

OD NÁPADU K VÝROBKU ANEB APLIKOVANÝ VÝZKUM V PRAXI

Doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Pavel Uher, Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, Veveří 95 Brno

ABSTRAKT

Článek se zabývá popisem vývoje zavedené technologie od prvotní myšlenky až po její instalaci a ověření funkce v praktickém provozu. Článek ukazuje na význam užitného vzoru pro vývoj technologie a ekonomický přínos při provozu této technologie.

ÚVOD

V tomto článku je popsán vývoj nové technologie, která slouží pro distribuci vzduchu do čistých prostorů operačních sálů. Pro vývoj nové technologie byl použitý následující postup :

1, Identifikace současného stavu - byly zjištěny současná řešení distribuce vzduchu v operačních sálech (v ČR i ve světě)

2, Analýza probíhajících fyzikálních jevů - byly provedeny potřebné teoretické a experimentální metody pro plné pochopení jednotlivých fyzikálních jevů, ke kterým při stávající distribuci vzduchu na operačních sálech dochází

3, Syntéza poznatků a vývoj nového - byla provedena analýza a rozbor opatření (včetně ekonomického vyhodnocení), která je možné provést pro eliminaci negativních jevů spojených se současnou distribucí vzduchu, na základě analýzy problému bylo provedeno rozhodnutí, které určilo konkrétní směr vývoje nové technologie

4, Technický návrh nové technologie a užitný vzor byl navržen konkrétní technický výrobek a provedena základní technická dokumentace s popisem jednotlivých funkčních dílů, konkrétní technologie byla patentovou kanceláří ověřena jako prvotní, následně byla technologie opatřena ochrannou známkou ve formě užitného vzoru

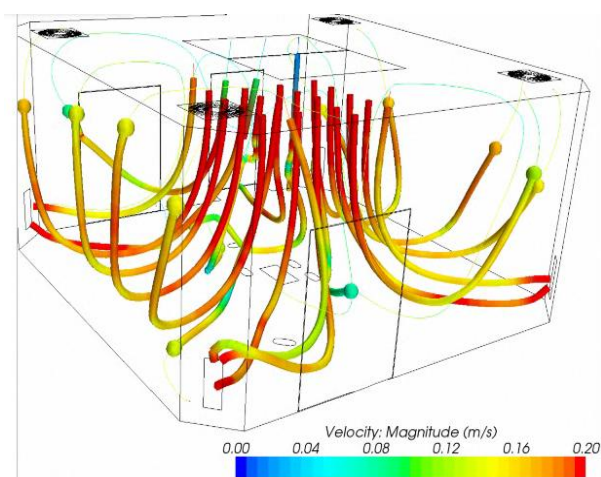
5, Výroba prototypu a zavedení nového výrobku do praxe - na základě získání užitného vzoru byly provedeny konkrétní konzultace s potencionálním výrobcem nové technologie včetně jejího prosazení pro montáž do reálného prostoru operačních sálů

6, Pilotní nasazení a ověření nové technologie - ověření funkčnosti nové technologie včetně ekonomického přínosu

7, Zavedení technologie do praxe - podpis licenční smlouvy a zavedení výrobku do produktové nabídky

Současné řešení distribuce

V současné době při navrhování systémů větrání a klimatizace čistých prostorů operačních sálů (dále jen OS) je hlavním prvkem pro formování prostředí jediný přívodní vzduchotechnický element, tzv. laminární strop (LS).



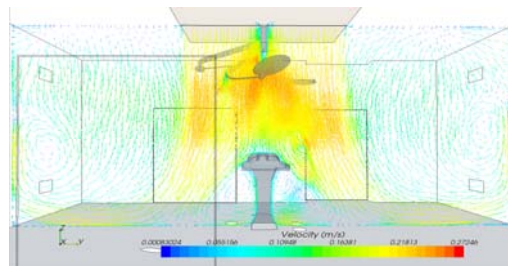
LS slouží pro přívod a koncovou filtraci přiváděného vzduchu do dané místnosti. Standardní laminární strop zajišťuje požadovanou čistotu prostředí v operačním poli pacienta. Jak bylo zjištěno matematickými modely proudění vzduchu a experimentálním měřením, v praxi dochází na všech operačních sálech ke stejnému efektu samoznečištění, kdy po čase provozu dojde ke zvýšení koncentrace částic v operačním poli a tím ke snížení požadované třídy čistoty.

