

Energetyczne aspekty kształtowania ruchu powietrza w wentylowanych pomieszczeniach

Zużycie energii w procesach wentylacji i klimatyzacji jest w skali krajowej znaczne. Można je szacować na około 10% krajowego zużycia paliw. Zużycie to zależy przede wszystkim od ilości wentylowanego powietrza (grzanie, chłodzenie, napęd wentylatorów).

Właściwą drogą do zmniejszenia wymiany tego powietrza przy zapewnieniu pożądanych efektów wentylacji jest usprawnienie rozdziału powietrza w obrębie obiektu wentylacyjnego.

Charakterystycznym utrudnieniem rozwiązań wentylacji jest duża różnorodność warunków geometrycznych oraz czynników aerodynamicznych i cieplnych w różnych obiektach. Dodatkowe kryteria w tym celu, a także dla oceny rozwiązań architektonicznych i budowlanych można sformułować przez rozpoznanie aerodynamicznych zjawisk warunkujących przepływ i charakter ruchu powietrza oraz powiązanie przebiegu tych zjawisk z kształtem obiektu. Różne warianty rozwiązań warto analizować w fazie projektowania dużych obiektów, gdy z wentylacją wiąże się znaczne moce energetyczne.

1. Czynniki warunkujące przepływ powietrza w wentylowanych pomieszczeniach

Proces wentylacji polega głównie na zorganizowaniu wymiany i ruchu powietrza w pomieszczeniu, na stworzeniu tam pożądanego rozkładu jego temperatury i prędkości. Kształtowanie pól tych parametrów wiąże się ze zjawiskami cieplnymi i przepływowymi, jakie lokalnie występują w poszczególnych obiektach.

W związku z tym można wyodrębnić następujące czynniki warunkujące przebieg wentylacji:

- czynniki wywołujące wymianę powietrza pomiędzy pomieszczeniem i jego otoczeniem, takie jak wypór hydrostatyczny, oddziaływanie wiatru na budynek, mechaniczne wtłaczanie i odciąganie powietrza wentylacyjnego,
- czynniki wpływające na rozkład temperatury i prędkości powietrza w obrębie wentylowanego pomieszczenia, jak strumienie nawiewane i przepływy konwekcyjne,
- warunki geometryczne, na które składają się kształt i wielkość pomieszczenia, rozmieszczenie otworów nawiewnych i wylotowych oraz rozmieszczenie źródeł zakłóceń,

W konkretnym wentylowanym pomieszczeniu pola prędkości i temperatury powietrza są rezultatem wymiennych poprzednio aerodynamicznych oddziaływań. Niektóre z nich zilustrowano na rys. 1. W bilansie tych oddziaływań można wyodrębnić siły, które pola parametrów mają kształtować w określony sposób oraz siły, które proces ten zakłócają. Istotny jest stosunek energii oddziaływań kształtujących i zakłócających, przy którym osiąga się w danym pomieszczeniu wymaganą skuteczność wentylacji.

Siły kształtujące przepływ i pola parametrów powietrza związane są w przypadku wentylacji mechanicznej przede wszystkim z rozmieszczeniem i energią strumieni nawiewanych, a przy wentylacji naturalnej — energią strumieni konwekcyjnych i naporem wiatru.

Strumienie konwekcyjne i wiatr, nie wykorzystane użytecznie, stają się zwykle głównymi źródłami zakłóceń procesu wentylacji.

Poziom energii kinetycznej strumieni nawiewanych, potrzebny do uzyskania pożądanego rozkładu parametrów powietrza w danym pomieszczeniu zależy od warunków geometrycznych i struktury przepływu tych strumieni.

2. Kształtowanie przepływu i pól parametrów powietrza w procesach wentylacji

Poniżej analizuje się niektóre aerodynamiczne zjawiska procesów wentylacji oraz związane z nimi możliwości kształtowania pól prędkości i temperatury powietrza w pożądanym sposób. Na rysunku 2 przedstawiono poglądowe schematy takich zjawisk, jak:

- aerodynamiczne mieszanie i generowanie przepływów wtórnych,
- organizowanie ruchu powietrza w pomieszczeniu za pomocą strumieni quasi-izotermicznych w obecności stałych źródeł konwekcji cieplnej,
- przemijanie strefowe za pomocą przepływów słabo-burzliwych,
- oddziaływanie słabych zakłóceń aerodynamicznych na ruch powietrza,
- oddziaływanie silnych źródeł konwekcji cieplnej na ruch i rozkład temperatury powietrza,
- przepływy w obecności przeszkód mechanicznych.

