

TOMASZ GORECZNY

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland

e-mail: jtomasz.goreczny@wp.pl

DESIGN OF MECHANICAL VENTILATION SYSTEMS – EFFICIENT USE OF ENERGY

Abstract

The paper presents the possibility of using energy-efficient technologies, namely free cooling and mechanical ventilation system operation with variable stream of fresh air used in order to meet the requirements of energy efficiency. Analysis of energy consumption of ventilation air treatment processes compared the theoretical/designed energy consumption of real energy needs. For this purpose, energy consumption for heating and cooling processes for one unit m^3/h of fresh air was determined.

Keywords: efficient use of energy, mechanical ventilation, energy consumption, free cooling

1. Introduction

Heating, ventilation and air conditioning installations (HVAC) are integrated air treatment systems. In public buildings energy demand for air treatment process is about 30% of the total energy demand of the building. Efficient use of energy consumed by HVAC systems must be planned at the design stage. Polish current guidelines for the design of mechanical ventilation systems resulting from the provisions of the Building Code specify only that the energy consumption of mechanical ventilation systems should be at reasonably low level. There is no national designers to develop guidelines how to design ventilation systems to meet this condition.

Improving the energy efficiency of HVAC systems should be part of a program to promote renewable energy sources and energy efficiency in the implementation of EU Directives 28 and 31. Currently, this is implemented only by taking into account high efficiency components in the ventilation projects. Note, however, that the final energy consumption also depends on the amount of air that needs to be treated. These parameters are determined by the assumptions taken into account at the design stage. In addition, there are energy-efficient technology and automation control components, in order to obtain energy consumption by HVAC systems at a reasonably low level. These

solutions are widely used in the international market. In the Polish legal regulations there are no laws requiring the use of such solutions, the paper presents the possibility of using energy-efficient technology, i.e. free cooling and mechanical ventilation system operation with variable stream of fresh air, meeting the requirements of energy efficiency.

2. Energy consumption of ventilation air treatment process

Heating, ventilation and air conditioning systems (HVAC) are designed to supply, treat and distribute indoor air. It is estimated that currently this systems consume about 33% of the total energy demand in the public buildings [2].

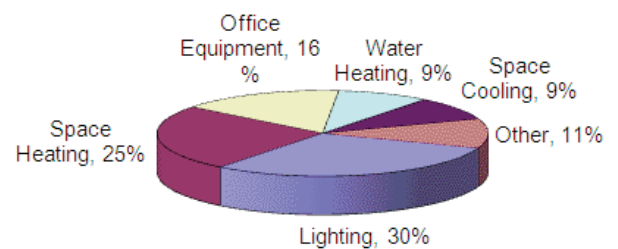


Figure 1. Primary energy consumption – commercial buildings

Analysis of energy consumption of ventilation air treatment processes is to compare the theoretical/designed energy consumption of real energy needs.

For this purpose, energy consumption for heating and cooling processes for one unit m^3/h of fresh air, which is taken in from outside of the building was calculated.

To determine the designed energy consumption in heating and cooling processes normative parameters of air for ventilation system are used. They do not include the possibility of using automation regulatory and energy saving solution to reduce energy consumption, due to the fact that in the current legislation there is no obligation to use such solutions.

To determine the real energy demand for heating and cooling processes for one unit of air, an analysis of changes in outside air temperature of different times and days of the year is needed. The calculations were made for a representative city located in the second climatic zone. Then the energy demand for heating 1 $[\text{m}^3/\text{h}]$ fresh air was determined, taking into account the real value of the outside air temperature. In the simulation, calculation of energy consumption for air cooling process includes widely used, although not required under any laws in free-cooling system. The results were compared with the normative energy demand.

2.1. Calculation of energy consumption of ventilation air treatment processes – fresh air cooling process.

Calculations were made for normative parameters of the air:

- $T_{\text{internal}} = 20^\circ\text{C}$; $T_{\text{External}} = 35^\circ\text{C}$ constans (normative),
- $T_n = 15^\circ\text{C}$; temperature of supply air,
- n – number of hours in the year in which $T_{\text{external}} > \text{supply air temperature}$ [1],
- $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$, $\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$

Table 1. Energy consumption of the air cooling process

m	n	T_{External}	T_n	DT	Q_{Energy} for cooling 1 $[\text{m}^3/\text{h}]$ of air	Q_{annual} Energy for cooling air/year
m^3/h	h/year	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	K	kW	kWh/year
1	2052	35	15	20	0.0068	13.98

Calculations were made for real parameters of the air:

- $T_{\text{internal}} = 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{external}} = \text{variable}$,
- $T_n = 15^\circ\text{C}$ Temperature of supply air,
- $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$; $r = 1.22 \text{ [kg/m}^3]$,
- $Q = 0.0068 \text{ kW}$ – Energy for cooling 1 m^3/h of air.

