

# MODERNIZACJA SYSTEMU WENTYLACJI W HALI PRZEMYSŁOWEJ ZAKŁADU PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH

mgr inż. Piotr MILEWSKI

*Niniejszy artykuł przywołuje najistotniejsze wymagania związane z wentylacją pomieszczeń, a w szczególności w obiektach przemysłowych. Przytoczone zostały w nim różne sposoby osiągania wymaganego mikroklimatu w pomieszczeniach, w zależności od ich przeznaczenia. Zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplno-wilgotnościowego jest podyktowane zazwyczaj wymogami obowiązującego reżimu technologicznego lub komfortu przebywających w nich ludzi. W budynkach przemysłowych podstawowym problemem najczęściej jest usuwanie zanieczyszczeń oraz zysków ciepła z prowadzonych tam procesów technologicznych.*

## I WYBRANE PROBLEMY JAKOŚCI POWIETRZA W HALACH PRZEMYSŁOWYCH

Jakość powietrza wewnętrznego (IAQ – Indor Air Quality), [2] jest istotnym parametrem mającym wpływ na samopoczucie i zdrowie człowieka. Jest ona definiowana jako środowisko, w którym wymagania człowieka, takie jak np.: ilość świeżego powietrza i brak przykrego zapachu są zapewnione. Odpowiednia jakość powietrza przekłada się nie tylko na odczucia zmysłowe, ale również na efektywność wykonywanej pracy. Jak wykazały liczne badania, wydajność pracy pracownika wzrasta nawet o kilka procent w przypadku zachowania IAQ na satysfakcjonującym poziomie.

Powietrze wewnętrzne, czyli powietrze otaczające nas w pomieszczeniach zamkniętych, to swoisty mikroklimat, którego skład jakościowy i ilościowy ulega zmianom w krótkim okresie czasu. Na jakość powietrza w pomieszczeniach wpływ ma m. in. jakość powietrza zewnętrznego w bezpośrednim sąsiedztwie budynku, temperatura i wilgotność względna powietrza, występujące w pomieszczeniach źródła zanieczyszczeń oraz skuteczność ich wentylacji. Z przeprowadzonych badań wynika, że przyczyną złego samopoczucia i wielu problemów zdrowotnych, są najczęściej czynniki panujące w bezpośrednim otoczeniu człowieka, czyli w miejscach w których najczęściej on przebywa. Dorosły człowiek spędza przeciętnie około 90% swojego czasu w pomieszczeniach zamkniętych, a osoby starsze, chore i dzieci jeszcze więcej. Rozkład czasu, jaki spędza dorosły człowiek w poszczególnych środowiskach został przedstawiony na rysunku 1.

W budynkach codziennie jesteśmy narażeni na kurz,

pyłki roślin, zarodniki grzybów i pleśni, zanieczyszczenia chemiczne wydzielane przez materiały budowlane i wyposażenie wnętrz oraz dwutlenek węgla z procesu oddychania. Wykonywane czynności domowe, takie jak pranie, czy gotowanie i kąpiele, są źródłem dużej ilości wilgoci w postaci pary wodnej. Wszystkie te zanieczyszczenia trzeba usuwać, aby zachować równowagę komfortowego środowiska.

Trudno jednoznacznie określić, które z substancji zanieczyszczających powietrze powodują jedynie dyskomfort mieszkańców, a które mogą wywołać choroby. Niestety wielu z nich nie wyczuwamy naszymi zmysłami, a objawy ich szkodliwego działania na organizm mogą być mylące. W wyniku tego spowodowane nimi choroby mogą się ujawnić po wielu latach. Jak wynika z przytoczonych danych stanowisko pracy jest drugim, poza domem środowiskiem o największym współczynniku przebywania, dlatego równie ważna jest jakość powietrza w miejscu pracy. I to nie tylko w zakładach przemysłowych, gdzie są emitowane duże ilości zanieczyszczeń, lecz również w magazynach, czy biurach.

