

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva

Vetranie a úprava vzduchu v priemysle a budovách

Bratislava 2016

Bc. Terézia Lamperová

Obsah

Zoznam literatúry	2
Abstrakty článkov	3
Abstrakt	7
1. Úvod.....	8
2. Typy ventilačných systémov.....	8
2.1 Vetrom riadené ventilačné techniky	8
2.2 Okenné otvory	8
2.3 Komínové nadstavce, veterné steny, veterné veže	9
2.4 Hybridné ventilácie.....	9
2.5 Zmiešaný typ ventilácie.....	9
3. Matematický model prúdenia – CFD.....	10
4. Spotreba energie a účinnosť ventilácie	11
5. Záver	11
Zoznam doplnkovej literatúry	13

Zoznam literatúry

- [1] Khan, N., Su, Y., Riffat, S. : A review on wind driven ventilation techniques, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1586-1604
- [2] Kosik, W. J. : Design strategies for hybrid ventilation, *ASHRAE Journal*, Oct. 2001, ProQuest Central pg. 18-24
- [3] Caputo, A., C. ,Pelagagge, P., M., : Upgrading mixed ventilation systems in industrial conditioning, *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 3204 – 3211
- [4] Wang, S., Zhu, D., : Application of CFD in retrofitting air – conditioning systems in industrial buildings, *Energy and Buildings* 35 (2003) 893 – 902
- [5] Tanasić, N., Jankes, G., Skistand, H., : CFD analysis and airflow measurement to approach large industrial halls energy efficiency: A case study of a cardboard millhall, *Energy and Buildings* 43 (2011) 1200 – 1206
- [6] Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M., Yan, J., : Achieving better energy- efficient air conditionind – A review of Technologies and stretegies, *Applied Energy* 104 (2013) 87-104

Abstrakty článkov

A review on wind driven ventilation techniques #1

Natural ventilation has gained prominence in recent times as a bespoke method of ventilating buildings. The two fundamental principles of natural ventilation are stack effect and wind driven ventilation. This paper reviews miscellaneous wind driven ventilation designs with respect to traditional means such as wind towers and more modern techniques including turbine ventilators and wind catchers. A distinction is made between specific types of wind driven ventilation techniques depending on their operation and mode of engagement with the wind. For example, a static wind catcher is classified as passive; a rotating wind cowl as a directed passive technique and a rotating turbine ventilator is classified as outright active due to its constant rotation with the wind. A table summarising the review is presented at the end with corresponding references.

Keywords: Wind driven ventilation; Passive; Active

Upgrading mixed ventilation systems in industrial conditioning #3

Mixing ventilation systems (MVS) involve injecting cold air from the upper part of the room. The resulting turbulent mixing of the cold stream with ambient air determines a cooling of the whole volume and establishes an uniform temperature level with a very low vertical temperature gradient. While this method is commonly practiced it may not be energy efficient as the entire room volume gets cooled while often only the lower room volume, occupied by personnel at the shop floor level, needs conditioning. This may be a severe drawback especially in high-ceiling buildings and when process equipment with high thermal loads are utilized. In this paper an easily retrofitted improvement solution to existing MVS, called retrofit hybrid displacement ventilation system (RHDVS) is suggested and compared with a traditional MVS taking into account technical and economic performances. The study was carried out resorting to experimental measurements on a single-diffuser pilot installation of the RHDVS in an actual industrial facility, to characterize the existing MVS and estimate the performance improvement obtainable with the proposed RHDVS. An economic analysis was finally performed to assess the retrofit economic feasibility in case it is extended to the entire plant. Respect mixing ventilation, a reduction of the air flow rate cooling requirement from 12 to 6 kJ/kg resulted in the considered application, with an average cost saving of 50,000 €/yr. A pay back time of less than 1 year followed, making the upgrade to RHDVS an interesting alternative.

Keywords: Mixing ventilation, Displacement ventilation, Economic analysis, Industrial ventilation, Retrofit

Application of CFD in retrofitting air – conditioning systems in industrial buildings #4

This paper presents a practical case study using the computational fluid dynamics (CFD) technique in retrofitting the large cabinet fans and airflow channels in malt processing air-conditioning systems in order to get uniform airflow field, to increase fan capacity and reduce energy consumption. Site measurements were used to validate the models before they were used. CFD simulation results were used to evaluate and optimise the design and construction of splitter vanes in the airflow channels and scrolls of the fans. Simulation tests showed that the fan capacity (maximum total air flow rate delivered at full fan speed) could be increased by 8.3–20% using different shapes of scroll, and 30–34% by adding splitter vanes further in the airflow channels. After retrofitting the fans and airflow channels, site measurements showed that the fan capacity increased 21–24 and 28–29%, respectively in the two buildings validated. The approach of using the CFD technique in the retrofitting, the simulation results, and the site measurements before and after fan retrofitting are presented and compared in this paper.