Zjištění probíhajících fyzikálních jevů

Pro zjištění fyzikálních jevů spojených s distribucí vzduchu byly zvoleny potřebné teoretické a experimentální metody. Jednotlivé metody se vzájemně prolínají a pouze jejich vzájemnou komparací bylo možné dosáhnout relevantních výsledků. Současně je z hlediska úspory energie vhodné, aby množství vzduchu pro větrání bylo co možná nejmenší. Základním funkčním parametrem čistého prostoru je čistota vzduchu, tedy počet částic aerosolu ve vzdušném prostoru.

Teoretické metody, řešení pro úlohy z oblasti teorie proudění a sdílení tepla, které zahrnují zejména:

- Analýzu obrazu proudění metodou teorie podobnosti (podobnostní modelování) a rozměrové analýzy s cílem postihnout složité děje v aerodynamice větrání jako výchozí podklad pro návrh nového distribučního prvku pro optimalizaci obrazu proudění v OS.
- Simulaci obrazů proudění vzduchu matematickým modelováním na standardním operačním sále s charakteristickými geometrickými rozměry. CFD model sleduje vytvoření obrazu proudění s ohledem na překážky, jakými jsou např. operační svítidlo, operační stůl, operatéri apod.
- Výpočet energetických úspor vzduchotechnického zařízení se stávajícím a novým přívodním koncovým prvkem a následné porovnání provozních nákladů
- Návrh konstrukce nového koncového prvku pro přívod vzduchu vycházející z poznatků teoretické a experimentální analýzy distribuce vzduchu v OS.



Experimentální metody, které mají podobu:

- Měření koncentrace aerosolu v reálném objektu operačního sálu za provozních podmínek. Operační sály jsou typizované řešené prostory s podobnou velikostí a tvarem prostoru, s podobným vybavením, proto lze výsledky z experimentů získané v jednom OS zobecnit.
- Výroba prototypu nového koncového prvku pro přívod vzduchu a jeho instalace do reálného prostoru aseptického operačního sálu
- Ověření vlastností nového přívodního prvku při pilotní instalaci a měření kvality vzduchu v měřítku 1:1



Cílem všech použitých metod je plné osvětlení a popis jevů, které se uplatní při distribuci vzduchu vytěšňováním. Z dílčích výsledků byla provedena analýza a zhodnocení problému.

Analýza problému a východiska nového systému distribuce vzduchu na OS

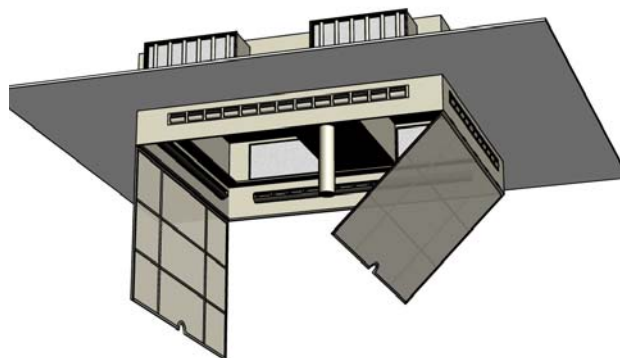
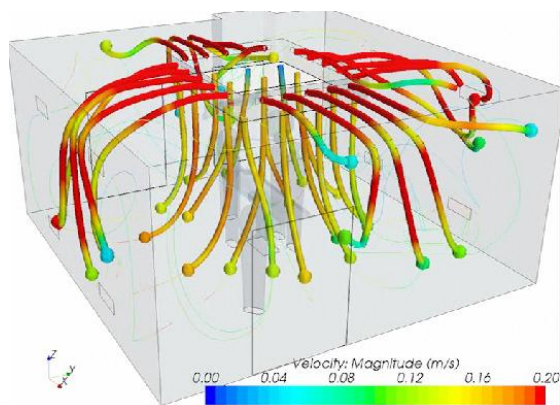
Výše uvedenými metodami bylo zjištěno přimíchávání znečištěného vzduchu vlivem zpětných proudů do primárního proudu vzduchu. Toto snižuje účinnost větrání a je z hygienického hlediska rizikovým faktorem. Filtrovaný přiváděný vzduch v případě správné funkce vzduchotechniky neobsahuje žádné částice větší jak $5 \mu\text{m}$ a částic větších než $0,5 \mu\text{m}$ je v 1m^3 cca 1 000, přičemž vzduch v místnosti obsahuje částic 10x více. Indukce sekundárního vzduchu je přirozený fyzikální jev, který není možné zcela eliminovat, úpravou obrazu proudění je však možné ho omezit.