This configuration leads to designation of the energy demand for the cooling process of 1 m^3/h fresh air, using the proposed solution, based on three modes of operation of the cooling system with the use of free cooling. The different modes are selected automatically according to the ambient temperature.

- **Mode 1** – external temperature $> 35^\circ\text{C}$
Cooling by compressor unit with a cooling capacity 0.0068 kW and 0.0023 kW electricity consumption
- **Mode 2** – external temperature before 35°C a 15°C
50% cooling by dry cooler unit with a cooling capacity 0.0068 kW and 0.00023 kW electricity consumption, cooperate in 50% with compressor unit with a cooling capacity 0.0068 kW and 0.0023 kW electricity consumption
- **Mode 3** – external temperature $< 15^\circ\text{C}$
Cooling by dry cooler unit with a cooling capacity 0.0068 kW and 0.00023 kW electricity consumption, decreasing as external temperature reduction

Table 2. The results of air temperature over the year 8760 h/year

External temperature, $^\circ\text{C}$	$> 35^\circ$	$35^\circ < 15^\circ$	$< 15^\circ$
Number of hours in the year at a given temperature h/year	1	2052	6708

Table 3. Energy consumption of the cooling process, energy-saving configuration

Energy consumption by cooling process kWh/year	Year-round work on the compressor unit	The proposed variant of the free cooling system		
		Mode 1	Mode 2	Mode 3
0.0023 kW \times 8760 h/year = 19.89 kWh/year		0.0023 kW \times 1 h/year = 0.0023 kWh/year	(50% \times 0.00023 kW + 50% \times 0,0023 kW) \times 2052 h/year = 1.15 kWh/year	0.00023 kW \times 6708 h/year = 0.69 kWh/year
		0.0023 + 1.15 + 0.69 = 1.84 kWh/year		
The results of energy saving	19.89 – 1.84 = 18.05 kWh/year 1.84/19.89 = 0.09			

Energy consumption using the proposed variant of freecooling is about 9% of current energy consumption by normative parameters.

2.2. Calculation of energy consumption of ventilation air treatment processes – fresh heating process

Calculations were made for normative parameters of the air:

- $T_{\text{internal}} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{external}} = 20^{\circ}\text{C}$ constans (normative),
- n_2 – number of hours in the year in which the $T_{\text{external}} < T_{\text{internal}}$ of the air [1],
- $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$, $\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$.

Table 4. Energy consumption of the heating process – the normative parameters

m	T_{external}	n_2	T_{internal}	DT	Q_{energy} for heating 1 [m ³ /h] of air	$Q_{\text{annual energy}}$ for heating air/year
m ³ /h	°C	h/year	°C	K	kW	kWh/year
1	-20	7992	20	40	0.014	108.88

Calculations were made for real parameters of the external air:

- $T_{\text{internal}} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{external}} = \text{variable}$,
- n_1 – number of hours per year for a given temperature,
- $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$, $\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$.

Energy consumption for heating 1 unit of ventilation air in real terms is 31.08 kWh/year which is about 1/3 of the theoretical/normative design of the energy demand

3. Analysis of the energy savings treatment process opportunities

Polish guidelines for the design of mechanical ventilation systems determine the amount of ventilation air flow depending on the destination of ventilated rooms, or depending on the number of people living there. Regulations developed due to one of the basic functions of ventilation, which is the need for indoor air purification by diluting concentrated pollutants in the human inexpensive concentrations. Dilution of pollutants is achieved by supplying a "fresh" air. It is drawn directly from the external air. However, the level of air pollution increases, resulting