Zamieszczone na rys. 2 i w dalszych rozdziałach dane liczbowe dotyczące

jednostkowej (odniesionej do objętości pomieszczenia) energii kinetycznej strumieni nawiewanych $\dot{E}_N$, konwekcyjnych $\dot{E}_K$ i infiltrujących $\dot{E}_I$, uzyskano z badań, jakie prowadzono w Instytucie Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Powietrza w ramach PW 10.1 i PR-5 na przykładzie kilku typów obiektów, jak: przemysłowe hale ogrzewane ciepłym powietrzem [3] i hale ze znacznymi zyskami wilgoci, pawilony szklarniowe [6], sale amfiteatralne [6], domy towarowe oraz tzw. pomieszczenia czyste [12]. W zakresie naturalnej wentylacji dużych kompleksów „gorących” hal walcowni stali oraz kotłowni i turbinowni elektrowni cieplnych badano energetyczne oddziaływanie strumieni konwekcyjnych i naporu wiatru na cyrkulację i wymianę powietrza [14, 15]. Wspólnie z Politechniką w Sztokholmie badano strumienie konwekcyjne nad rozległymi źródłami ciepła w pomieszczeniach wentylowanych [9, 10].

3. Aerodynamiczne mieszanie i przepływy wtórne

Zjawiska mieszania powietrza i generowania przepływów wtórnych wiąże się ze specyfiką transportu i przemiany energii kinetycznej swobodnych burzliwych strumieni nawiewanych, rys. 2a. Podtrzymywanie w określonej przestrzeni przepływów wtórnych o stosunkowo wyrównanym polu niewielkich prędkości z kolei warunkuje wyrównanie rozkładu temperatury powietrza.

Rola strumieni nawiewanych, które są jednocześnie nośnikami ciepła i czynnikami kształtującymi pole temperatury oraz znaczenie geometrycz-

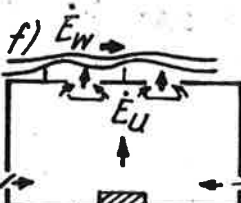
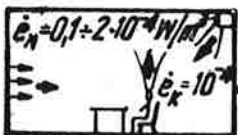


Rys. 1. Przeglądowy schemat oddziaływania energii kinetycznej wiatru E_w , strumieni nawiewanych E_N i strumieni konwekcyjnych E_K na ruch i wymianę powietrza w pomieszczeniu

a) $\dot{e}_N = 0,1 \div 0,5 \text{ W/m}^3$ b) $\dot{e}_N = 0,1 \div 0,15 \text{ W/m}^3$ c) $Re = 8000 \div 25000$



d) $\dot{e}_N = 1 \div 2 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^3$ e)



Rys. 2. Poglądowe schematy aerodynamicznych zjawisk procesów wentylacji: a) procesy mieszania i generowanie przepływów wtórnych za pomocą strumieni nieizotermicznych, b) rozdział powietrza za pomocą strumieni quasi-izotermicznych, c) przemywanie za pomocą przepływów słabo-burzliwych, d) ruch powietrza i dyfuzja zanieczyszczeń w obecności słabych zakłóceń, e) naturalny ruch i rozkład temperatury powietrza w obecności silnych źródeł konwekcji, f) efektywność działania wywiewników dachowych

nych warunków, w jakich ten proces się odbywa, uwidacznia się wyraźnie w przypadku ogrzewania powietrznego dużych pomieszczeń, jak hale przemysłowe i pawilony szklarniowe. Dąży się wtedy do równomiernego rozprzestrzenienia ciepła w obrębie strefy przebywania ludzi i do ograniczenia ilości ciepła przechodzącego do przestrzeni ponad tą strefą. W związku z tym trzeba pokonać wypór cieplny oraz przeciwdziałać odchyłaniu się strumieni ciepłych ku górze i spływaniu chłodnych konwekcyjnych ku dołowi przy ścianach zewnętrznych.