### ❖ Syndrom chorych budynków

Od lat mówi się o zjawisku zdefiniowanym jako **syndrom chorych budynków** (*Sick Building Syndrome*). Użytkownicy wielu z nich uskarżają się na bóle głowy, podrażnienia oczu, nosa i gardła, trudności z koncentracją, czy zmęczenie. Co ciekawe, większość tych objawów ustępuje po opuszczeniu budynku. Powody ustępowania SBS są złożone, a jednym z nich niewątpliwie jest niewłaściwie działająca wentylacja. Zła jakość powietrza wewnętrznego powoduje nie tylko dyskomfort wywołany niewłaściwymi jego parametrami fizycznymi. Jakość powietrza psują także zanieczyszczenia chemiczne i biologiczne. Ponadto



Rys. 1 Podział czasu, jaki człowiek spędza w poszczególnych środowiskach [2]

ograniczanie strumienia powietrza wentylacyjnego oraz niewłaściwa eksploatacja instalacji wentylacyjnej również składają się na przyczyny wspomnianego syndromu.

- **Rozwiązania dzięki którym można przeciwdziałać skutkom SBS**

- zwiększenie wydajności wentylacji oraz skuteczności dostarczania świeżego powietrza do pomieszczeń,
- zapewnienie miejscowego sposobu usuwania zanieczyszczonego powietrza w przypadku występowania w pomieszczeniach silnych źródeł zanieczyszczeń.

Zapobieganie powyższym problemom wymaga prawidłowego zaprojektowania i wykonania systemu wentylacji w budynku, ale również okresowej kontroli prawidłowości działania całej instalacji.

Warunki termiczne, zapewniane przez urządzenia wentylacyjne, klimatyzacyjne i grzewcze, zależą przede wszystkim od przeznaczenia danego pomieszczenia i mają na celu zapewnienie komfortu jego użytkownikom, lub w przypadku pomieszczeń, w których priorytetem są wymagania związane z realizowaną technologią (np. przemysł precyzyjny), utrzymanie temperatury i wilgotności powietrza w granicach zapewniających prawidłową i bezawaryjną pracę urządzeń. Niestety bardzo często praktyka wykazuje, że dbałość o sprawność sprzętu jest dla producentów istotnym priorytetem, natomiast komfort pracowników na stanowiskach pracy często traktowany jest marginalnie, mimo, że dyskomfort termiczny wpływa nie tylko na spadek efektywności ich pracy, ale również może prowadzić do wielu chorób.

Na odczucie komfortu wpływa zbiorcza kombinacja wrażeń wizualnych, słuchowych, namacalnych i cieplnych, jakie pojawiają się w danym środowisku i które wynikają ze zmian takich czynników, jak: temperatura otaczającego powietrza, temperatura promieniowania otaczających powierzchni, wilgotność i prędkość powietrza, zapachy, ilość kurzu, walory estetyczne, natężenie hałasu i oświetlenie. Z przytoczonych parametrów jedynie pierwsze cztery wpływają na komfort cieplny człowieka, który zależy w dużym stopniu również od metabolizmu, aktywności oraz indywidualnej zdolności do przystosowania się do zmian. Pomimo, że człowiek posiada zdolność aklimatyzacji do bardzo zmiennych i niekorzystnych warunków klimatycznych, jednak efektywność pracowników wykonujących określone zadania zależy w dużej mierze od warunków środowiska, w którym oni przebywają. Zapewnienie tym osobom poczucia komfortu poprzez dobór i regulację odpowiednich parametrów środowiska ich pracy przekłada się m. in. na:

- zwiększenie stopnia skupienia nad wykonywanym zadaniem,
- zmniejszenie ilości popełnianych błędów,
- zwiększenie wydajności i jakości produktów i usług,
- ograniczenie ilości nieobecności w pracy wynikających z chorób,
- ograniczenie ilości wypadków przy pracy i innych zagrożeń zdrowotnych (jak np. chorób układu oddechowego).

Podstawowym kryterium wg PN-78/B-03421 [9], decydującym o wyborze parametrów powietrza jest aktywność fizyczna osób. Określa się ją sumując całkowite straty energii odpowiadającej pozycji ciała oraz szacunkowych wartości dodatkowych strat energii, w zależności od rodzaju wykonywanych czynności fizycznych. Dokonując obliczeń należy również uwzględnić zmienność warunków zewnętrznych, wynikających z pory roku. Służą temu znormalizowane w tabelach parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego.