Optimalizace distribuce vzduchu tedy znamená nastolení takového obrazu proudění, který sníží přimíchávání sekundárního znečištěného vzduchu do primárního proudu vzduchu. Pokud dojde ke zvýšení účinnosti větrání, bude navíc možné snížit průtok přiváděného vzduchu, což má za následek snížení energetické náročnosti klimatizačního zařízení.

Problematickou je i používaná výtoková rychlost cca $0,2 \text{ m/s}$ (mnohdy i $0,3 \text{ m/s}$), která je zdrojem lokálního tepelného diskomfortu členů operačního týmu. Dlouhodobé omývání krčních partií podchlazeným vzduchem má za následek lokální podchlazení provázené ztuhlostí svalstva v této oblasti. Z těchto důvodů bylo přikročeno

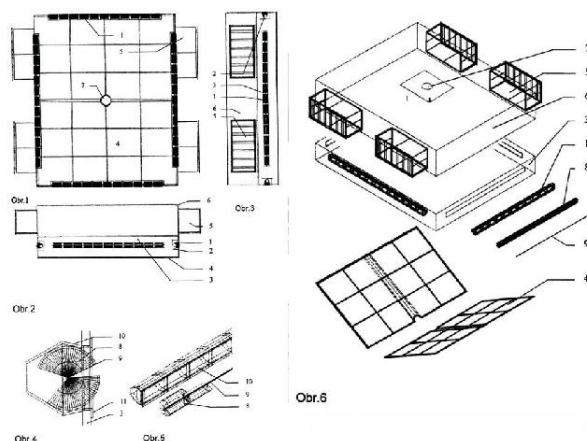
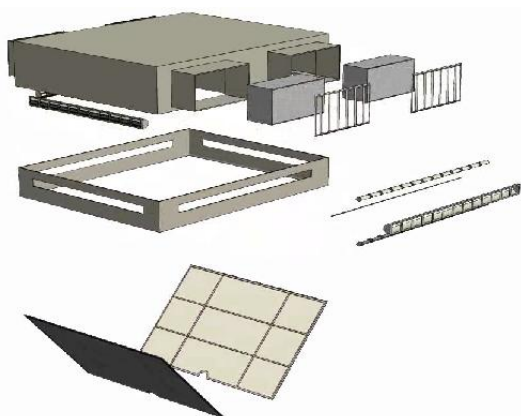
k hledání možností, jak tuto situaci zmírnit a současně zachovat požadovaný hygienický standard v prostoru OS.

Proto se autor začal zabývat myšlenkou změnit obraz proudění vzduchu v místnosti jako celku, zejména charakter proudění vzduchu pod stropem místnosti (zde byla při standardní distribuci zjištěna největší koncentrace částic , které mají vliv na čistotu operačního pole). Umístění a tvar laminárního stropu je dán chráněnou čistou zónou, je však možné tento přívodní prvek konstrukčně upravit tak, aby nebylo omezeno porušení „laminarity“ primárního proudu vzduchu. Obraz proudění bude novou konstrukcí přívodního prvku upraven na dokonalejší způsob vytěšňovacího větrání, kdy běžný způsob shora-nahoru bude nahrazen shora-dolů a do stran.



Technický návrh nové technologie a užitný vzor

Při tvorbě návrhu nového výrobku byly brány v úvahu nejen technické parametry a podmínky, které musí uvedená technologie zajistit, ale i podmínky ekonomické. Technologie musí být realizovatelná v praxi a musí být prodejná. Tj. cena výrobku musí být adekvátní nákladům spojeným se současným řešením výstavby operačních sálů. Na základě uvedených úvah byl sestaven nový laminární strop s přívodem vzduchu shora-dolů-do stran nazvaný kombinovaný laminární strop (KLS).



Předností KLS je optimalizace obrazu proudění v místnosti, která způsobí výhodnější rozložení koncentrace částic v prostoru. Výhodnější znamená, že v chráněném prostoru operačního pole bude nižší koncentrace prachových částic s použitím KLS než s použitím běžného LS při stejné intenzitě zdrojů částic v prostoru.

