

POPRAWA SPRAWNOŚCI SYSTEMU GRZEWczego HALI PRZEMYSŁOWEJ POPRZEZ ZASTOSOWANIE SYSTEMU REKUPERACJI

Kamil Koziel

II stopień, 1 semestr, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
e-mail: kl.koziel@gmail.com

Promotor: *dr inż.* Leszek Pająk

1 WSTĘP

Według definicji w słownikach języka polskiego, rekuperacja jest to „wykorzystywanie ciepła gazów odlotowych w przemyśle do celów grzewczych” lub „wykorzystywanie energii termicznej gazów wylotowych i spalin w celu dalszego jej wykorzystania”. W artykule wykorzystywana będzie druga definicja, z tym że gazy wylotowe i spaliny zastąpione zostały zużytym w budynku powietrzem, które już raz ogrzaliśmy. Taki system pozwala w znaczący sposób obniżyć koszty ogrzewania, zapotrzebowanie na energię do oraz wpływ na środowisko.

2 OBLICZENIA

Obliczenia zapotrzebowania na energię i moc maksymalną zostały wykonane na podstawie metody przedstawionej w normie PN-EN ISO 12831 [3]. Przyjęto warunki spełniające wymagania komfortu cieplnego (wg Leusdena i Freymarka oraz Roedlera [1]), jak przedstawiono w Tabelicy 1.

Tablica 1: Zakładane warunki wewnętrzne

Parametr	Wartość
Temperatura wewnętrzna [°C]	20
Wilgotność względna powietrza [%]	50
Prędkość ruchu powietrza [m/s]	0,1

W pierwszym kroku obliczeniowym określono opór przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej ścian [6], co jest konieczne do późniejszego ustalenia strat mocy cieplnej przez ściany. Hipotetyczny budynek o wymiarach 120x50x16 metrów jest zlokalizowany w Krakowie, co sprawia że znajduje się w III strefie klimatycznej. Na podstawie normy PN-EN ISO 12831 i Typowych Danych Meteorologicznych Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju [7] określono dla niego projektowe warunki zewnętrzne, których wartości przedstawiono w Tabelicy 2.

Tablica 2: Parametry powietrza zewnętrznego

Parametr	Wartość
Temperatura zewnętrzna [°C]	-20
Wilgotność względna powietrza [%]	85
Prędkość ruchu powietrza [m/s]	0,0

W celu obliczenia mocy traconej przez ściany w większości przypadków posłużono się ogólnym wzorem przedstawionym poniżej:

$$P = k * \Delta t * F [W]$$

gdzie P – moc cieplna [W]; k – współczynnik przenikania ciepła dla przegrody [W/m²K]; Δt – różnica temperatur wewnętrznej i zewnętrznej [K]; F – powierzchnia przegrody [m²].

Do obliczenia współczynnika k dla ścian i dachu przyjęliśmy jednakową konstrukcję przegrody, której parametry określono w Tablicy 3:

Tabela 3: Konstrukcja ściany i dachu

Parametr	Blacha stalowa	Styropian	Blacha stalowa	Suma współczynników przenikania ciepła [m ² K/W]
Grubość [m]	0,0003	0,15	0,0003	
λ [W/mK]	50	0,043	50	3,49
Wsp. przenikania ciepła U [m ² K/W]	0,00001	3,49	0,00001	

Dane materiałowe zostały zaczerpnięte z katalogów producentów danych materiałów lub w razie niemożliwości określenia takowych – z normy PN-EN ISO 12524 [2]. W przypadku obliczenia strat mocy cieplnej przez stolarkę posłużono się danymi dla okien warsztatowych, znajdującymi się w normie PN-EN ISO 12831.