Ze względu na dość znaczącą ilość czasu, jaką spędzamy w pomieszczeniach zamkniętych, jak się okazuje, istotną rolę dla naszego zdrowia i samopoczucia odgrywa jakość powietrza panującego w tych pomieszczeniach. O ile rozpoznajemy odczuwalne naszymi zmysłami sygnały dyskomfortu, takie jak przykry zapach, nieodpowiednia temperatura, czy wilgotność, to w większości przypadków nie jesteśmy świadomi zagrożeń dla naszego zdrowia, wynikających z zanieczyszczeń powietrza, którym chcąc nie chcąc oddychamy. Dlatego postęp technologiczny w branży budowlanej, wraz z aktualizowanymi aktami prawnymi w zakresie jakości powietrza i odczuwalnego komfortu, narzucają nowe standardy dla sprzętu i urządzeń, które mają sprostać tym wymaganiom, ale również prawidłowej ich eksploatacji i konserwacji.

## 2 AKTUALNE NORMY I ZALECENIA DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW WENTYLACJI HAL PRZEMYSŁOWYCH

Zalecenia dotyczące projektowania, budowy i eksploatacji systemów wentylacyjnych oraz zasad zapewnienia bezpieczeństwa ludziom i mieniu, ochrony środowiska, racjonalnego wykorzystania ciepła i energii reguluje w krajach Unii Europejskiej, a zatem również w Polsce kilkadziesiąt przepisów techniczno-prawnych. Najistotniejsze z nich, to:

- Prawo budowlane [7],
- Prawo energetyczne [5],
- Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska [8],
- Ustawa o ochronie przeciwpożarowej [6],

Ponadto kwestie jakości powietrza i sposobów jej zapewnienia konkretyzują poniższe rozporządzenia:

- a) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [12],
- b) Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej [12].

### 2.1 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakie powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Dokument ten, wprowadzony w życie w 2002 roku, z jego nowelizacją z dnia 6 listopada 2008 roku, ujednotolica i definiuje kwestie związane ze stosowaniem wentylacji w budynkach, a także porusza problematykę zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach, w których przebywają ludzie. Ponadto rozporządzenie to dotyczy problemu zużycia energii i możliwości jej oszczędzania poprzez stosowanie odzysku ciepła, a także bezpieczeństwa i prawidłowej



Rys. 2 Widok nowoczesnej wtryskarki typu ENGEL [10]

pracy instalacji wraz ze współpracującymi z nią urządzeniami, również w aspekcie ochrony przeciwpożarowej.

## 2.2 Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy

Drugim, bardzo ważnym aktem prawnym jest Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dotyczy ono przede wszystkim jakości powietrza w miejscu pracy oraz sposobów pozwalających zapewnić przyjazne warunki pracy. To znaczy, że zastosowana w pomieszczeniu wentylacja powinna być skuteczna, lecz nie powinna mieć negatywnego wpływu na odczucie komfortu przez człowieka lub jego zdrowie. Uwzględnia się w tym punkcie również ekspozycję na emisję drgań i hałasu w wyniku pracy instalacji wentylacyjnej. Szczególne zastosowanie w obiektach przemysłowych ma § 34 Rozporządzenia, w którym zaleca się zabudowy izolujące części maszyn i urządzeń, gdzie podczas procesu technologicznego następuje wydzielanie ciepła, substancji szkodliwych w postaci par, gazów czy pyłów. W przypadku braku możliwości hermetyzacji, urządzenia te powinny być wyposażone w wyciągi miejscowe. Przytoczone powyżej akty prawne, normy i rozporządzenia systematyzują zagadnienia związane z wymaganiami i zaleceniami odnośnie jakości powietrza w pomieszczeniach i sposobów jej realizacji, w zależności od rodzaju i przeznaczenia rozpatrywanych pomieszczeń.

Zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach pracy jest istotnym problemem zauważanym w różnych branżach i na różnych stanowiskach pracy, pomimo, że w dokumencie „Prawo do zdrowego powietrza wewnętrznego” WHO (Światowa Organizacja Zdrowia) zapisano, że jakość powietrza wewnętrznego jest ważnym wyznacznikiem zdrowia i dobrego samopoczucia a zgodnie z prawem człowieka do zdrowia, każdy człowiek ma prawo oddychać zdrowym powietrzem wewnętrznym [4].

## 3 OBIEKT PRZEMYSŁOWY: ZAKŁAD PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH

Obiektem przemysłowym poddanym rozważaniu w niniejszym opracowaniu, w sferze modernizacji systemu wentylacji, jest zakład przetwórstwa tworzyw sztucznych metodą wtrysku, zlokalizowany w mieście Gdynia (województwo

pomorskie). Charakterystyka obiektu została przedstawiona w „TCHK” nr 8 i 10/2009 w artykule dotyczącym systemu chłodzenia wtryskarek [3].

### 3.1 Proces formowania wtryskowego

Proces formowania wtryskowego (wtryskiwanie) – jest realizowany przez skomplikowane i wielofunkcyjne maszyny zwane wtryskarkami (rys. 2). W zależności od rodzaju przetwarzanego tworzywa, sposobu pracy, rodzaju formy itp., są one dostosowywane do wymogów poszczególnych wariantów technologii w sposób konstrukcyjny, bądź przez zastosowanie specjalnego wyposażenia technicznego. Wielkość wtryskarki oraz jej możliwości wytwórcze charakteryzuje siła zamykania, objętość wtrysku i wymiary przestrzeni, w której moczona jest forma wtryskowa.

Przetwórstwo tworzyw metodą wtrysku polega na termiczno-mechanicznym uplastycznieniu granulatu tworzywa sztucznego, następnie wtrysnięciu go w ściśle określonych warunkach (ciśnienia, temperatury, objętości) do przyrządu specjalnego, zainstalowanego na maszynie, zwanego formą wtryskową. Wtryskiwane tworzywo wypełnia gniazda formujące termostatowanej formy wtryskowej i po określonym czasie krystalizacji (chłodzenia) zmienia swoją postać ze stanu płynnego w stały, tworząc ukształtowaną wypraskę. Wypraska, czyli wyformowany element, w operacji otwierania formy uwalniana jest z niej za pomocą zespołu wyrzutnika maszyny działającego na wypychacze narzędzia. Po ponownym zamknięciu formy proces ten odbywa się cyklicznie.

Zaletą technologii wtrysku jest powtarzalność wytwarzanych elementów poprzez zapewnienie precyzyjnego doboru nastaw maszyny oraz odpowiednie nadzorowanie procesu produkcji.

#### 3.1.1 Emisja zanieczyszczeń

Ogrzewanie cylindra plastyfikującego wtryskarki, realizowane zazwyczaj przez elektryczne grzałki opaskowe, zapewnia zmianę stanu skupienia tworzywa i jest głównym źródłem ciepła emitowanego w maszynie. Proces ten przebiega w temperaturach odpowiednich dla danego rodzaju



Rys. 3 Odciągi miejscowe instalacji wywiewnej nad wtryskarkami [10]

tworzywa, wynoszących niekiedy nawet  $+300^{\circ}\text{C}$  i towarzyszy mu wydzielanie lotnych związków chemicznych oraz gazów. Do produkcji elementów w omawianej firmie stosuje się w przeważającym stopniu tworzywa konstrukcyjne, głównie poliamidy. Przeprowadzone badania środowiskowe wykazały [10], że w trakcie procesu wtryskiwania uwalniają się niewielkie ilości toluenu oraz etylobenzenu, heptanu i ksyłenu, jednak ich stężenie kształtuje się poniżej oznaczalności metody. Nie stwierdzono również przekroczenia wartości NDSCh w żadnej z wykonanych prób. Niewątpliwie na jakość powietrza w otoczeniu pracy wpływ mają zainstalowane nad każdą maszyną odciągi miejscowe (rys. 3), których zadaniem jest usuwanie zanieczyszczeń i zysków ciepła bezpośrednio ze źródła ich emisji w trakcie trwania procesu technologicznego.