Aby bylo možné nový přívodní prvek prosadit do praxe, bylo nutné najít strategického partnera , který by případnou výrobu reálného prototypu realizoval. Jednou z podmínek určitá výjimečnost nabízené technologie. Jednou z možností jak takovou „výjimečnost“ získat je technologii chránit nějakou formou duševního vlastnictví. V zásadě jsou u nás dvě možnosti a to získat patent nebo užitný vzor. Užitný vzor je z hlediska časového i ekonomického přístupnější a v daném případě byla tato forma duševního vlastnictví shledaná jako přijatelná.

Uvedenému KLS byla v roce 2007 Úřadem průmyslového vlastnictví přidělena ochranná známka ve formě Užitého vzoru č. 17934. Elektronická forma dokumentu je dostupná na odkazu :

<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1031661&lan=cs>

Výroba prototypu a zavedení nového výrobku do praxe

Po provedených teoretických a experimentálních přípravách byla na základě dohody mezi autorem a vedením nemocnice uzavřena dohoda o provedení výměny stávajícího laminárního stropu za novou technologii KLS. Vzhledem k autorově projekční praxi, spolupráci s výrobcem laminárních stropů (soukromou společností ELFA spol. s r.o. se sídlem v Brně) a získání ochranné známky formou užitého vzoru, byla dohodnuta spolupráce na výrobě a následné montáži prototypu technologie KLS. Na konci září v roce 2008 byl nemocnicí vybrán termín odstávky operačních sálů a montáže nové technologie.



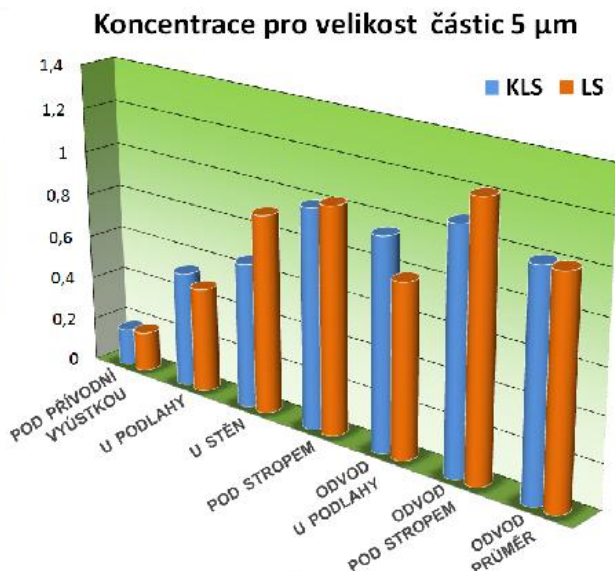
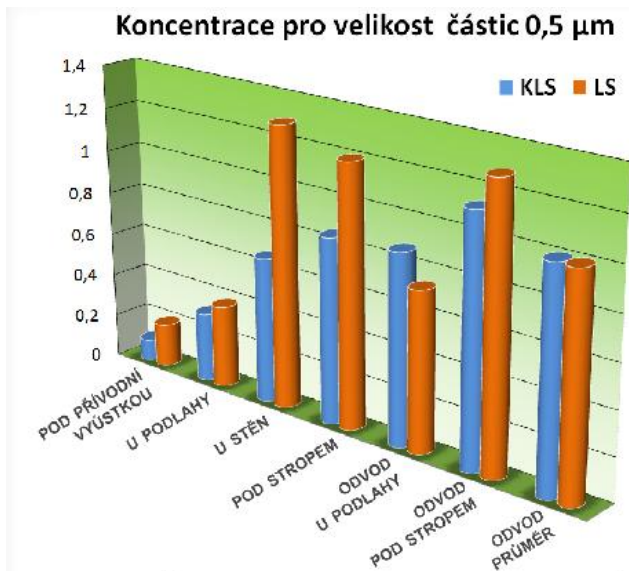
Po demontáži stávajícího LS a následné montáži nové technologie KLS byl OS vyčištěn a desinfikován. Poté byl prostor operačního sálu předán investorovi do zkušebního provozu. Po týdenním zkušebním provozu bylo podle dohody s nemocnicí dne 23. 9. 2008 provedeno kontrolní – validační měření čistoty operačního sálu s výsledky popsány dále.