Bardziej złożoną metodologię zastosowano natomiast przy obliczaniu strat/zysków od gruntu. Ona także pochodzi z wyżej wspomnianej normy, jednak poza temperaturą zewnętrzną i wewnętrzną uwzględnia ona także głębokość zalegania wód gruntowych pod budynkiem, średnią roczną temperaturę i współczynnik poprawkowy. Po obliczeniu całkowitego współczynnika przenikania ciepła wymagane jest określenie zastępczego współczynnika przenikania ze stosownych tabel znajdujących się w normie PN-EN ISO 12831. Obliczenia zostały wykonane dla podpiwniczenia budynku w 25% i dla konstrukcji powierzchni stykających się z gruntem scharakteryzowanych w Tablicy 4:

Tablica 4: Konstrukcja ścian podpiwniczenia i podłóg

Parametr	Żwir	Papa	Beton	Styropian ekstrudowany	Beton o niskiej gęstości	Suma współczynników przenikania ciepła [m ² K/W]
Grubość [m]	0,25	0,002	0,15	0,06	0,03	
λ [W/mK]	0,7	0,23	1,75	0,037	1,75	
Wsp. przenikania ciepła U [m ² K/W]	0,36	0,01	0,09	1,62	0,02	2,10

Straty ciepła przez wentylację obliczono na podstawie wzoru:

$$P_w = V * \rho_s * \Delta i [W]$$

Gdzie P_w – moc strat ciepłych przez wentylację [W]; V – strumień powietrza [m^3/s]; ρ_s – gęstość powietrza [kg/m^3]; Δi – różnica entalpii powietrza wewnętrznego i zewnętrznego [kJ/kg].

W przypadku warsztatów mechanicznych minimalna krotność wymiany powietrza ze względów higienicznych η_{min} to 0,5 kubatury budynku na godzinę (na podstawie normy PN-EN ISO 12831).

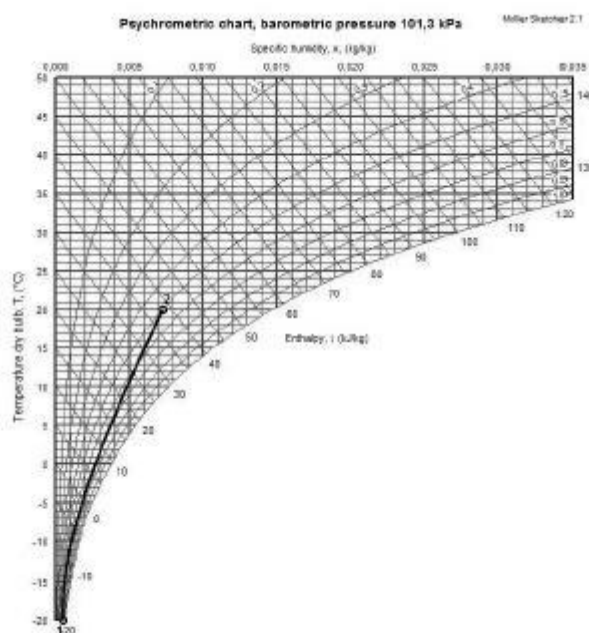
Krotność wymiany powietrza dotyczącą całego budynku n_{50} przyjęto na podstawie normy PN-EN ISO 12831 dla budynków o średniej szczelności obudowy równej 3, co jest zbliżone z wartością n_{50} podaną w książce „Wentylacja i klimatyzacja” A. Pełecha [4] podaną dla warsztatów mechanicznych.

Współczynnik osłonięcia e przyjęto wg normy PN-EN ISO 12831 dla budynków o średnim osłonięciu i o przestrzeni ogrzewanej z jednym osłoniętym otworem, czyli 0,02.

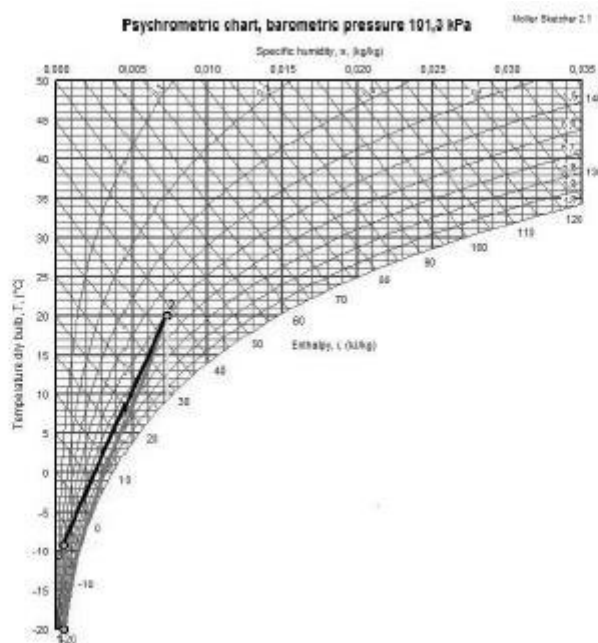
Współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość przyjęto na podstawie normy PN-EN ISO 12831 dla budynków o wysokości z przedziału 10-30 metrów, czyli $\epsilon = 1,2$.

