

Stanisław MIERZWIŃSKI, Eryk SOEHRICH,
Krystyna TURKIEWICZ, Ewa WARCHOŁ

KSZTAŁTOWANIE WARUNKÓW CIEPLNYCH W HALI PRZY OGRZEWANIU POWIETRZNYM

Streszczenie. Omówiono metody kształtowania rozkładu temperatury powietrza w ogrzewanej hali przy wykorzystaniu strumieni nawiewanych. Jako miernik równomierności rozkładu w określonych warunkach geometrycznych hali i rozmieszczeniu w niej strumieni nawiewanych przyjęto energię tych strumieni. Przedstawione wyniki badań obejmują hale bez zysków ciepła i wilgoci w spotykanym zakresie strat ciepła.

1. Wstęp

Analiza przeprowadzonych badań skuteczności działania ogrzewań powietrznych w halach przemysłowych [1, 2, 3] wykazała, że zróżnicowanie parametrów cieplnych w strefie pracy przekracza wartości dopuszczalne z punktu widzenia komfortu cieplnego człowieka, a przegrzanie strefy podstropowej zwiększa bezproduktywne straty ciepła obiektu do otoczenia.

Ogrzewanie powietrzne charakteryzują parametry energetyczne nawiewanych strumieni powietrza oraz sposób rozmieszczenia otworów nawiewnych w obiektach. Warunkiem uzyskania odpowiednich dla danego pomieszczenia pól temperatur i prędkości w strefie pracy jest dobór właściwych parametrów ogrzewania powietrznego.

Trudność rozwiązania tego zagadnienia polega na tym, że ze względu na dużą różnorodność czynników zakłócających i ograniczających strumienie nawiewane nie zostały dotychczas opracowane wzory czy wytyczne organizowania rozdziału powietrza w tych pomieszczeniach.

Potrzeba przeanalizowana licznych wariantów rozwiązań geometrycznych i zmian parametrów strumieni nawiewanych oraz zakłóceń skłoniła do przeprowadzenia prac pomiarowych na stanowisku do modelowych badań aerodynamicznych właściwości ogrzewań powietrznych [4, 5]. Wyniki tych prac i propozycje wytycznych organizowania rozdziału powietrza w halach przemysłowych są treścią niniejszego artykułu.

2. Wykorzystanie energii strumieni nawiewanych do pomieszczenia

Do analizy rozkładu parametrów powietrza w hali przy nawiewaniu strumieni nieizotermicznych interesujące jest znalezienie związku pomiędzy polem jego temperatury a energią strumieni nawiewanych oraz przepływami powietrza w hali.

Energia nawiewanych strumieni \dot{E}_1 , określona równaniem:

$$\dot{E} = \dot{I}_N + \dot{E}_N = \dot{m}_N \left(i_N + \frac{w_N^2}{2} \right) \quad (1)$$

składa się z energii cieplnej \dot{I}_N , tj. entalpii strumienia powietrza i z energii kinetycznej \dot{E}_N . Przy prędkościach nawiewu stosowanych przy ogrzewaniu powietrznym ilość energii kinetycznej jest znikomo mała w porównaniu do strat ciepła hali i wynosi 0,05-0,5% tych strat. Jednakże energia ta ma do spełnienia ważną rolę jako czynnik warunkujący rozprzodzenie w hali nawiewanego powietrza i otrzymanie odpowiedniego rozkładu temperatury.

Przy ogrzewaniu powietrznym chodzi o równomierne rozprzodzenie ciepła w obszarze strefy pracy i ograniczenie ilości ciepła przechodzącego do przestrzeni ponad tą strefą. W związku z tym trzeba pokonać wypór hydrostatyczny mas ciepłego powietrza i odchylenie torów strumieni nieizotermicznych: ciepłych kierujących się ku górze i chłodnych konwekcyjnych spływających ku dołowi. Osiągnąć to można drogą aerodynamicznego mieszania powietrza w hali, do czego potrzebny jest pewien wkład energii.

Energię kinetyczną strumieni nawiewanych określa wzór:

$$\dot{E}_N = \frac{\dot{m}_N w_N^2}{2} \quad (2)$$

Zgodnie z tym wzorem, zawierającym iloczyn strumienia masy \dot{m}_N i kwadratu prędkości, może wydawać się obojętno, kosztem którego z tych składników uzyskuje się zmianę \dot{E}_N . W rzeczywistości w interesującym nas zakresie wartości parametrów może być jednak inaczej, gdyż przy tych samych \dot{E}_N strumienie nawiewane z większą prędkością początkową będą posiadały mniejsze wymiary przy mniejszej masie powietrza nawiewanego. W ten sposób ograniczona będzie efekcja tych strumieni.

Zatem mechanizm przekazywania pędu do otoczenia i proces mieszania ośrodka mogą przebiegać inaczej niż w przypadku powolniejszych, ale obszerniejszych strumieni o większej masie początkowej.

Dla otrzymania wystarczająco wyrównanego pola temperatury w strefie pracy istotną sprawą jest, aby wprowadzać tam strumienie powietrza, w których występują niewielkie gradienty temperatury i prędkości, więc już po dostatecznym wymieszaniu powietrza nawiewanego z powietrzem halowym, z te-

go powodu uważa się za niekorzystne wprowadzanie nawiewanych strumieni nieizotermicznych bezpośrednio do strefy pracy, co potwierdzają wyniki badań. Wskutek silnego turbulентnego mieszania powstaje bowiem w strumieniu nawiewanym duże zróżnicowanie prędkości i temperatur, występujące jeszcze w bardzo dużych odległościach od przekroju otworu nawiewanego.