### 3.2 Charakterystyka obiektu

Omawiany zakład produkcyjny zajmuje pomieszczenie stanowiące część dużej hali. Jej schematyczne rozmieszczenie pokazuje rysunek 4. Budynek pochodzi z lat siedemdziesiątych i jest wykonany z prefabrykatów betonowych. Usytuowane na jego dachu świetliki zapewniają dodatkowy dostęp światła dziennego do przestrzeni produkcyjnej hali.

### 3.3 Ogólna ocena stanu technicznego aktualnego systemu wentylacji

Obecny system wentylacji mechanicznej (rys. 5) spełnia oczekiwania aktualnych wymagań technologicznych zakładu, co potwierdzają pozytywne wyniki wykonywanych okresowo badań środowiskowych. Jednak scentralizowany charakter obecnej instalacji wykazuje brak możliwości zarządzania jakością i ilością powietrza w wydzielonym z hali pomieszczeniu wtryskarek. Ma to wpływ na kształtowanie środowiska pracy pracowników zakładu, które to bezpośrednio przekłada się na komfort pracy i ich wydajność. W tym celu firma poczyniła już pewne kroki dokonując wymiany stolarki okiennej w ścianie NW, uwzględniając możliwość otwarcia dodatkowych okien. Pozwala to na większy dopływ świeżego powietrza i częstszą jego wymianę przez uchylne klapy świetlików. Ponadto ze względu na duże

nasłonecznienie tej ściany w okresie letnim zainstalowano regulowane, poziome żaluzje w celu ograniczenia zysków ciepła. Niemniej jednak obecny system wentylacji wymaga modernizacji w zakresie mechanicznej wentylacji ogólnej.

## 4 BILANS CIEPLNY Z OKREŚLENIEM ILOŚCI POWIETRZA WENTYLACYJNEGO

### 4.1 Obliczenie ilości powietrza wentylacyjnego na podstawie zysków ciepła

Poniższa metoda obliczeniowa [11] polega na analizie i zsumowaniu obciążeń cieplnych pomieszczenia, w tym m. in. od ludzi, od oświetlenia elektrycznego, od Słońca przez przegrody przezroczyste i nieprzezroczyste oraz od urządzeń elektrycznych. W zależności od rodzaju i przeznaczenia pomieszczenia, wartości wymienionych zysków mogą mieć zupełnie inne wielkości. I tak na przykład dla sali konferencyjnej lub kinowej, dominującym składnikiem obciążeń cieplnych są zyski od ludzi, natomiast dla maszynowni głównym źródłem ciepła są pracujące w pomieszczeniu maszyny. Suma poszczególnych zysków stanowi główny trzon zależności do obliczenia wymaganej ilości powietrza wentylacyjnego i dla rozpatrywanej hali została przedstawiona w tabeli 1.

#### ❖ Ilość powietrza wentylacyjnego wyznaczona na podstawie zysków ciepła

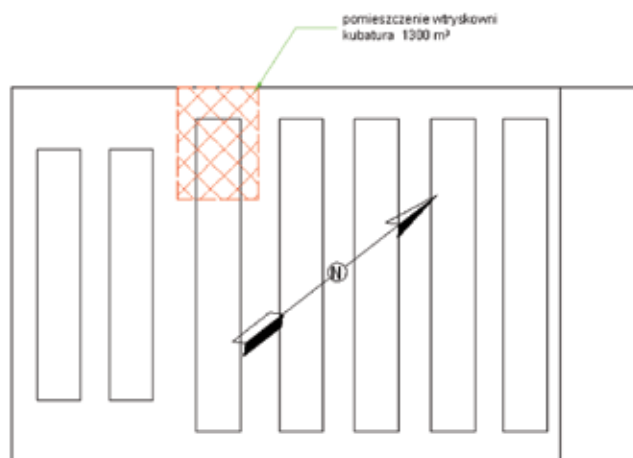
Do wykonania obliczeń przyjęto temperaturę powietrza usuwanego na poziomie  $+20^{\circ}\text{C}$ , która zapewnia komfort ludziom pracującym w hali, natomiast zakładając, że powietrze nawiewane ma za zadanie odebrać zyski ciepła z pomieszczenia, jego temperaturę przyjęto na poziomie  $+18^{\circ}\text{C}$ .