Keywords: Computational fluid dynamics; Computer simulation; Fan; Air-conditioning; Retrofitting; Energy conservation; CFD

CFD analysis and airflow measurement to approach large industrial halls energy efficiency: A case study of a cardboard millhall #5

This paper deals with numerical methods for predicting air flow patterns in large industrial halls. Some major findings of the investigation of the airflow patterns in paper machine hall of Umka Cardboard Mill are presented in the paper. The main reason for the interest in this problem is to find optimal locations for extract air intake connections of the ventilation system connected to the exhausted air waste heat utilization. Previous studies have shown that the amount of heat released from the cardboard machine to the surrounding air in the hall and extracted by the series of ceiling mount axial fans was almost 30% of the total waste heat from the paper machine's drying section. These results have indicated the need for the waste heat utilization, but also for the optimization of the ventilation system. CFD simulation for predicting of airflow patterns was applied. The accuracy of the simulation was evaluated by comparing its results with the results of field measurements. Simulation results served well for qualitative analysis, gave better insight in general air movements inside the

hall and indicated the extract air intake locations. By utilizing the waste heat from proposed optimal locations, fuel savings of 5% and reduction of 1140 t/year in CO₂ emissions can be achieved.

Keywords: Industrial buildings, Energy efficiency, Temperature and airflow measurements, CFD simulation

Achieving better energy- efficient air conditioning – A review of Technologies and strategies #6

Air conditioning is essential for maintaining thermal comfort in indoor environments, particularly for hot and humid climates. Today, air conditioning, comprising cooling and dehumidification, has become a necessity in commercial and residential buildings and industrial processes. It accounts for a major share of the energy consumption of a building or facility. In tropical climates, the energy consumed by heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) can exceed 50% of the total energy consumption of a building. This significant figure is primarily due to the heavy duty placed on cooling technologies to remove both sensible and latent heat loads. Therefore, there is tremendous potential to improve the overall efficiency of the air-conditioning systems in buildings.

Based on today's practical technology for cooling, the major components of a chiller plant are (1) compressors, (2) cooling towers, (3) pumps (chilled and cooling water) and (4) fans in air handling units. They all consume mainly electricity to operate. When specifying the kW/R ton of a plant, there are two levels of monitoring cooling efficiency: (1) at the efficiency of the chiller machines or the compressors which consume a major amount of electricity; and (2) at the overall efficiency of cooling plants which include the cooling towers, pumps for moving coolant (chilled and cooling water) to all air-handling units. Pragmatically, a holistic approach is necessary towards achieving a low energy input per cooling achieved such as 0.6 kW/R ton cooling or lower by considering all aspects of the cooling plant.

In this paper, we present a review of recent innovative cooling technology and strategies that could potentially lower the kW/R ton of cooling systems – from the existing mean of 0.9 kW/R ton towards 0.6 kW/R ton or lower. The paper, broadly divided into three key sections (see Fig. 2), begins with a review of the recent novel devices that enhances the energy efficiency of cooling systems at the component level. This is followed by a review of innovative cooling systems designs that reduces energy use for air conditioning. Lastly, the paper presents recent developments in intelligent air-

control strategies and smart chiller sequencing methodologies that reduce the primary energy utilization for cooling.

The energy efficient cooling technology, innovative systems designs, and intelligent control strategies described in the paper have been recently researched or are on-going studies. Several have been implemented on a larger scale and, therefore, are examples of practical solutions that can be readily applied to suit specific needs.

Keywords: Air conditioning, Energy efficiency, Novel cooling Technologies, Cogeneration/trigeneration, Waste heat recovery

Abstrakt

For people working in buildings and industrial halls is necessary to provide adequate comfort. Air conditioning is essential for maintaining thermal comfort in indoor environments, particularly for hot and humid climates. There are many types of air conditioning systems in use nowadays, such as natural ventilation, wind driven ventilation techniques, window openings, chimey/exhaust cowls and others.