W zależności od warunków panujących w hali, należy szukać takich miejsc wprowadzania strumieni powietrza, aby na drodze od otworu nawiewnego do strefy pracy mogło nastąpić wymieszanie powietrza, względnie aby możliwie cała strefa pracy znajdowała się w obszarze, w którym generują się przepływy wtórne, to jest powolne przepływy, w których różnice prędkości i temperatury będą już małe.

Przepływy wtórne związane są ze zjawiskiem eżekcji i powstają w wyniku działania naprężeń stycznych w strumieniu. Efekty eżekcji są silniejsze w przekrojach bliskich wlotu strumieni, tam, gdzie wewnątrz strumienia są również największe gradienty temperatury. Zassane powietrze ogrzewa się i miesza z powietrzem nawiewanym, a dzięki temu zmniejszają się gradienty temperatury. Wskazane jest, aby to wymieszane powietrze napływało do strefy pracy w miejsce powietrza zassanego przez strumień, powodując w ten sposób powolne przepływy wtórne w całym obszarze strefy.

W układach trójwymiarowych proces mieszania i generacji odpowiednich przepływów będzie zjawiskiem dość złożonym i optymalizacja tego procesu polegać powinna na takim dobraniu parametrów i geometrii strumieni, przy których zużycie całkowitej energii dla zapewnienia odpowiednich warunków w strefie pracy będzie najmniejsze.

Na kształtowanie przepływów wtórnych wpływa również ta część energii kinetycznej strumienia, która przy napływie na ściany lub przedmioty zamienia się na energię potencjalną (spiętrzenie). W związku z tym istotną rolę odgrywają zależności geometryczne pomieszczenia i strumieni nawiewanych, a także energetyczne i kinematyczne parametry tych strumieni oraz czynniki zakłócające proces dyssypacji energii we wtórnych przepływach w hali.

Z uwagi na stochastyczny charakter omawianych zjawisk wyjaśnić je można przede wszystkim drogą eksperymentalną.

3. Zakres badań i metody oceny wyników

Z powyżej przeprowadzonej analizy wynika, że dla uzyskania właściwych warunków cieplnych w hali należy odpowiednio rozmieścić otwory nawiewne i dobrać parametry strumieni nawiewanego powietrza.

Badania skoncentrowano na analizie następujących zagadnień:

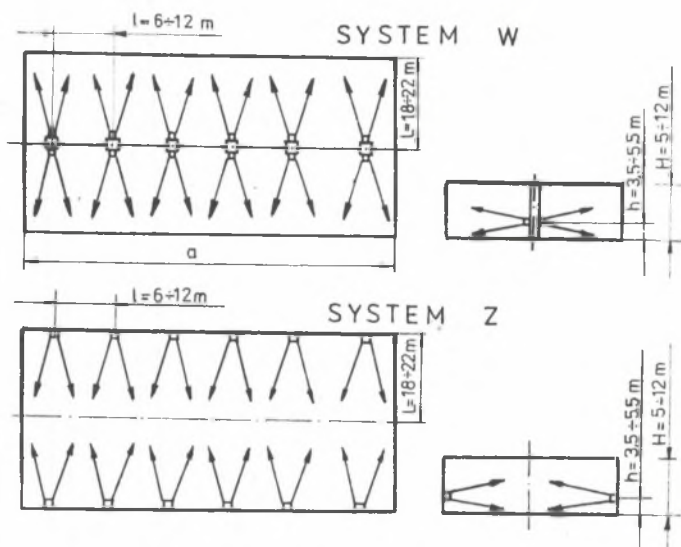
1. Wpływ rozmieszczenia otworów nawiewnych i ukierunkowania nawiewanych strumieni na rozkład temperatury i prędkości powietrza w strefie pracy oraz rozkład temperatury powietrza w hali ponad tą strefą.

2. Zakres wartości parametrów strumieni nawiewanych, w jakim uzyskać można postulowaną równomierność rozkładu temperatury powietrza w hali. Jako parametry strumieni wzięto pod uwagę wydatek, prędkość i temperaturę powietrza na wylocie z otworu nawiewnego oraz współczynnik burzliwości strumienia.

Właściwe rozwiązanie i parametry układu ogrzewania powietrznego będą determinowane cechami charakterystycznymi obiektu ogrzewanego, a mianowicie:

- jego wielkością,
- stratami ciepła,
- ilością powietrza infiltrującego.

Różnorodność obiektów przemysłowych zarówno pod względem wielkości, jak i własności cieplnych oraz procesów technologicznych, powoduje konieczność rozpatrywania oddzielnie charakterystycznych grup obiektów.