Výrobek KLS je oproti tradiční koncepci provedení laminárního stropu podvěšený cca 300 mm pod pohled místnosti. Zmenšením vzdálenosti mezi KLS a operačním stolem je možné snížit výtakovou rychlost z laminarizátoru z dnešních 0,2 až 0,25 m/s na 0,16 až 0,18 m/s. Snížením výtakové rychlosti z KLS podle matematických modelů nedojde k narušení charakteru jednosměrného proudění v zóně operačního pole a současně dojde ke snížení pocitu průvanu operatérů. Množství vzduchu, o které je snížena hodnota do operační zóny, je využito pro distribuci vzduchu pod strop dané místnosti. Touto koncepcí je zachována energetická náročnost místnosti po stránce vzduchotechniky a zároveň dochází ke změně obrazu proudění.

Ověření nové technologie

Vzhledem k tomu, že kritériem kvality vzduchu v OS je koncentrace pevného aerosolu v operačním poli, bylo provedeno měření počtu částic v operačním sále před instalací a po instalaci nového přívodního prvku – kombinovaného laminárního stropu. Měření probíhalo před i po na stejném operačním sále, za stejných podmínek. V prvním měření byl jako koncový prvek využit původní laminární strop pouze s výtokem vzduchu shora dolů, druhé měření probíhalo po montáži prototypu KLS. Obě měření prováděla vedoucí národní referenční laboratoře pro prašnost Ing. Mathausarová ze Státního zdravotního ústavu (SZÚ). Na základě změřených hodnot počtu pevných částic ve vybraných bodech (celkem 17 strategicky vybraných míst v celém OS) lze provést úvahu o přínosu nové technologie pro distribuci vzduchu na operačních sálech.

Celkové vyhodnocení porovnávacích měření bylo provedeno pro dvě skupiny velikosti částic, menší částice od velikosti 0,5 μm do 5 μm a větší částice s průměrem větším jak 5 μm . Počty částic v různých oblastech OS se významně liší. V prostoru mimo operační pole je koncentrace částic více než 5ti násobná, než v oblasti pod přívodním elementem (LS, KLS).



Poměr koncentrace látky v odváděném vzduchu (tedy u odvodních koncových elementů) a v dýchací zóně (zde v operačním poli) definuje účinnost větrání. Obecně platí, že čím vyšší účinnost větrání, tím lepší kvality vzduchu se dosahuje a tím s menšími průtoky větracího vzduchu je nutné pracovat. V tabulce níže jsou uvedeny vypočtené účinnosti pro oba měřené případy a dvě skupiny velikostí částic. Pro jemný prach má tato účinnost pro LS hodnotu 5, pro KLS hodnotu 10, tedy dvojnásobnou. U velkých částic již rozdíl tak výrazný není, v prostoru s KLS dochází k vytěsňování částic více směrem dolů, celková účinnost pro LS má hodnotu 5,9, pro KLS 6,4. Důvod odlišného rozdělení malých a velkých částic bude dále předmětem zkoumání. Vzduch přiváděný bočními štěrbinami pod strop zředňuje vzduch pod stropními odvodními elementy, proto jsou zde koncentrace nižší u KLS než u LS, zatímco u podlahy je tomu obráceně.

Tabulka - srovnání účinnosti větrání LS a KLS

	Jemný prach	Hrubý prach
LS (standardní provedení)	5,2	5,9
KLS (inovované provedení)	10,1	6,4

Počet částic při použití nové technologie KLS v místě operačního pole splní podmínky kladené na operační sál superseptický, tj. uvedenou technologií se změnou distribuce vzduchu je za určitých podmínek možné při stejné intenzitě výměny vzduchu zvýšit třídu čistoty prostoru. Zde je otevřený prostor pro možné úspory energie.

Podle současně obecně platných technických návrhů zařízení vzduchotechniky je třída čistoty prostoru řešena intenzitou výměny vzduchu, tedy množstvím dopravovaného a upravovaného vzduchu. Obecně se udává množství vzduchu pro aseptický sál hodnotou 2400 m³/h nebo intenzitou výměny nejméně 20 x/h, pro superseptický sál je požadováno minimální množství vzduchu 3600 m³/h nebo intenzita výměny nejméně 30 x/h. V případě, že by bylo možné pro tvorbu vnitřního mikroklimatu a čistoty prostoru superseptického operačního sálu použít stejné množství vzduchu jako pro sál aseptický, případně s menším nárůstem např. 3000 m³/h místo požadovaných 3600 m³/h, dojde vzhledem k celodennímu provozu těchto zařízení k energetickým úsporám při jejich provozu.