For predicting air flow patterns in large industrial halls, numerical method- Computational fluid Dynamics (CFD) is being used. This method is good for mapping building and estimation of appropriate conditioning, but it is very difficult to obtain necessary data for simulation. Since the air conditioning represents a significant share of energy consumption of buildings, it is necessary to achieve energy-efficient air conditioning.

1. Úvod

V súčasnosti kedy sú kladené vyššie nároky na kvalitu prostredia, v ktorom ľudia pracujú, vetranie, úprava vzduchu a klimatizácia sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou budov. Či už ide o nemocnice, obchodné centrá alebo priemyselné budovy, je potrebné navrhnuť také odvetrávacie zariadenia aby zabezpečili potrebný komfort pre ľudí nachádzajúcich sa v budovách. Pre každý prípad je potrebné navrhnuť a zrealizovať vhodné riešenie, ktoré je vhodné priamo na podmienky danej budovy a sme pomocou neho schopní dosiahnuť požadovanú kvalitu vzduchu. Ventilácia je však energeticky náročný proces a tak je potrebné nastaviť jej podmienky tak, aby nedochádzalo k plytvaniu energiami.

2. Typy ventilačných systémov

Existuje veľké množstvo ventilačných systémov pred domy, priemyselné budovy a iné budovy, ktoré sú vhodné pre použitia v rôznych podmienkach (prúdenie vzduchu, vietor) a podnebiach. Úlohou každej ventilácie je vymeniť vzduch v uzatvorených priestoroch za čistý vzduch, ktorý bude kontaminanty obsahovať len v bezpečných koncentráciách.

2.1 Vetrom riadené ventilačné techniky

Jedným z typov ventilácií sú *vetrom riadené ventilačné techniky*. Tento typ ventilácie sa dá rozdeliť do ďalších podskupín v závislosti od ich prevádzky a spôsobu spojenia s vetrom. Najjednoduchším typom je *prírodná ventilácia*, ktorá využíva rozdiely tlakov a komínový efekt. Rozdiel tlakov je spôsobený vytvorením pretlaku na náveternej strane a podtlaku na záveternej strane. Práve rozdiel tlakov von a vo vnútri budovy spôsobujú prúdenie vzduchu. Prúdeniu vzduchu taktiež napomáha komínový efekt, ktorý je spôsobený rozdielom teplôt von a vo vnútri budovy. Tento typ vetrania budov sa stal jedným zo základných metód energetickej úspornosti, avšak je aplikovateľný len pre limitujúcu škálu klím a budov [1].

2.2 Okenné otvory

Ďalším spôsobom ako dosiahnuť požadovanú teplotu a kvalitu vzduchu v budovách je využitie ďalšieho typu ventilácie, a to *okenné otvory (window openings)*. Tento typ je ovplyvnený rýchlosťou a smerom vetra, preto je potrebné navrhnuť také miesta pre umiestnenie okien aby bol proces odvetrávania čo najefektívnejší efektívny. Obmedzením pre

tento proces sú práve nepredvídateľné sily vetra, pričom v čase, kedy vietor neposkytuje postačujúce hnacie sily je potrebné uviesť do prevádzky ventilátory. [1]

2.3 Komínové nadstavce, veterné steny, veterné veže

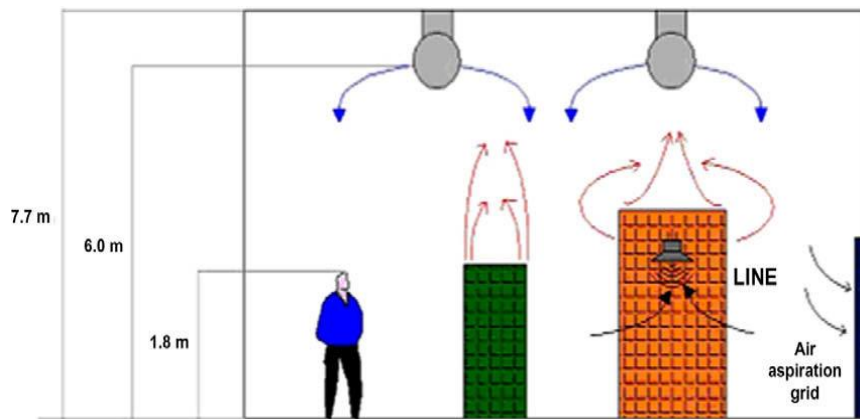
Ďalšími typmi sú *komínové nadstavce(chimney /exhaust cowls)*, *veterné steny (wing walls)*,*veterné veže (wind towers)* a iné, ktorých spôsob prevádzky a použitie je uvedený v článku [1].