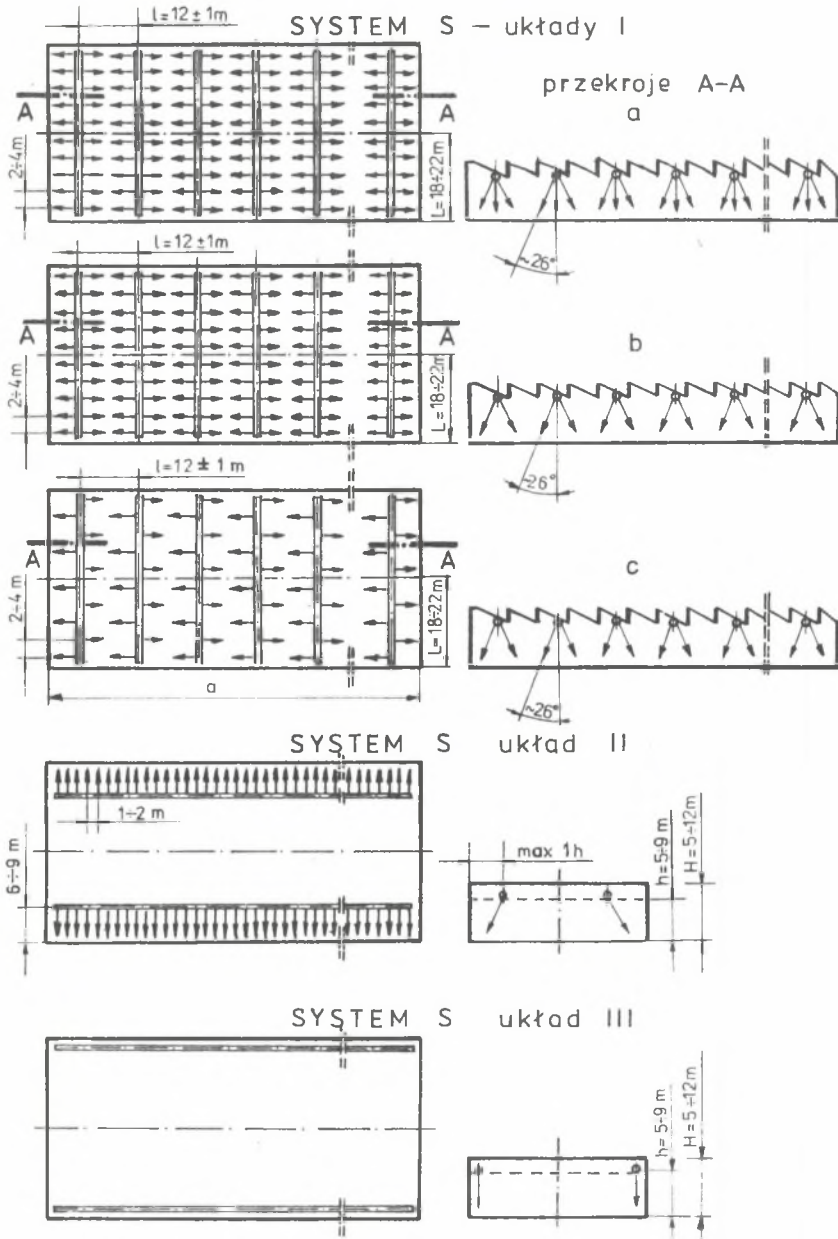


Rys. 1. Badane układy nawiewów bocznych

Zakres pracy ograniczono do analizy sposobu rozprowadzenia powietrza ogrzewającego w halach bez technologicznych zysków ciepła i wilgoci (niewentylowanych) o wysokości od 5 do 12 m i szerokości nawy zewnętrznej $18 \div 22 \text{ m}$ (rys. 1 i 2).

W badaniach analizowano zakres jednostkowych strat ciepła od $0,3 \text{ W/m}^3 \text{ deg}$ do $0,9 \text{ W/m}^3 \text{ deg}$, co odpowiadało:

- jednostkowej stracie ciepła przez strop $\dot{q}_D = 87,2 \text{ W/m}^2$ (odniesionej do 1 m^2 rzutu stropu);



Rys. 2. Badane układy nawiewów od strony stropu

- stracie ciepła jednego metra bieżącego ściany zewnętrznej $\dot{q}_s = 500-800 \text{ W/m}$ (w zależności od stopnia przeszklenia tej ściany), przy czym \dot{q}_s oblicza się ze wzoru:

$$\dot{q}_s = \frac{\dot{Q}_s + \dot{Q}_i}{a} \quad (3)$$

gdzie:

- \dot{Q}_s - strata ciepła danej ściany na drodze przenikania,
- \dot{Q}_i - ilość ciepła na ogrzewanie powietrza infiltrującego przez nie-szczelność tej ściana,
- a - długość ściany;
- częstotliwości wymiany powietrza zewnętrznego infiltrującego do hali $Z_i = 0,3 \div 2,5 \frac{1}{h}$.

W halach tych stosowano dwa układy ogrzewania powietrznego:

- układ nawiewów bocznych (rys. 1),
- układ nawiewów od strony stropu (rys. 2).

Ad a) W badaniach ogrzewania powietrznego: w układzie nawiewów bocznych używano nasadek nawiewnych z otworami kwadratowymi, zaopatrzonych w żaluzje. Uwzględniając wyniki prac studialnych i pomiarów w istniejących obiektach [6], [3] jako zasadę przyjęto kierowanie strumieni nawiewnych równoległe od strefy pracy.

Przeprowadzono badania dla dwóch systemów różniących się rozmieszczeniem otworów nawiewnych w stosunku do ścian zewnętrznych, a mianowicie:

- systemu W, w którym otwory nawiewne rozmieszczono po stronie wewnętrznej nawy (na konstrukcji słupów), a strumienie powietrza ogrzewającego kierowano w kierunku ściany zewnętrznej; przewidywano, że w ten sposób kierowane strumienie będą przeciwdziałać opadającym strumieniom powietrza ochłodzonego przy ścianach zewnętrznych;
- systemu Z, w którym otwory nawiewne rozmieszczono wzdłuż ściany zewnętrznej, a strumienie powietrza ogrzewającego kierowano do wnętrza hali.

W każdym z badanych systemów zmieniano sumaryczną powierzchnię otworów nawiewnych, ich rozstaw i wysokość umieszczenia. Otwory wywiewne sytuowano w pobliżu otworów nawiewnych.