Table 5. Energy consumption of the heating process- currently parameters

Amount of air	T_{external}	n_1	Q_{energy} for heating 1 [m ³ /h] of air	$Q_{\text{annual energy}}$ for heating air/year	T_{external}	n_1	Q_{energy} for heating 1 [m ³ /h] of air	$Q_{\text{annual energy}}$ for heating air/year
m ³ /h	°C	h/year	kW	kWh/year	°C	h/year	kW	kWh/year
1	20	157	0	0.00	0	275	0.006812	1.87
	19	205	0.000341	0.07	-1	193	0.007152	1.38
	18	255	0.000681	0.17	-2	192	0.007493	1.44
	17	254	0.001022	0.26	-3	172	0.007833	1.35
	16	283	0.001362	0.39	-4	141	0.008174	1.15
	15	283	0.001703	0.48	-5	110	0.008515	0.94
	14	260	0.002044	0.53	-6	51	0.008855	0.45
	13	244	0.002384	0.58	-7	34	0.009196	0.31
	12	264	0.002725	0.72	-8	39	0.009536	0.37
	11	311	0.003065	0.95	-9	14	0.009877	0.14
	10	322	0.003406	1.10	-10	6	0.010218	0.06
	9	295	0.003746	1.11	-11	9	0.010558	0.10
	8	257	0.004087	1.05	-12	2	0.010899	0.02
	7	280	0.004428	1.24	-13	0	0.011239	0.00
	6	287	0.004768	1.37	-14	0	0.01158	0.00
	5	288	0.005109	1.47	-15	0	0.01192	0.00
	4	386	0.005449	2,10	-16	0	0.012261	0.00
	3	420	0.00579	2.43	-17	0	0.012602	0.00
	2	461	0.006131	2.83	-18	0	0.012942	0.00
1	410	0.006471	2.65	-19	0	0.013283	0.00	
				-20	0	0.013623	0.00	
Total								31.08 kWh/year

in the need for a systematic increase of the minimum flow of external/fresh air to maintain the required quality of indoor air. Determined by law a minimum ventilation fresh air stream constant increases [4].

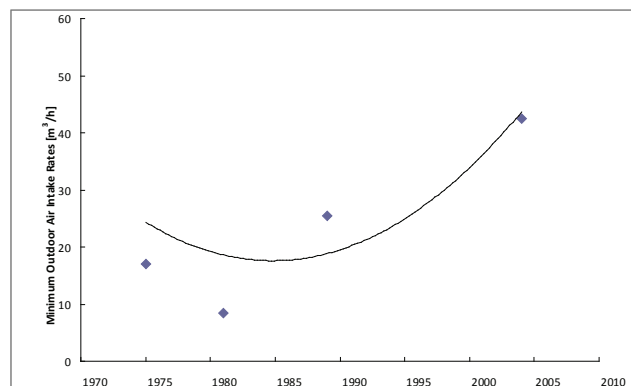


Fig. 2. Changing of the minimum quantity of supply fresh air in ventilation stream over the years

4. The impact of use air purification technology on the energy demand of air treatment processes

The use of modern technology like an air circulation purifier allows to reduce outside air flow ventilation. This reduces the energy demand associated with the HVAC air conditioning processes. However, these air purification devices require additional auxiliary power. But the energy needed for the treatment of external ventilation air stream is usually much larger than the energy used by the active treatment systems.

In addition, the energy saving opportunities associated with the operation of the ventilation system depends on whether the building uses energy-efficient systems such as free cooling and heat-energy recovery, and a variable amount of ventilation air.

Properly selected active air purification system may allow for the reduction of the ventilation fresh air flow about 40–75%, while maintaining an acceptable level of air quality [2].

5. Modern ventilation air purification technologies

The most commonly used methods of cleaning the ventilation air in the Polish buildings are passive technologies, consisting of air filtration. Much less common are active technologies based on physico-chemical treatment processes such as electrostatic dust removal, ultraviolet radiation, photocatalytic oxidation, ozonation, gas sorption and bipolar ionization.

While some indoor air purification technologies capture particulates only (e.g. media filtration, electrostatic precipitation), other technologies focus primarily on gases (e.g. gas sorption, bipolar ionization). Furthermore, some indoor air purification technologies

are capable of destroying microorganisms and reducing Volatile Organic Compounds (VOC) levels in the indoor air (e.g. UV/ozone catalytic oxidation, photocatalytic oxidation) but cannot remove larger particulates and are usually ineffective in controlling other gases. As a result, it is often necessary to use a combination of indoor air purification technologies – or hybrid systems – to ensure that both particulates and gases are removed from the indoor air.