2.4 Hybridné ventilácie

V dnešnej dobe, kedy sa ľudia snažia znižovať spotreby energií a sledujú dopady na životné prostredie, boli vypracovávané rôzne štúdie ako odvetrávanie budov zefektívniť, čo najviac znížiť spotrebu energií a dopady na životné prostredie. Jedným z prijateľných riešení je využitie *hybridnej ventilácie*. Hybridná ventilácia pracuje na princípe spojenia mechanickej ventilácie, chladenia a prirodzenej ventilácie. Hlavnými výhodami použitia je to, že pri tomto type ventilácie dochádza k zníženiu spotreby energie na chladenie vzduchu čo napomáha zníženiu celkovej spotreby energie. Ďalším dôvodom používania je lepšia flexibilita, dlhšia životnosť zariadení a menšie náklady na prevádzku a údržbu[2].

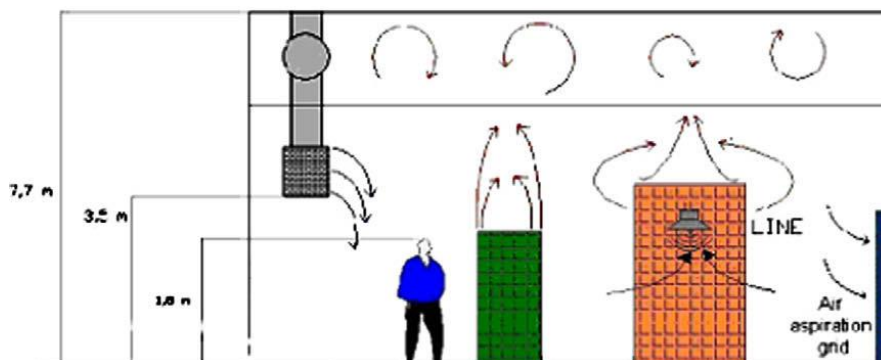
2.5 Zmiešaný typ ventilácie

V priemysle často používaným spôsobom ventilácie je *zmiešaný typ ventilácie (Mixed ventilation system-MVS)*. Tento typ ventilácie sa odkazuje na predtým spomínanú hybridnú ventiláciu, avšak obsahuje prvky, ktoré sú schopné prepínania režimov počas dňa, prípadne podľa ročného obdobia. Princípom MVS je vŕhnanie studeného vzduchu z vrchnej časti miestnosti a odvod teplého vzduchu pomocou mriežok umiestnených na strope alebo podlahe podľa potreby (Obr.1). Takéto prúdenie má zabezpečiť rovnomerné chladenie celého objemu vzduchu nachádzajúceho sa v miestnosti [3].



Obr. 1: Schéma zmiešaného ventilačného systému.

Alternatívou k takémuto systému je *posunutý ventilačný systém (displacement ventilation system DVS)*, ktorého schéma je znázornená na obr.2. Vháňanie vzduchu je zabezpečené pomocou difúzorov, ktoré sú umiestnené v nižších častiach miestnosti, zatiaľ čo teplý vzduch spolu so znečisteným prúdiť nahor, kde sú odčerpávané. Pri tomto type však musíme rátať s vytváraním vertikálneho gradientu teploty, ktorý je limitujúcim faktorom. Je potrebné zabezpečiť rozdiel teplôt medzi hlavou a nohami robotníka, ktorý musí byť 2-3°C. Takéto podmienky sa často krát dajú zabezpečiť len vháňaním veľkého množstva vzduchu do systému. Matematické modely a dizajn takýchto systémov nájdeme v literatúre [7 - 11].



Obr.2: Schéma displacement ventilation system.

3. Matematický model prúdenia – CFD

Pri návrhu a dizajne každej z vyššie uvedených ventilácií je vhodné použiť metódu *výpočtovej dynamiky kvapalín (computation fluid dynamic – CFD)* [4], ktorá má za úlohu predpovedať prúdenie vzduchu v budovách, pričom odhady získané z tohto modelu sú nápomocné pri navrhovaní vhodnej ventilácie. Táto metóda je taktiež hojne používaná ako

nástroj na výber dodatočnej montáže ventilačných zariadení a tiež ako metóda pre definovanie potenciálu využitia odpadového tepla, ktoré je generované pri výrobe [5].