Podstawiając do wzoru wyznaczoną wartość sumarycznych zysków ciepła  $Q_{\text{max}}$ , otrzymano ilość powietrza wentylacyjnego  $V = 170 \text{ m}^3/\text{h}$ .

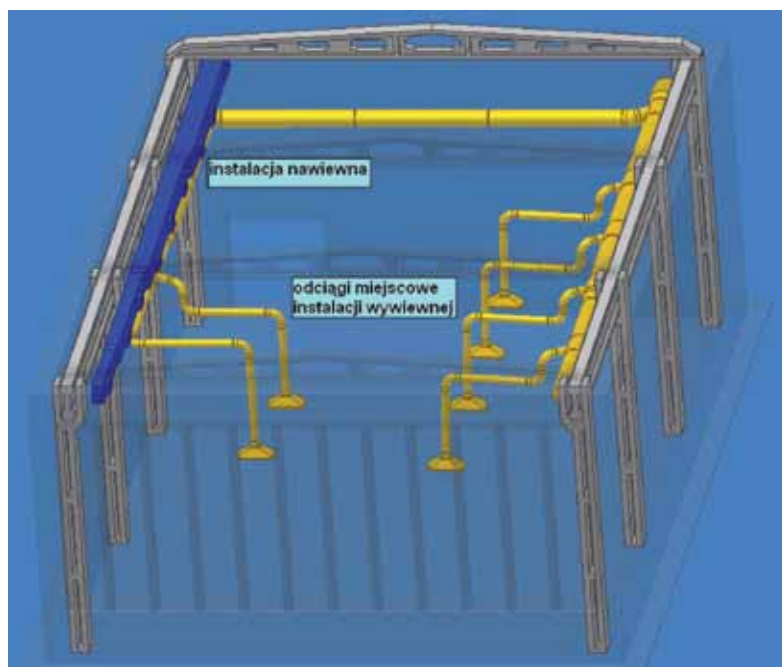
### 4.2 Obliczenie ilości powietrza wentylacyjnego na podstawie wymaganej krotności wymian

Metoda określająca ilość powietrza wentylacyjnego na podstawie krotności wymian jest metodą uproszczoną, nie uwzględniającą obciążenia cieplnego pomieszczeń, ilości przebywających w nich osób, czy stężenia zanieczyszczeń, dlatego służy ona zazwyczaj jako kryterium kontrolne. Korzystając z tej metody, obliczono ilość powietrza wentylacyjnego, które wynosi:  $V = 3\,900 \text{ m}^3/\text{h}$ .

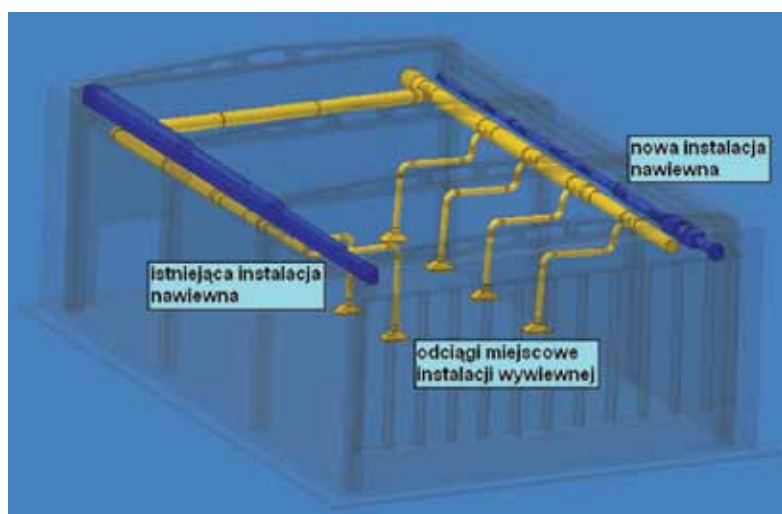
W celu poprawy jakości powietrza w rozpatrywanej hali, dla zwiększenia komfortu pracujących w niej pracowników w okresie letnim, należy obniżyć temperaturę otoczenia poprzez kompensację zysków ciepła dostarczeniem większej ilości powietrza świeżego. Jak wynika z wykonanych obliczeń, największe ilości powietrza wentylacyjnego należy zapewnić w omawianym obiekcie kierując się kryterium wymaganej krotności wymian.