Ad b) Do badań układów nawiewu od strony stropu wybrano:

- Układ I - w którym przewody rozdzielcze sytuowano prostopadle do ściany zewnętrznej, przy czym zmieniano ilość otworów nawiewnych na przewodach - układy a, b, c (rys. 2).
- Układ II - gdzie przewód rozdzielczy usytuowano równoległe do ściany zewnętrznej, w pewnej od niej odległości. Strumienie powietrza nawiewanego kierowano, zgodnie z rysunkiem 2, tak, ażeby zapobiec przedostawaniu się zimnych strumieni konwekcyjnych do strefy pracy.

Układ III - w którym przewód rozdzielczy umieszczono wzdłuż ściany zewnętrznej, a strumienie powietrza nawiewanego kierowano prostopadle do podłogi.

Zmianę parametrów energetycznych uzyskiwano w tych układach stosując zmienne wydatki powietrza ogrzewającego w zakresie odpowiadającym częstotliwościom wymiany powietrza w hali w granicach 2-6 na godzinę. Prędkość powietrza w otworach nawiewnych zmieniała się od 5 do 25 m/s, uwzględniając zmianę powierzchni tych otworów w granicach $0,14 \div 0,54 \text{ m}^2$. Temperaturę powietrza nawiewanego dobierano odpowiednio do bilansu cieplnego hali. Dla podanego zakresu wymiany powietrza wynosiła ona $40^{\circ}\text{C} \pm 24^{\circ}\text{C}$.

Dla realizacji programu badań w podanym powyżej zakresie opracowano metodykę badań i przygotowano stanowisko modelowe, które może służyć do kontynuacji badań w szerokim zakresie zmian wielkości hal i ich strat ciepłych oraz układów nawiewnych [4], [5].

Przy ocenie rezultatów badań wzięto pod uwagę stochastyczny charakter burzliwego ruchu powietrza i związanych z nim pól parametrów powietrza.

W związku z tym opracowano metodę analizy statystycznej jakości rozkładu parametrów powietrza [3], [6].

Jako kryterium oceny efektów różnych rozwiązań nawiewów nieizotermicznych przyjęto równomierność temperatury powietrza w strefie pracy, charakteryzowaną przez odchylenie standardowe $\sigma_t = 0,6 \text{ deg}$ odpowiadające odchyleniom temperatury od wartości średniej o $\pm 1 \text{ deg}$, z prawdopodobieństwem przekroczenia tych odchyleń o 5%.

Jako drugie kryterium przyjęto, że różnica temperatur powietrza na wysokości człowieka nie może przekraczać $\Delta t_{g-n} = 2 \text{ deg}$ w 90% pola powierzchni strefy pracy.

Sprawę uwzględnienia prędkości powietrza w kryteriach oceny wyników badań pozostawiono otwartą. W badaniach w pierwszej kolejności starano się uzyskać pożądaną rozkład temperatury powietrza w strefie pracy kosztem rozpraszania tam energii strumieni nawiewanych, nie wiedząc z góry, jak może kształtować się w związku z tym pole prędkości powietrza.

4. Kształtowanie rozdziału powietrza ogrzewającego w halach

Przeprowadzone badania w fizycznym modelu [4, 6, 7] wykazały, że uzyskanie pożądanego wyrównania temperatury w strefie pracy hali uzależnione jest od kinetycznej energii nawiewu. Wielkość tej energii zależy od geometrycznego rozwiązania układu ogrzewczego oraz od strat ciepła ściany zewnętrznej.

W przypadku hal mało szczelnych, gdy ilość powietrza infiltrującego przekracza 1 wymianę na godzinę, przy ogrzewaniu wyłącznie powietrznym nie można zapewnić wyrównania temperatury powietrza w strefie pracy.

Parametry systemu ogrzewczego, pozwalające na wyrównanie temperatury w strefie pracy ± 1 deg, zapewniają równocześnie utrzymanie średniej temperatury powietrza pod stropem zbliżonej do średniej w strefie pracy.

Przy stosowaniu nawiewów bocznych najkorzystniejszym rozwiązaniem jest kierowanie powietrza ogrzewającego równolegle do podłogi od środka hali w kierunku ściany zewnętrznej. Przy rozmieszczaniu otworów nawiewnych wzdłuż ściany zewnętrznej, na skutek inżekcyjnego działania strumieni nawiewnych, zimne powietrze od ściany zewnętrznej przedostaje się głębiej do strefy pracy.

Wysokość usytuowania otworów nawiewnych h zależy od wysokości hali. Dla hal niskich o wysokości $4\frac{1}{2}$ m otwory nawiewne należy umieszczać na wysokości $h = 3,5$ m. W halach wyższych ($7\frac{1}{2}$ – 12 m) wysokość usytuowania otworów można zwiększyć do $5,5$ m, uzyskując w ten sposób niższe średnie prędkości powietrza w strefie pracy. Materiał przedstawiony w dalszej części referatu dotyczy odległości między otworami nawiewnymi równej 12 m lub 6 m.

Zmniejszenie odległości l do 6 m stwarza korzystniejsze pola prędkości powietrza w strefie pracy. Z tego względu rozstaw otworów nawiewnych $l = 6$ m jest zalecany do stosowania.

Położenie otworów wywiewnych dla recyrkulacji powietrza nie ma istotnego znaczenia dla ruchów powietrza w hali.

Można je sytuować:

- w pobliżu otworów nawiewnych, jak to ma miejsce w przypadku aparatów ogrzewczo-wentylacyjnych,
- przy wentylatorze nawiewnym.