W tym celu poszukuje się rozwiązań w postaci układów strumieni nawiewanych ponad strefą pracy z energią kinetyczną dostatecznie dużą dla generowania w tej strefie powolnych przepływów wtórnych. W określonych warunkach geometrycznych występuje wyraźna zależność rozkładu temperatury powietrza w strefie pracy od ilości tej energii. Trudne jest zapobieganie spływowi chłodnego powietrza po zewnętrznych ścianach i oknach oraz dalszemu jego pełzaniu po podłodze. Korzystniejszy jest tu nawiew ciepłego powietrza od osi hali ku ścianie zewnętrznej niż rozwiązanie odwrotne. Jednakże w przypadku źle izolowanych ścian i nieuszczelnionych okien wyrównanie temperatury w tych rejonach hali jest szczególnie trudne nawet przy dużym wydatku i prędkości nawiewanych strumieni ciepłego powietrza. Trzeba wtedy instalować tam dodatkowo grzejniki rurowe.

Wyniki praktycznie przydatne do wykorzystania przy projektowaniu uzyskano drogą modelowania fizycznego dla przebadanych systemów ogrzewania powietrznego hal przemysłowych [3] i pawilonów szklarniowych [6].

Zapotrzebowanie na energię kinetyczną strumieni nawiewanych wynosi 0,1 do 0,4 W/m³ przy nawiewach bocznych i 0,3—0,6 W/m³ przy nawiewach od stropu. Nadwyżka temperatury powietrza nawiewanego powinna być ograniczona do około 20 K.

W pawilonach szklarniowych zadowalające wyrównanie temperatury powietrza osiąga się przy energii kine-

tycznej nawiewanych strumieni w granicach 0,1 do 0,15 W/m³. Nadwyżka temperatury powietrza nawiewanego powinna być tam także utrzymana w granicach około 20 K.

4. Organizowanie ruchu powietrza za pomocą strumieni quasi-izotermicznych

W przypadkach wentylacji sal zebranych, kinowych, teatralnych itp., gdzie dąży się do usuwania nadmiaru ciepła i zanieczyszczeń powietrza, strumienie nawiewane są wykorzystywane do organizowania w strefie przebywania ludzi powolnych, ale ukierunkowanych przepływów burzliwych. Korzystne jest stosowanie strumieni płaskich, dzięki którym rozdział powietrza sprowadza się do układu 2-wymiarowego. Dzięki temu można zorganizować przepływy w całym pomieszczeniu w postaci pętli cyrkulacji o oznaczającej się osi. Ilustruje to rys. 2b.

Zorganizowanie przepływu powietrza w obrębie strefy przebywania ludzi z pożądaną niską prędkością w granicach 0,1—0,3 m/s i niewielkim przyrostem temperatury również i w takich przypadkach uwarunkowane jest poziomem energii kinetycznej strumieni nawiewanych. Według przeprowadzonych badań [5], jej zapotrzebowanie w układzie jak na rys. 2b wynosi około 0,08 do 0,1 W/m³, a przy nawiewaniu w kierunku amfiteatru wzrasta do około 0,15—0,2 W/m³.

5. Przepływy słabo-burzliwe

Słabo-burzliwe przepływy mogą służyć do przemywania pewnej wentylowanej przestrzeni czystym, np. sterylizowanym powietrzem rys. 2c.

Prawie laminarny ruch powietrza nie sprzyja mieszanii i wnikanu zanieczyszczeń, jak to ma miejsce w przypadku swobodnych turbulentnych strumieni.

Słabo-burzliwe przepływy można generować przez uzbrojenie otworów nawiewnych porożatą przesłoną. W strumieniach tak generowanych uzyskuje się quasi-bezfluktuacyjny przepływ utrzymujący się nawet przy zmianach kierunku przepływu. Jednakże stan taki łatwo zaburzyć przez ustawienie przeszkody.

Badania te przeprowadzono w granicach $Re = 5000$ do 25000 , przy energii kinetycznej strumieni 1,5 do 200 mW. Dane i ilustracje zawarte w pracach [11, 7, 8] wskazują jak można organizować strefy sterylizowanego powietrza w przemyśle farmaceutycznym w różnych tzw. czystych pomieszczeniach.

6. Słabe aerodynamiczne zakłócenie

Słabe aerodynamiczne oddziaływania, jak np.: konwekcja wokół ciała człowieka i wokół grzejników oraz przepływy związane z infiltracją powietrza wnoszą do powietrza w pomieszczeniach pewien wkład energii kinetycznej, która w swoisty sposób wywołuje jego ruch, mieszanie i turbulizowanie (rys. 1d).