Rys. 4 Schemat usytuowania hali produkcyjnej [10]



Rys. 5 Usytuowanie istniejącej instalacji wentylacji nawiewno-wywiewnej w hali produkcyjnej [10]



Rys. 6 Usytuowanie istniejącej instalacji nawiewno-wywiewnej i zaprojektowanej nawiewnej w hali produkcyjnej [10]

## 5 ZAPROPONOWANE ROZWIĄZANIE DODATKOWEJ INSTALACJI NAWIEWNEJ

Projektowana, dodatkowa instalacja nawiewna poprowadzona zostanie pod stropem hali, na przeciwległej ścianie w odniesieniu do istniejącego systemu wentylacji. Dostarczanie powietrza do pomieszczenia wtryskarek realizowane będzie przez czerpnię zainstalowaną w północno-zachodniej ścianie budynku i dalej tłoczone kanałem do kratak wylotowych.

Wspomagająca instalacja wentylacji nawiewnej pozwoli na dostarczenie do hali produkcyjnej większej niż obecnie ilości świeżego powietrza, co będzie miało bezpośredni wpływ na samopoczucie pracujących w niej ludzi. Dodatkowym atutem zaproponowanego rozwiązania jest możliwość pełnego zarządzania dystrybucją powietrza, zarówno dzięki kierownicom nawiew-

ników nadającym oczekiwany kierunek strumienia, jak i regulowanej prędkości obrotowej wentylatora decydującej o jego wydatku. Ponadto zastosowanie wentylatora kanałowego wraz z niezbędnym wyposażeniem instalacji, zamiast monoblokowej centrali wentylacyjnej, nie powoduje zmniejszenia powierzchni roboczej w pomieszczeniu hali. Usytuowanie projektowanej instalacji nawiewnej na tle istniejącego systemu w hali produkcyjnej pokazano na rysunku 6.

## 6 OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ZAPROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA W PORÓWNIANIU DO SYSTEMÓW WENTYLACJI STOSOWANYCH W ISTNIEJĄCYCH I UŻYTKOWANYCH HALACH PRZEMYSŁOWYCH

Rozpatrywana, istniejąca instalacja wentylacji mechanicznej, została poddana modernizacji w tym opracowaniu, w zakresie dodatkowej magistrali nawiewnej, która przyczyni się do poprawy jakości powietrza, a tym samym warunków pracy.

W halach przemysłowych o podobnym przeznaczeniu i charakterze środowiska pracy, stosuje się zazwyczaj wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną [1]. O sposobie jej realizacji decyduje wiele czynników, takich jak: rodzaj konstrukcji hali, usytuowanie pomieszczenia względem całej hali, kubatura pomieszczenia oraz jego wysokość, a także możliwość współistnienia instalacji wentylacyjnej z całą infrastrukturą obiektu. Uwzględniając powyższe czynniki stosuje się odpowiednie dla danego obiektu rozwiązania ideowe i konstrukcyjno-technologiczne. Począwszy od instalowania pojedynczych, dachowych wentylatorów wyciągowych i ściennych wentylatorów osiowych, przez instalacje z udziałem wentylatorów kanałowych, czy promieniowych dla większych wydatków strumienia powietrza, aż po kompletne systemy oparte o centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne. Urządzenia te, w zależności od ich rodzaju i wielkości, są instalowane bezpośrednio w ciągu kanałów lub usytuowane w oddzielnej maszynowni.