Dla doboru parametrów energetycznych nawiewu, tj. prędkości wylotowej w_N i częstotliwości wymiany powietrza w hali Z , sporządzono wykresy (rys. 3 i 6).

Wykresy przedstawione na rysunkach 3 i 4 umożliwiają dobór energetycznych parametrów nawiewu w halach o wys. do 12 m, szerokości nawy 18 do 22 m, których jednostkowa strata ciepła przez strop \dot{q}_D jest mniejsza lub równa $87,2$ W/m² (75 kcal/m².h), przy czym:

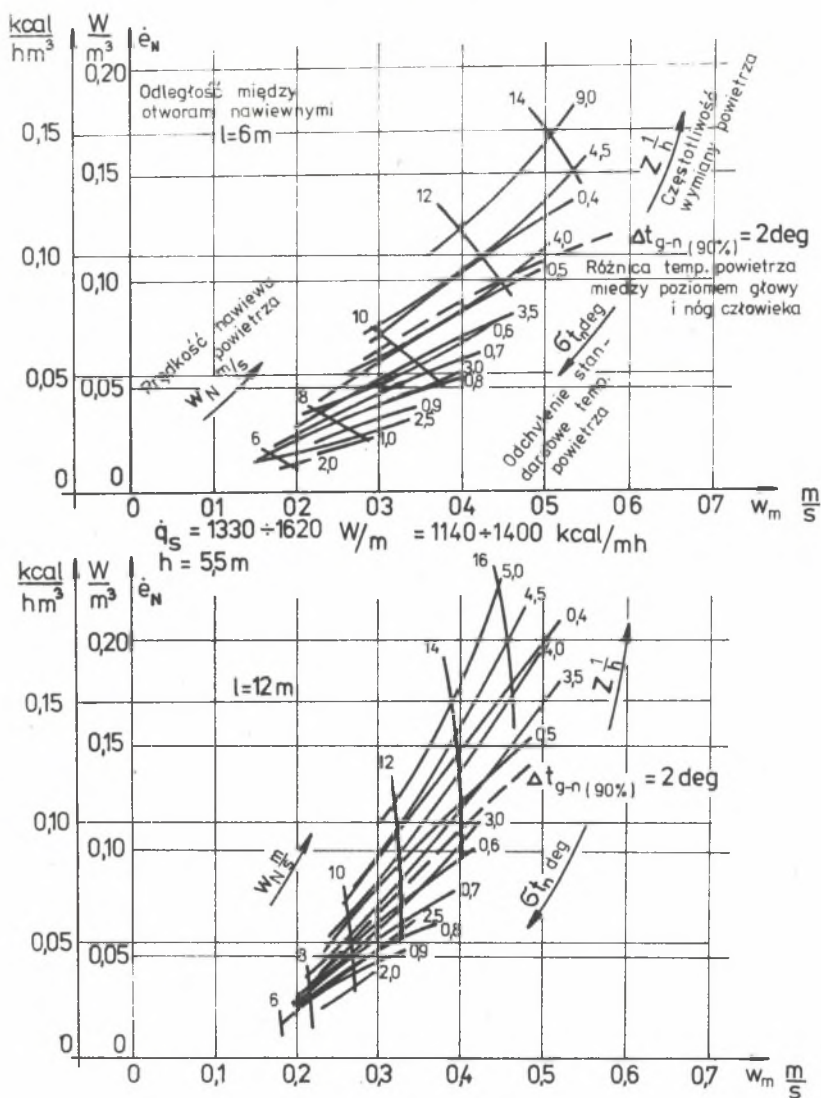
- wykres 3 sporządzony został dla hal o stracie ciepła przez 1 m ściany zewnętrznej w zakresie:

$$\dot{q}_s = 1330\frac{1}{2}\text{--}1620 \text{ W/m} = 1140\frac{1}{2}\text{--}1400 \frac{\text{kcal}}{\text{m h}}$$

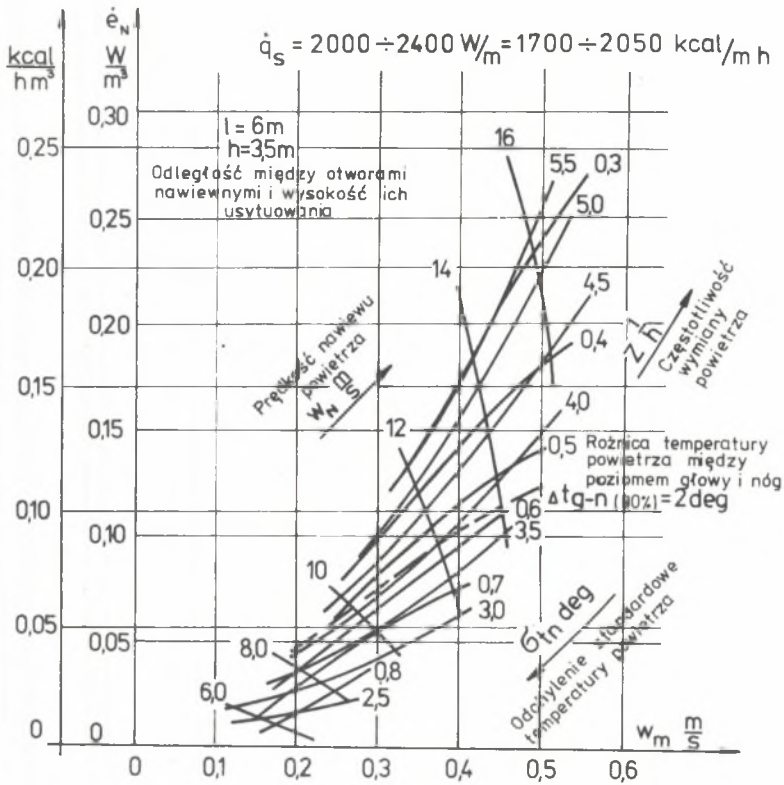
- wykres 4 sporządzony został dla hal o stracie ciepła przez 1 m ściany zewnętrznej w zakresie:

$$\dot{q}_s = 2000\frac{1}{2}\text{--}2400 \text{ W/m} = 1700\frac{1}{2}\text{--}2050 \frac{\text{kcal}}{\text{m h}}$$