CFD model rieši veľké množstvo rovníc pomocou ktorých predpovedá ako vzduch prúdi v okolí zariadení, v a v okolí budov. Po použití vhodných zjednodušení sa vieme dopracovať k všeobecnej rovnici, ktorá v spojení s matematickými modelmi ventilátorov postačuje na predpoklad prúdenia vzduchu v budove [4].

Pre odhad vzorov prúdenia dôležité vykonať sériu meraní. Ide o merania teploty, rýchlosti prúdenia, vlhkosti vo vnútri budovy, meranie teploty na povrchoch zariadení, stropoch a meranie teploty a vlhkosti okolitého vzduchu [5]. Po získaní všetkých potrebných dát je možné zostaviť model, ktorý je v spojení s materiálovými a energetickými bilanciami vhodný na predpoklad vhodného umiestnenia ventilátorov, využitia odpadového tepla alebo zlepšenia už existujúcej ventilácie.

4. Spotreba energie a účinnosť ventilácie

V súčasnom trende nárastu populácie, kedy ľudia trávajú väčšinu času v budovách je potrebné hľadať také možnosti nastavení a dizajnov odvetrávacích systémov, ktoré by zvyšovali ich celkovú účinnosť. Čo sa týka spotreby energie, všetky zariadenia potrebné na chod systému patria medzi veľkých spotrebiteľov, preto je potrebné zameriavať sa na výskumy týkajúce sa inovácie systémov, ktoré by mohli priniesť zníženie celkovej spotreby energie a mali by menší dopad na environment. Pri pokusoch o inovácie sa taktiež skúmali vplyvy klimatických zmien na spotrebu energie. Veľmi sľubnou alternatívou ako zintenzifikovať takýto systém je využívanie solárnej energie. Samozrejme systém nemôže byť navrhnutý len pre zníženie spotreby energie, ale musia tu byť minimalizované zdravotné problémy – musí byť dosiahnutá požadovaná kvalita ovzdušia [6].

5. Záver

Neoddeliteľnou súčasťou takmer každej budovy sa stáva klimatizácia. Podľa typu budovy, podmienok v nej a ďalších parametrov sa vyberá vhodný typ klimatizácie. Na

súčasnom trhu je dostupné veľké množstvo klimatizačných systémov, je však potrebné vybrať čo najvhodnejší typ je pre budovu.

Pri výbere vhodného systému je vhodné použiť metódu CFD - Computation fluid dynamic. Ide o matematický model, ktorý predpokladá prúdenie vzduchu v budove, pričom odhady získané z modelu sú nápomocné pri navrhovaní vhodnej ventilácie, prípadne sú použité pri prerábkach ventilačných systémov pre ich zefektívnenie.

Keďže klimatizačné systémy majú významný podiel na spotrebe energie budov, je potrebné hľadať také alternatívy, ktoré zlepšia účinnosť klimatizácie, znížia jej spotrebu energií a súčasne si zachovávajú požadovanú kvalitu ovzdušia.

Zoznam doplnkovej literatúry

- [7] ACGIH, Industrial Ventilation – A Manual of Recommended Practice, Metric Version, 23rd ed., USA, 1998.
- [8] ASHRAE, Handbook. HVAC Systems and Equipment, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, USA, 2002.
- [9] E. Mundt, Displacement ventilation systems – convections flows and temperature gradients, Building and Environment 30 (1995) 29–133.
- [10] H. Skistad, Displacement Ventilation, Research Studies Press Ltd., 1994.
- [11] H. Xing, H.B. Awbi, Measurement and calculation of the neutral height in a room with displacement ventilation, Building and Environment 37 (2002) 961–967.
- [12] Norton, T., Sun, Da – Wen, Gant, J., Fallon, R., Dood, V., : Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review, Bioresource Technology 98 (2007) 2386- 2414
- [13] Norton, T., Sun, Da – Wen, : Computational fluid dynamics (CFD) e an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: A review, Trends in Food Science & Technology 17 (2006) 600e620
- [14] Balaras, C. A., Grossman, G., Henning, M., Ferreira, C., et all : Solar air conditioning in Europe—an overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 299–314
- [15] Pita, Edward G., Air conditioning principles and systems, An energy approach