Na wysokości około 75 cm ponad głową siedzącego spokojnie człowieka energia kinetyczna wznoszącego się strumienia powietrza wynosi 0,3 do 0,4 mW [9]. Mimo stosunkowo słabo rozwiniętej burzliwości przepływy takie wspomagają cyrkulację powietrza i stratyfikację jego parametrów oraz sprzyjają migracji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w pomieszczeniu.

Energia kinetyczna konwekcyjnych strumieni nad grzejnikami oraz przepływów związanych z infiltracją powietrza w pomieszczeniach jest zbliżona do mocy przepływów konwekcyjnych nad ludźmi. Szczególnie uciążliwa może być infiltracja powietrza w halach przemysłowych z uwagi na znaczne nieszczelności przegród. Związane z nią poziome przepływy powietrza wywołują dodatkowe straty ciepła oraz znaczne zakłócenia ogrzewania powietrznego i wentylacji, których przezwyciężenie wymaga wyraźnego zwiększenia energii kinetycznej strumieni nawiewanych, a nawet stosowania dodatkowych źródeł konwekcji w postaci grzejników.

Poniżej podaje się niektóre dane uzyskane eksperymentalnie w przeciętnych warunkach budownictwa wg 8, 9 i 13:

Przeciętnie występująca kinetyczna moc jednostkowa zakłóceń:

- konwekcja nad osobami w salach zebranych 0,1 mW/m³
- konwekcja nad osobami w biurach 0,2 mW/m³
- infiltracja w budynkach wysokich w odległości 1 m od okna 0,02—0,2 mW/m³

Potrzebny poziom energii kinetycznej strumieni nawiewanych:

- w pomieszczeniach biurowych 2—6 mW/m³
- w salach amfiteatralnych 80—150 mW/m³
- w domach towarowych (sale sprzedaży) 30—100 mW/m³

7. Naturalny ruch powietrza i silne źródła konwekcji

Pola prędkości i temperatury powietrza w pomieszczeniu ze źródłami ciepła o mocy od 20 do 2000 W/m², jak kotłownie, walcownie, odlewnie itp. związane są ze sposobem oddziaływania sił wyporu cieplnego. Siły te tworzą przepływy konwekcyjne w obrębie pomieszczenia oraz naturalną wymianę powietrza poprzez otwory wentylacyjne. Występują przy tym także obiegi cyrkulacyjne i burzliwe mieszanie powietrza, zależne m.in. od warunków geometrycznych budynku, źródeł ciepła i rozmieszczenia okien. W rezultacie powstaje pewien pionowy rozkład temperatury powietrza, który dla celów wentylacji określony jest za pomocą simpleksu temperaturowego.

$$m = \frac{t_r - t_z}{t_u - t_z}$$

gdzie przez t_r , t_u , t_z — oznaczono odpowiednio średnie temperatury powietrza: w strefie pracy, usuwanego i nawiewanego. Ilustruje to rys. 1e. Wprowadzenie tego pojęcia znacznie upraszcza rozważania w zakresie pól temperatury. Simpleks m może być bowiem traktowany jako wskaźnik skuteczności wymiany powietrza wentylacyjnego. Niższa wartość m odpowiada lepszej skuteczności wymiany.

Przeprowadzone badania [13] ujawniły m.in. niektóre istotne powiązania kształtu hali z procesem naturalnej wentylacji jak np. korzystny stosunek powierzchni otwieralnych okien i otworów w wywietrznikach oraz zasięg stref nawiewu. Szczególnie interesujące może być to, że podwyższenie hali powyżej określonej wysokości przestaje wpływać na warunki cieplne w strefie pracy.

8. Przepływy w obecności przeszkód mechanicznych — opływ dachu

Nieodzownym warunkiem funkcjonowania naturalnej wentylacji jest uzyskanie intensywnej pracy wywietrzników dachowych przy opływach przez wiatr. Wymaga to doboru takiej konfiguracji pokrycia dachu, aby występowało w strefie otworów wywiewnych przyspieszanie i odrywanie przepływu, a w obszarach oddalonych od wywietrzników jego spiętrzenie (rys. 2f).

Przy opływie przez wiatr hal wielonawowych występuje wyraźne zróżnicowanie rozkładu ciśnień na dachach. Tworzą się tam strefy bezgradientowego i gradientowego opływu, możliwe do wyznaczenia i wykorzystania w zabiegach nad skutecznym rozwiązaniem i uzbrojeniem wywietrzników.