Na osi odciętych omawianych wykresów przedstawiono średnie prędkości powietrza w strefie pracy w_m , a na osi rzędnych jednostkową energię kine-



Rys. 3. Wymagana jednostkowa kinetyczna energia nawiewu dla systemu W, przy następujących danych: $\dot{q}_s = 1330 \div 1620\text{ W/m}$, $h = 5,5\text{ m}$, $l = 6$ i 12 m



Rys. 4. Wymagana jednostkowa kinetyczna energia nawiewu dla systemu W , przy następujących danych: $\dot{q}_s = 2000 \div 2400 \text{ W/m}$, $h = 3,5 \text{ m}$, $l = 6 \text{ m}$

tyczną nawiewu, \dot{e}_N . Naniesione zostały również linie stałych prędkości nawiewu w_N i częstotliwości wymiany powietrza Z oraz stałych odchyśleń standardowych temperatury G_t .

Aby umożliwić utrzymanie różnicy temperatur powietrza na wysokości człowieka mniejszej od 2 deg, wprowadzono dodatkowo na rysunkach linie tej różnicy temperatury.

Powyższe zależności podano dla następującego zakresu wartości parametrów geometrycznych i energetycznych układu nawiewnego:

$$l = 6 \text{ i } 12 \text{ m} \quad w_N = 6 \div 16 \text{ m/s}$$

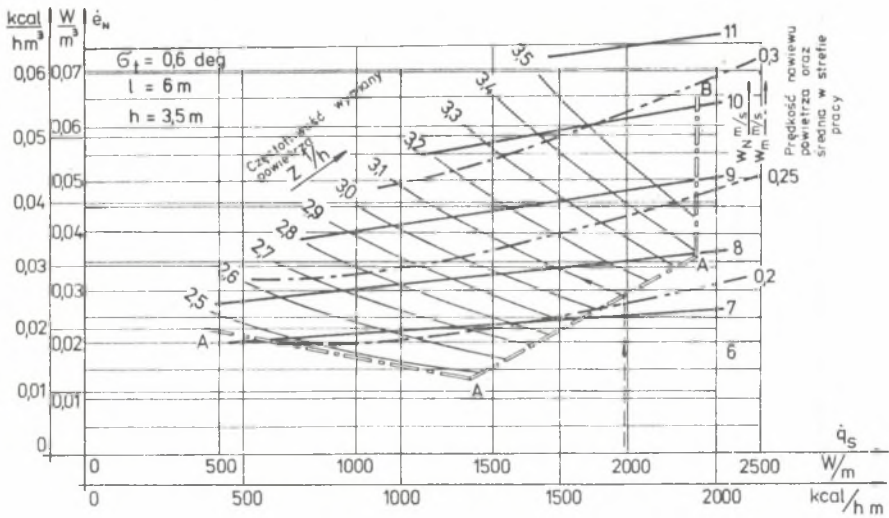
$$h = 3,5 \text{ i } 5,5 \text{ m} \quad Z = 2 \div 6 \text{ h}^{-1}$$

Zależność jednostkowej kinetycznej energii nawiewu \dot{e}_N od częstotliwości wymiany powietrza w pomieszczeniu Z 1/h oraz prędkości wylotowej powietrza nawiewanego w_N m/s opisuje wzór

$$\dot{e}_N = \frac{Q Z w_N^2}{7200} \frac{W}{m^3}$$

Rozważany rozkład temperatury powietrza w strefie pracy może mieścić się w granicach charakteryzowanych przez następujący zakres wartości parametrów rozkładu:

- $\sigma_{t_n} = 0,4$ do $0,9$ deg (odchylenie standardowe temperatury powietrza na poziomie nóg człowieka),
- $\Delta t_{g-n} = 2$ deg (różnica temperatury powietrza między poziomem głowy i nóg człowieka).



Rys. 5. Zależność jednostkowej kinetycznej energii nawiewu od straty ciepła ściany zewnętrznej hali dla systemu W, przy następujących danych: $\sigma_t = 0,6$ deg, $l = 6$ m, $h = 3,5$ m

Przykład korzystania z rys. 3 dla przypadków rozmieszczenia otworów nawiewnych wg systemu W, przy umieszczeniu ich na wysokości $h = 5,5$ m i w odległości $l = 6$ m.

Uzyskanie w strefie pracy hali rozważanego kształtu rozkładu temperatury powietrza, odpowiadającego kryterium

$$\sigma_{t_n} \leq 0,6 \text{ deg} \quad \text{i} \quad \Delta t_{g-n} \leq 2 \text{ deg},$$

wymaga zastosowania wydatku strumieni nawiewanych w granicach 3,5-krotnej wymiany powietrza na godzinę. Prędkość nawiewu w_N może być przyjęta w granicach $8 \div 12$ m/s, zależnie od dopuszczalnej średniej prędkości w_m odpowiednio w zakresie 0,2 do 0,4 m/s; odpowiada temu zapotrzebowanie energii kinetycznej nawiewu w granicach $0,03 \div 0,08$ W/m³.