One of the innovative, active technologies that meets the above conditions is the radiant catalytic ionization (RCI) technology. This system is based on the use of ionization processes, ozone and radiation. This is a highly efficient system, decreasing the amount of airborne pollutants odors, especially bacteria.

6. Conclusions

The external ventilation air treatment process consumes a lot of energy. The analysis shows that it is possible to significantly reduce energy consumption of ventilation air treatment processes through energy-efficient solutions and new technologies in HVAC systems. The use of innovative technology for cleaning ventilation air may be an alternative to the need to further increase the volume of fresh air. In some cases, this gives the possibility to reduce the size of the current regulatory arrangements. There are no current regulations and design guidelines lead to oversize heating and cooling ventilation systems. This causes excessive use of the energy for treatment of ventilation air.

Today's ventilation systems are based on the guidelines, which are not adapted to the function of a building. This has a direct impact on determining the size of the stream of fresh ventilation air, which is not adapted to environmental changes and changes in the function of utility buildings. In addition, a comparison of energy consumption of ventilation air treatment processes showed that today's design guidelines are out of date compared to the commonly used design practices. Taking into account only the normative guidelines for the design of ventilation systems and the selection of heating and cooling equipment capacity, it may be concluded that the energy consumption of the air conditioning process is not economically viable and is not adequately large for your needs. Consequently, this leads to an excessive oversizing of ventilation systems [3].

References

- [1] *Statystyczne dane klimatyczne dla Warszawy*. <http://www.mi.gov.pl>
- [2] Arzbaecher C., Hurtado P., *Indoor Air Purification Technologies that Allow Reduced Outdoor Air Intake*

Rates While Maintaining Acceptable Level of Indoor Air Quality.

- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc 2007. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007 Ventilation Standard for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, Ga.: ASHRAE.
- [4] History of American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Standards 62 1973-2004.

The research is co-financed by the European Union from European Social Fund (ESF), Project „INVENTION – potential young scientists and knowledge transfer and innovation support to important areas of the economy Świętokrzyskie”, identification number: WND-POKL.08.02.01-26-020/11.

Tomasz Goreczny

Projektowanie systemów wentylacji mechanicznej – efektywne wykorzystanie energii

1. Wstęp

Instalacje grzewczo-wentylacyjno-klimatyzacyjne (HVAC) są zintegrowanymi systemami mającymi za zadanie uzdatniać powietrze wentylacyjne w celu zapewnienia komfortu termicznego wśród osób przebywających w pomieszczeniach o regulowanej temperaturze. W budynkach użyteczności publicznej, zużycie energii na potrzeby uzdatniania powietrza wentylacyjnego stanowi ok. 30% całkowitego bilansu energetycznego budynku.

Efektywne wykorzystanie energii zużywanej przez instalacje HVAC musi być zaplanowane już na etapie projektowania instalacji. Aktualne polskie wytyczne do projektowania systemów wentylacji mechanicznej wynikające z zapisów ustawy Prawo budowlane określają jedynie, że zużycie energii przez systemy wentylacji mechanicznej ma być na racjonalnie niskim poziomie. Brak jest krajowych opracowań wskazujących projektantom, w jaki sposób projektować systemy wentylacji mechanicznej, aby spełniony został powyższy warunek.

Poprawa efektywności energetycznej systemów HVAC powinna być częścią programu promowania odnawialnych źródeł energii i efektywności energetycznej w ramach implementacji dyrektyw unijnych 28 i 31. Obecnie zalecenia unijne uwzględniane są jedynie w projektach urządzeń wentylacyjnych o wysokiej sprawności wytwarzania, przesyłu, regulacji itp. Należy jednak pamiętać, że końcowe zużycie energii zależy też od wielkości strumienia powietrza, czyli od ilości powietrza, które musi zostać uzdatnione. Parametry te determinowane są

przez założenia uwzględnione na etapie projektowania. Ponadto, istnieje możliwość zastosowania energooszczędnych rozwiązań technologicznych oraz elementów automatyki sterowniczej, umożliwiając uzyskanie zużycia energii na racjonalnie niskim poziomie. Rozwiązania te są powszechnie stosowane m.in. w USA oraz Niemczech ze względu na fakt, iż w krajach tych dostępne są liczne instrukcje, wytyczne do projektowania energooszczędnych instalacji. W polskich regulacjach prawnych nie ma żadnych obowiązujących przepisów nakazujących stosowania tego typu rozwiązań. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania energooszczędnych rozwiązań technologicznych ”free cooling” oraz pracę systemu wentylacji mechanicznej ze zmiennym strumieniem świeżego powietrza, spełniające wymogi efektywnego wykorzystania energii.