W pracach naszego Instytutu [14] badano z tego punktu widzenia aerodynamiczne właściwości kilku rozwiązań BIPROHUTU w zakresie ukształtowania dachów i wywietrzników dla gorących hal hutnictwa, a mianowicie dachy gąsienicowe, namiotowe, szedowe i z podłużnym wywietrznikiem. Dobór proporcji wymiarowych, nie zmieniających istoty rozwiązań konstrukcyjnych, a także „kosmetyka” dachu w postaci ekranów odpowiednio dobranych i rozmieszczonych — wydatnie poprawia skuteczność działania wywietrzników.

PISMIENNICTWO

- [1] Mierzwińska S., Majerski S.: Modelowanie procesów wentylacji. Nowa Technika w Inż. San., Ogrzew. i Went. z. 2 ARKADY, Warszawa 1972
- [2] Mierzwiński S., Popiołek Z.: Anemometria i jej zastosowanie w badaniach modelowych procesów odpylania i wentylacji. Ossolineum, Wrocław 1980
- [3] Turkiewicz K.: Analiza rozkładu temperatury powietrza w pomieszczeniach przy nawiewaniu strumieni nieizotermicznych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1978
- [4] Soehrich E.: Samomodelowanie przepływu turbulentnego w badaniach modelowych procesów wentylacji. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1979
- [5] Majerski S., Mierzwiński S.: Projektowanie wentylacji audytorów i sal widowiskowych. Nowa Technika w Inż., Sanit., Ogrzew. i Went. z. 6 ARKADY, Warszawa 1976
- [6] Mierzwiński S.: The choice of energetic properties of heating installations in glass-houses. Międzynarodowe Kolokwium: Energia Słoneczna, Ogrzewanie, Chłodzenie. Uniwersytet Paul Sabatier, Toulouse, Francja 1981
- [7] Mierzwiński S.: Air flow forming and energy utilization in ventilated rooms. Międzynarodowy Kongres: Wykorzystanie Energii w Budownictwie. Povos de Varsim, Portugalia, 1980
- [8] Mierzwiński S.: Some aerodynamic phenomena occurring in ventilation processes. Tekniska Meddelanden Nr. 190 KTH. Heating o. Ventilation Dept., Stockholm, Szwecja, 1980
- [9] Mierzwiński S.: Air motion and temperature distribution above a human body as a result of natural convection. KTH Heating — Vent. Dept., Stockholm A4 — serien, Nr 45, 1980
- [10] Mierzwiński S., Popiołek Z.: The convective plume above the human body as a factor of the ventilation process. Tek. Medellanden Nr. 192. KTH Heating — Vent. Dept., Stockholm 1981
- [11] Kolasa C.: Możliwości ograniczenia turbulencji powietrza w pomieszczeniach wentylowanych o wymaganym wysokim stopniu czystości. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1980
- [12] Nantka M.: Wpływ warunków zewnętrznych na przepływy powietrza w budynkach mieszkalnych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice, 1979
- [13] Trzeciakiewicz Z.: Czynniki warunkujące ruch i rozkład temperatury powietrza przy naturalnej wentylacji obiektu przemysłowego. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1981
- [14] Ślązak W.: Badania i analiza zjawisk opływu hal wielonawowych w aspekcie zwiększenia efektywności wywietrzników dachowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1980

Ceny ogłoszeń krajowych czasopisma

„CIEPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO, WENTYLACJA”

Ogłoszenia czarno-białe

1 strona formatu A4	— 22 000 zł
3/3 strony formatu A4	— 20 000 zł
1/2 strony formatu A4	— 14 000 zł
1/4 strony formatu A4	— 9 000 zł
1/8 strony formatu A4	— 6 000 zł

Dodatki do ceny podstawowej

Przygotowanie do druku	+20%
Kolor dodatkowy	+25%
Pełny kolor	+100%
Okladka I, IV str	+100%
Okladka II, III	+50%

Rabaty

3—5-krotne powtórzenie	— 3%
6—11-krotne powtórzenie	— 6%
12-krotne i powyżej	— 12%

Artykuły reklamowe, biuletyny i bloki oraz wkładki wykonane przez zleceniodawcę wycenia się według ceny podstawowej, udzielając 40% rabatu