Wykres przedstawiony na rys. 5 umożliwia dobór prędkości wylotowej strumienia i częstotliwości wymiany powietrza w hali, które zapewniają wyrównanie temperatury w strefie pracy ± 1 deg ($\sigma_{t_n} = 0,6$ deg), dla różnych strat ciepła przez ścianę zewnętrzną \dot{q}_s . Został on sporządzony dla rozstawu otworów nawiewnych 6 m, wysokości ich usytuowania 3,5 m i można go stosować dla hal o szerokości nawy $18 \div 22$ m i jednostkowej stracie ciepła przez strop

$$\dot{q}_D \leq 87,2 \text{ W/m}^2 \quad \left(75 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}} \right)$$

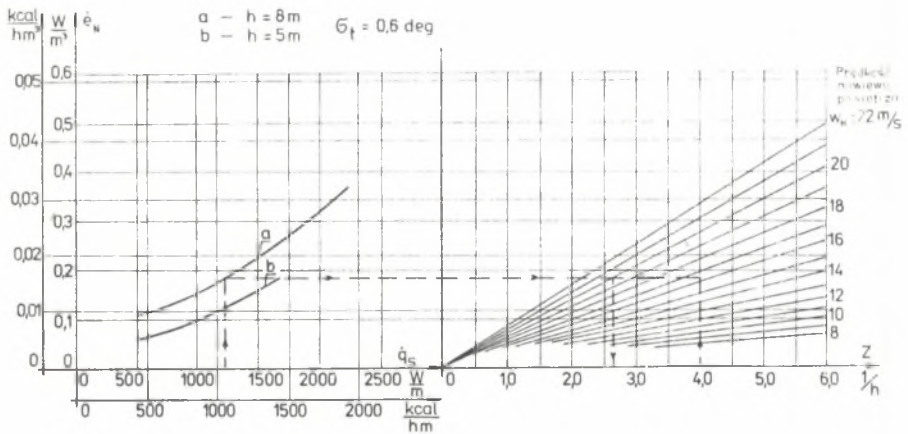
Minimalne wartości parametrów energetycznych nawiewu Z_{\min} i $w_{N\min}$ dla danej straty \dot{q}_s , spełniające warunek równomierności temperatury powietrza w strefie pracy, należy dobierać na linii A-A.

Średnie prędkości powietrza w strefie pracy wynoszą wtedy około 0,2 m/s. W przypadku, gdy wymagana jest wyższa średnia prędkość powietrza, należy zwiększyć prędkość wylotową powietrza nawiewanego do wartości otrzymanej na rys. 5 na przecięciu się linii Z_{\min} z wymaganą prędkością w_m w strefie pracy.

Jeżeli, z uwagi na wentylację, wymagana jest większa częstotliwość wymiany powietrza, niż to wynika z warunku Z_{\min} , to prędkość nawiewu w_N należy odczytać w punkcie przecięcia linii wymaganej częstotliwości wymiany Z z linią wymaganej prędkości powietrza w strefie pracy w_m . Linia A-B ogranicza zakres stosowalności wykresu.

Przy stosowaniu nawiewów od strony stropu najkorzystniejszym rozwiązaniem z punktu widzenia ogrzewania okazało się prowadzenie przewodów rozdzielczych wzdłuż ściany zewnętrznej. W rozwiązaniu tym spotyka się jednak miejsca bezruchu powietrza w środku hali. Przy stosowaniu przewodów rozdzielczych prostopadłych do ściany zewnętrznej otrzymuje się bardziej wyrównane pola prędkości powietrza, ale wyrównanie temperatury powietrza uzyskuje się kosztem większej kinetycznej energii nawiewu.

Rysunek 6 umożliwia dobór jednostkowej kinetycznej energii \dot{e}_N dla nawiewów od strony stropu z przewodami rozdzielczymi prowadzonymi prostopadłe do ściany zewnętrznej - układ I (rys. 2c) w zależności od strat cie-



Rys. 6. Zależność jednostkowej kinetycznej energii nawiewu od straty ciepła ściany zewnętrznej hali dla systemu S, przy następujących danych: $G_t = 0,6 \text{ deg}$, $h = 5\text{--}8 \text{ m}$

pla ściany zewnętrznej \dot{q}_s . Wartość energii \dot{e}_N odczytana z wykresu jest wystarczająca dla zapewnienia w strefie pracy równomierności pola temperatury $\pm 1 \text{ deg}$ ($G_t = 0,6 \text{ deg}$). Dla uzyskania równomiernego rozdziału powietrza w strefie pracy całej hali należy przy wysokości usytuowania otworów nawiewnych około 8 m stosować prędkości wylotowe powietrza z tych otworów rzędu $18\text{--}22 \text{ m/s}$, a dla wysokości 5 m prędkości $9\text{--}13 \text{ m/s}$. Średnie prędkości w strefie pracy wynoszą w tych warunkach $0,30\text{--}0,45 \text{ m/s}$, a pole prędkości już jest równierne.

Częstotliwość wymiany powietrza Z można odczytać w prawej części wykresu w zależności od wymaganej energii \dot{e}_N oraz założonej prędkości nawiewu w_N .

Przy projektowaniu układów nawiewnych od stropu z przewodami rozdzielczymi prowadzonymi równolegle do ściany zewnętrznej - układ II i III (rys. 2) równomierność pola temperatury uzyskuje się przy następujących wartościach parametrów energetycznych:

$$\dot{e}_N = 0,05\text{--}0,08 \text{ W/m}^3 \quad (0,04\text{--}0,07 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{h}})$$

$$Z = 2 \text{ h}^{-1} \quad w_N = 11\text{--}14 \text{ m/s}$$

Przy tych parametrach średnie prędkości powietrza w strefie pracy wynoszą:

dla układu II $w_m = 0,2 \text{ m/s}$,

dla układu III $w_m = 0,3 \text{ m/s}$.