2. Metodologia badań

Wyznaczono wielkość energii potrzebnej do ogrzania oraz schłodzenia modelowej jednostki strumienia powietrza wentylacyjnego przy uwzględnieniu aktualnych standardów projektowych oraz proponowanych energooszczędnych rozwiązań technologicznych. Obliczenia przeprowadzono osobno dla procesu ogrzewania i chłodzenia.

Do wyznaczenia projektowego zużycia energii procesów ogrzewania i chłodzenia uwzględniono normatywne parametry powietrza zewnętrznego determinującego stałą wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego. Nie uwzględniono możliwości zastosowania automatyki sterowniczej i systemów mających na celu ograniczenie zużycia energii, ze względu na

fakt, iż w aktualnych przepisach prawnych nie ma konieczności stosowania powyższych aspektów.

W celu wyznaczenia rzeczywistego zapotrzebowania energetycznego procesów ogrzewania i chłodzenia jednostki powietrza dokonano analizy rozkładu godzinowego temperatur powietrza zewnętrznego, dla reprezentatywnej miejscowości w II strefie klimatycznej. Następnie obliczono zapotrzebowanie energetyczne na podgrzanie 1 m³/h świeżego powietrza z uwzględnieniem zmiennych wartości temperatury powietrza zewnętrznego, co jest proporcjonalnie odpowiada zmianom wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego. W symulacji obliczeń energochłonności procesu chłodzenia powietrza uwzględniono rzadko stosowany system free-cooling niewymagany w żadnych regulacjach prawnych. Wyniki porównano z zapotrzebowaniem normatywnym.

3. Podsumowanie i wnioski

Kompleksowy proces uzdatniania powietrza wentylacyjnego jest bardzo energochłonny. Możliwości oszczędności energii w tym zakresie, są bardzo zróżnicowane w zależności od rodzaju systemu HVAC oraz od zastosowania energooszczędnych rozwiązań.

Obliczenia nowo projektowanych systemów wentylacji mechanicznej bazują na założeniach obciążeń cieplnych w warunkach statycznych lub quasi-statycznych, które nie są dostosowane do aktualnych potrzeb. Ma to bezpośrednie przełożenie na określanie wielkości strumienia świeżego powietrza wentylacyjnego, która nie jest odpowiednio dostosowana do zmian środowiskowych i zmian zachodzących w funkcji użytkowej budynków.

Ponadto, porównanie zużycia energii wykorzystywanej do uzdatniania powietrza dla aktualnych standardów projektowych oraz dla proponowanych energooszczędnych rozwiązań wykazało, iż możliwe jest uzyskanie bardzo dużych oszczędności zużycia energii w tym aspekcie. Projektanci instalacji wentylacji mechanicznej którzy określają wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego oraz moce urządzeń HVAC dla aktualnych standardów projektowych bardzo często niepotrzebnie zawyżają parametry instalacji [3]. W takim przypadku energochłonność procesów uzdatniania powietrza jest ekonomicznie nieuzasadniona i zbyt duża do potrzeb. Dokonując powyższej analizy stwierdzono, iż wykorzystanie energooszczędnych rozwiązań tj zmienny strumień powietrza wentylacyjnego w zależności od wartości temperatury zewnętrznej pozwala uzyskać ograniczenie zużycie energii ogrzewania jednostki

powietrza wentylacyjnego o ok. 72% w stosunku do zużycia energii jakie wynikałoby z funkcjonowania systemu zaprojektowanego w tradycyjny sposób. Zastosowanie opcji "free cooling" w procesie schładzania powietrza wentylacyjnego pozwala uzyskać ok. 87% oszczędności energii w stosunku do tradycyjnego rozwiązania.

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA - Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL.08.02.01-26-020/1.