Na základě provedených výpočtů spotřeby tepla, chladu, páry a elektrické energie potřebné pro dopravu vzduchu byl proveden přepočítaný teoretický spotřebu energie v MWh/rok na finanční náklad provozu uvažovaných zařízení. Pro přepočítání byly použity ceny 480 Kč za 1GJ spotřebované energie a 2,2 Kč za 1 kWh elektrické energie. Energetická náročnost prostoru OS a předpokládané finanční náklady na provoz 1 hodiny provozu daného operačního sálu jsou uvedeny v tabulce

Operační sál	Množství přiváděného vzduchu (V_p)	Množství odváděného vzduchu (V_o)	zpětné získávání tepla (ZZT)	Potřeba tepla (Q_t)	Potřeba chladiče (Q_{ch})	Potřeba páry	Elektrická energie pro pohon ventilátorů	Náklady na průměrnou hodinu provozu
-	m^3/h	m^3/h	%	MWh / rok	MWh / rok	tun / rok	MWh / rok	Kč / hodina
Superseptický	3600	3200	50	59,8	6,8	53	27	84
Aseptický	2400	2100	50	40,4	4,6	35	16	52
Teoretická úspora	-	-	-	-	-	-	-	32

Další finanční úsporou při použití nové technologie je úspora v pořizovacích nákladech systému VZT. V případě, že pro provoz superseptického sálu stačí parametry VZT pro sál aseptický je i VZT zařízení celkově subtilnější (menší VZT jednotka, geometricky menší rozvody VZT, menší potřebná výměra na izolace vzduchovodů apod. řádově se dá předpokládat, že celková úspora nákladů na systém VZT obalující prostor superseptického sálu je až 25% současných nákladů.

Zavedení technologie do praxe

Poměrným hodnocením bylo prokázáno, že KLS nastoluje výhodnější rozložení částic v prostoru OS, protože tento systém distribuce vzduchu dosahuje vyšší účinnosti větrání, dále je možné při využití této technologie dosáhnout zajímavé úspory na provozu VZT zařízení. Podle vyhodnocení výsledků měření byla technologie KLS zavedena do výrobního sortimentu soukromé společnosti ELFA spol. s r.o.

ZÁVĚR

Uvedené nové systémové řešení distribuce vzduchu na OS je možností, jak řešit problémy energetické náročnosti soustav vzduchotechniky v čistých prostorách a zároveň zvyšovat kvalitu vnitřního prostředí těchto čistých prostorů. Z měření a teoretických předpokladů vyplývá, že úspora nákladů na provoz dané vzduchotechnické soustavy nemusí být řešena pouze náhradou zpětného získávání tepla směřováním (ne vždy lze částečnou cirkulaci vzduchu použít), ale že je možné provozní náklady snížit i aplikací nové technologie. Výhodou nové technologie je i snížení pořizovacích nákladů na systém VZT (zařízení je subtilnější).

Využití v praxi je možné jak na aseptických, tak i na superseptických sálech. V době zpracování tohoto textu probíhají jednání o případné instalaci této technologie v čistých prostorách nového objektu OS výzkumného centra na akci FN u Sv. Anny v Brně – ICRC.

Důležitým krokem pro možnost výroby prototypu uvedeného výrobku bylo získání ochranné známky ve formě užitečného vzoru. Na základě jeho získání bylo možné novou technologii a získané teoretické poznatky ověřit v praxi při reálném provozu.

Článek vznikl za podpory specifického výzkumu reg. číslo FAST-J-11-30, identifikační číslo 1321

Literatura

Rubina, A., Optimalizace distribuce vzduchu v prostorách s vysokými nároky na čistotu prostředí, habilitační práce, VUTIUM, ISSN 1213-418X, Brno, 2011

Rubina, A., Modelování obrazů proudění vzduchu ve standardním operačním sále, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, 2010

Rubina, A., Nový prvek pro přívod vzduchu na standardním operačním sále – kombinovaný článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, 2010

Rubina, A., Uher P.: Obrazy proudění vzduchu na standardním operačním sále, Sborník 5.konference IBPSA-CZ, Brno 2008, ISBN 978-80-254-3373-7