pavel UHER. *Čištění jednotek VZT. Topenářství instalace*. [online]. 4/2014. Brno: Topenářství a instalace, 20. 6. 2014. [cit. 22.05.2019], Dostupné také z: <http://www.topin.cz/clanky/cisteni-jednotek-vzt-detail-5670>
- [47] ČSN EN ISO 14644-5. *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 5: Provozování*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005, třídící znak 12 5301
- [48] *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU O energetické náročnosti budov*. Úřední věstník Evropské unie, 19. 5. 2010, Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
- [49] RUBINA, Aleš. *Postup při realizaci systémů VZT na stavbě čistých prostorů*. [přednáška]. Brno: Symposium Green Way 2019, 10. 4.2019

- [50] Halton group. *Halton Vita, Operating room solutions*. [online]. Halton group, 2017. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: https://www.halton.com/nl_NL/health/products/-/product/VOZ
- [51] ALSVED, M., A.CIVILIS, P. EKOLIND, A. TAMMELIN, A. E. ANDERSSON, J. JAKOBSSON, T. SVENSSON, M. RAMSTORP, S. SADRIZADEH, P-A. LARSSON, M. BOHGARD, T. ŠANTL-TEMKIV a J. LÖNDAHL. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. In: *journalofhospitalinfection.com*. [online] 2010 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: [https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701\(17\)30579-0/fulltext](https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701(17)30579-0/fulltext)
- [52] *Avidicare* [online] Copyright © Avidicare 2018 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.avidicare.com/>
- [53] ČSN EN 12106-6. *Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 6: Technické podmínky pro zařízení pracující na principu rozdílu tlaků - Sestavy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006, třídící znak 38 9700
- [54] KS Čistý nástavec : KS Klima-Service. *KS Klima-Service : Vzduchové filtry a filtrační zařízení* [online]. Copyright © 2002 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.ksklimaservice.cz/cz/ks-cisty-nastavec>
- [55] Distribuční elementy - Mandík. *Vzduchotechnika, protipožární technika - Mandík* [online]. Copyright © MANDÍK, [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktova-rada/distribucni-elementy>

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Konstrukce ocelové příčky [16]	13
Obr. 2.2 Operační sál s vestavbou [16]	13
Obr. 3.1 Usměrněné proudění vzduchu [1]	14
Obr. 3.2 Neusměrněné proudění vzduchu [1]	14
Obr. 3.3 Vektorový obraz proudění. Podélný řez OS se standardním laminárním stropem [20]	15
Obr. 3.4 Zjednodušené zobrazení proudění vzduchu v OS a znečištění primárního proudu vzduchem v místnosti [20]	15
Obr. 3.5 Příklad laminárního proudění nad operačním stolem (vlevo) a turbulentního proudění (vpravo) [19]	15
Obr. 4.1 Akustika prostoru s velmi nízkou pohltivostí – simulace místnosti operačního sálu [3]	17
Obr. 5.1 Aeroskop [28]	19
Obr. 5.2 Ruční čítač částic [29]	19
Obr. 5.3 Kultivovaný vzorek – plísně [27]	19
Obr. 5.4 Kultivovaný vzorek – bakterie [27]	19
Obr. 6.1 Uspořádání operačních sálů s jednou chodbou [32]	21
Obr. 6.2 Uspořádání operačních sálů s čistou a špinavou chodbou [32]	21
Obr. 7.1 Jednotka pro operační sál [3]	22
Obr. 7.2 Principy filtrace vzduchu [37]	24
Obr. 7.3 Měřicí kříž [41]	26
Obr. 7.4 Kulisový tlumič hluku [42]	26
Obr. 7.5 Přírodní prvek s filtrací [43]	26
Obr. 7.6 Laminární strop [20]	26
Obr. 8.1 Mechanické čištění vzduchotechnické jednotky [46]	27
Obr. 8.2 Mokrý čištění vzduchotechnické jednotky [46]	28
Obr. 8.3 Chemické čištění vzduchotechnické jednotky [46]	28
Obr. 9.1 Prstenec laminárního stropu kolem operačního stolu [50]	31

Obr. 9.2 TcAF systém na operačním sále [52]	31
Obr. S1: Schéma pro výpočet tlakových ztrát	40
Obr. S2 Čistý nástavec KS [54]	43
Obr. S3 Výustí VVM [55]	43
Obr. S4 Mřížka RAG45 [55]	43

Seznam tabulek

Tab. 2.1. Třídy čistoty vzduchu ISO podle koncentrace částic [2]	8
Tab. 2.2 Třídy čistoty dle vyhlášky č. 414/2017 [5]	9
Tab. S1 Tabulka místností	34
Tab. S2 Tabulka místností	36
Tab. S3 Tabulka místností	37
Tab. S4 Únik vzduchu zavřenými dveřmi	38
Tab. S5 Tepelné zisky	39
Tab. S6 Tlakové ztráty – zař.2 přívod	41
Tab. S7 Tepelné zisky – zař. 2 odvod	42
Tab. S8 Vzduchotechnické jednotky	43

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: Technické listy

PŘÍLOHA 2: Výkres č. 1 – Schéma

PŘÍLOHA 3: Výkres č. 2 – Půdorys 4.NP

PŘÍLOHA 4: Výkres č. 3 – Řez A, Řez B

PŘÍLOHA 5: Výkres č. 4 – Řez C, Řez D

PŘÍLOHA 6: Výkres č. 5 – Strojovna vzduchotechniky 2.NP

PŘÍLOHA 7: Výkres č. 6 – Řezy - strojovna vzduchotechniky