Obliczony strumień powietrza infiltrującego do budynku przez nieszczelności okazał się być zbyt małym, względem wymagań higienicznych, wobec czego konieczne było obliczenie ilości powietrza, która będzie musiała zostać dostarczona systemem wentylacji mechanicznej.

Przebieg procesu ogrzewania powietrza bez rekuperatora przedstawia Rys. 1, natomiast przebieg procesu ogrzewania z zastosowaniem rekuperatora jest przedstawiony na Rys. 2.



Rysunek 1: Przebieg procesu ogrzewania przy braku rekuperacji



Rysunek 2: Przebieg procesu ogrzewania z rekuperacją

Ostatnim etapem obliczeń było określenie zysków ciepła od technologii i ludzi pracujących w budynku. Ponieważ analizowany był okres grzewczy, pominięto zyski ciepła od słońca, gdyż przez większość czasu albo nie występują albo są znikome. Zyski od technologii zostały przyjęte jako 50 W od każdego metra kwadratowego powierzchni, natomiast zyski od ludzi pracujących w zakładzie przyjęto jako 130 W na osobę (praca średniociężka w temp. 20°C [2]).

Wyniki obliczeń przedstawiono w Tablicy 5:

Tablica 5: Zyski i straty mocy cieplnej w budynku

Zródło strat/zysków	Bez rekuperacji [kW]	Z rekuperacją [kW]
Ściany	42,94	42,94
Stolarka	114,24	114,24
Dach	65,67	65,67
Grunty	14,00	14,00
Wentylacja	916,80	768,96
Technologia	-300,00	-300,00
Ludzie	-11,7	-11,7
SUMA	841,95	735,51

Jak widać, zastosowanie rekuperacji w budynku o tych rozmiarach pozwala na ograniczenie mocy maksymalnej urządzeń potrzebnych do ogrzewania budynku o ponad 100 kW (dokładnie 12,6% mniej).

Roczne zapotrzebowanie na energię i nośniki energii obliczono przez obliczenie średniej temperatury zewnętrznej w sezonie grzewczym. Następnie na podstawie Typowych Lat Meteorologicznych Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju dobrano pozostałe parametry zewnętrzne – wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Określone w ten sposób chwilowe straty ciepła pomnożono przez czas trwania sezonu grzewczego aby otrzymać interesującą nas wartość ilości energii cieplnej. Założono, że sezon grzewczy trwa od 25 września do 5 maja, tj. 5352 godziny.

Przy założeniu, że kocioł węglowy stosowany do ogrzewania budynku będzie miał sprawność nieco ponad 90% i stosowany będzie węgiel o wartości opałowej równej 29 MJ/kg obliczono, że na potrzeby sezonu grzewczego będzie konieczne spalanie 147,25 ton tego surowca. Natomiast zastosowanie systemu rekuperacji pozwoli na ograniczenie ilości spalanego rocznie węgla do 69,96 tony. Jest to 47,5% wartości pierwotnej, co pozwala na poczynienie znacznych oszczędności związanych z ogrzewaniem budynku a także skutecznie ograniczyć ilość emitowanych CO₂, SO₂ i pyłów do środowiska.

LITERATURA

- [1] Lampe, Projekt klimatyzacji a projekt budynku, Arkady, Warszawa, 1981.
- [2] Norma PN-EN ISO 12524:2003.
- [3] Norma PN-EN ISO 12831:2006.
- [4] Pełech, Wentylacja i klimatyzacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2008.
- [5] Pełech, Wentylacja i klimatyzacja – ćwiczenia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2008.
- [6] Recknagel, Sprenger, Schramek, Kompendium wiedzy: ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo, OMNISCALA, Wrocław, 2008.
- [7] Typowe lata meteorologiczne Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju, Warszawa, 2000.