5. Wnioski

1. Przeprowadzone badania ujawniły i udokumentowały istotną rolę kinetycznej energii nawiewanych strumieni dla kształtowania rozkładu temperatury powietrza w pomieszczeniu.

Poziom tej energii potrzebny do wyrównania temperatury w strefie pracy i obniżenia jej wartości pod stropem (poniżej średniej w pomieszczeniu) wynosi $0,03 \pm 0,3 \text{ W/m}^3$.

Z uwagi na działanie różnorodnych zakłóceń, nie uwzględnionych w dotychczasowych badaniach ruchu powietrza w halach, należy liczyć się z potrzebą zwiększenia ilości tej energii.

W obecnie projektowanych układach ogrzewania powietrznego poziom kinetycznej energii strumieni wynosi 0,01 do $0,03 \text{ W/m}^3$, jest więc o rząd wielkości za mały.

2. Skuteczność przekazywania kinetycznej energii pomiędzy niezotermicznym strumieniem nawiewanym a powietrzem w strefie pracy zależy od szeregu czynników, których wpływu obliczeniowo nie można jeszcze określić. Dlatego wskazane jest eksperymentalnie rozwiązywać układy ogrzewania powietrznego, do czego dobrze nadaje się modelowanie fizykalne.
3. Korzystną z punktu widzenia warunków komfortu cieplnego równomierność parametrów powietrza uzyskuje się przy stosowaniu systemu nawiewów bocznych, przy usytuowaniu otworów nawiewnych $3,5 \pm 5,5 \text{ m}$ nad podłogą pomieszczenia i kierowaniu strumienia równoległe do niej od wnętrza pomieszczenia w kierunku ściany zewnętrznej. Przy stosowaniu nawiewów od strony stropu wyrównanie temperatury powietrza warunkowane jest wyższą energią kinetyczną nawiewu. W strefie pracy pojawiają się w tym przypadku nierównomierne pola prędkości, a średnie prędkości powietrza dochodzą do $0,45 \text{ m/s}$, co nie jest korzystne dla człowieka.
4. W chwili obecnej prowadzone są badania nad konstrukcją uzbrojenia nasadki w układach systemu S - termowentylacji, umożliwiającego wyrównanie pola prędkości powietrza i zmniejszenie jego prędkości średniej w strefie przebywania.

LITERATURA

- [1] Turkiewicz K., Legieć S., Soehrich E., Kolasa C.: Warunki cieplne wytworzone przez aparaty ogrzewczo-wentylacyjne w obiekcie rzeczywistym. Zakład Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Atmosfery Pol. Śl. Gliwice 1972.
- [2] Praca zbiorowa: Kompleksowe pomiary warunków ogrzewania powietrznego w wybranych halach przemysłowych. Etap 1.4 podtematu "Ogrzewanie powietrzne hal przemysłowych" praca zlecona, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Pol. Śl., Gliwice 1976.
- [3] Turkiewicz K.: Ocena warunków cieplnych hali przemysłowej przy ogrzewaniu powietrznym. ZN Pol. Śl. Inż. Sanit. (w druku).

- [4] Praca zbiorowa: Rozdział powietrza ogrzewającego dla kształtowania pożądanego rozkładu temperatury i prędkości w strefie pracy. Etap 1.2, podtematu "Ogrzewanie powietrzne hal przemysłowych" praca zlecona, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Gliwice, 1973.
- [5] Kolasa C., Soehrich E., Turkiewicz K.: Fizyczny model do badań ogrzewania powietrznego dużych pomieszczeń. ZN Pol. Śl. Inż. Sanit. (w druku).
- [6] Turkiewicz K.: Analiza rozkładu temperatury powietrza w pomieszczeniach przy nawiewaniu strumieni nieizotermicznych. Praca doktorska, Zakład Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Atmosfery Pol. Śl. Gliwice 1976.
- [7] Praca zbiorowa: Analiza wpływu kształtu hali, infiltracji powietrza, charakterystyki cieplnej obiektu oraz zewnętrznych czynników klimatycznych na przebieg powietrznego ogrzewania hali. Etap 1.3 podtematu "Ogrzewanie powietrzne hal przemysłowych" praca zlecona, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Pol. Śl. Gliwice 1976.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ
В ЗАВОДСКОМ ЗАЛЕ ПРИ ВОЗДУШНОМ ОТОПЛЕНИИ

Р е з ю м е

Обсуждены методы формирования распределения температур воздуха в обогреваемом заводском зале при использовании приточных потоков. В качестве измерителя равномерности распределения в определенных геометрических условиях заводского зала и распределении в нем приточных потоков принята энергия этих потоков. Представленные результаты испытаний охватывают залы без прибыли тепла и влаги во встречаемой области потерь тепла.

THE FORMATION OF HEAT CONDITIONS
IN AN AIR-HEATED ESTABLISHMENT PRODUCTION HOUSE

S u m m a r y

The methods of influencing air temperature distribution in a heated production house, making the most of ventilating fluxes, have been discussed. The energy of fluxes has been assumed to be the measure of uniformity of distribution in the room of defined geometrical conditions, and ventilating fluxes arrangement.

The presented investigation results are pertinent to rooms without heat and moisture gains, and the normal range of heat losses.