### 6.1 Ocena techniczna

Zaprojektowany system wentylacji nawiewnej, oparty na wentylatorze kanałowym, został zestawiony i porównany z systemem współpracującym z centralą nawiewną (ta-

Tab. 1 Zyski ciepła w hali produkcyjnej dla lipca i godziny 15.00

$Q_{CL}$ od ludzi	$Q_E$ od oświetlenia	$Q_{OK}$ od słońca	$Q_{UE}$ od urz. elektr.	$Q_{max}$
[W]				
<b>1 300</b>	<b>1 400</b>	<b>34 800</b>	<b>71 600</b>	<b>109 100</b>

Tab. 2 Porównanie i ocena techniczna wybranych wariantów systemu wentylacji nawiewnej

Wariant systemu	Charakterystyczne cechy	Ocena	
<b>Wariant 1</b> System wentylacji nawiewnej z wentylatorem kanałowym	<ul style="list-style-type: none"> <li>kompatybilność z zaprojektowaną instalacją kanałów okrągłych</li> <li>instalowany bezpośrednio w ciągu kanałów</li> <li>zwarta budowa minimalizuje wymiar obudowy</li> <li>niewielka masa urządzenia</li> <li>możliwość regulacji prędkości obrotowej</li> <li>konieczność doboru wszystkich elementów oddzielnie dla sekcji nawiewnej</li> <li>łatwy dostęp do serwisowania i możliwość szybkiego demontażu w przypadku awarii</li> </ul>	+	-
	wynik oceny: <b>+5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>Wariant 2</b> System wentylacji z centralą nawiewną	<ul style="list-style-type: none"> <li>konieczność stosowania kanałów o przekroju prostokątnym lub odpowiednich redukcji</li> <li>możliwość montażu urządzenia w dowolnej pozycji</li> <li>jedna obudowa zawierająca niezbędny osprzęt</li> <li>znaczna masa urządzenia</li> <li>utrudniony demontaż w przypadku awarii</li> <li>system automatycznej regulacji z możliwością programowania tygodniowego</li> <li>łatwy dostęp do serwisowania dzięki drzwiom rewizyjnym umieszczonym od spodu urządzenia</li> </ul>	+	-
	wynik oceny: <b>+1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Tab. 3 Koszty eksploatacji w zależności od rocznego obciążenia systemu i rodzaju nagrzewnicy

Wariantowe obciążenie systemu	Obciążenie systemu [rbg/rok]		
	A 3840	B 1600	
	PLN / o.r.		
	z nagrzewnicą elektryczną	z nagrzewnicą wodną	bez nagrzewnicy
Koszty eksploatacji instalacji nawiewnej	<b>6 643,00</b>	<b>2 150,00</b>	<b>896,00</b>

bela 2). Z uwagi na brak powierzchni w analizowanej hali, jaką można by przeznaczyć na posadowienie urządzenia stacjonarnego, wybrano jednostkę podwieszaną, montowaną w ciągu kanałów.

## 6.2 Ocena ekonomiczna

Projektowana instalacja wentylacji nawiewnej pełnić będzie rolę systemu wspomagającego dla istniejącej wentylacji w rozpatrywanej hali produkcyjnej.

Dokonując analizy ekonomicznej nowej instalacji, należy wyodrębnić jednorazowy koszt zakupu urządzeń wraz z ich niezbędnymi elementami oraz koszty stałe, związane z eksploatacją systemu w ciągu roku. Koszt modernizacji

wentylacji nawiewnej za pomocą **Wariantu 1** (z wykorzystaniem wentylatora kanałowego), obejmujący zakup urządzeń i armatury niezbędnej do ich prawidłowego funkcjonowania wynosi **17 950,00 zł**, natomiast koszt wg **Wariantu 2** wynosi **22 250,00 zł**. W powyższej kwocie nie uwzględniono kosztów związanych z elementami montażowymi, ani kosztów montażu instalacji.

W związku z tym że projektowana instalacja nawiewna będzie dodatkową inwestycją, która nie zastąpi dotychczasowych urządzeń lecz je uzupełni, nie będzie miało miejsca szacowanie okresu zwrotu poniesionych nakładów. Jak wynika z tabeli 2 system oparty na wentylatorze kanałowym jest rozwiązaniem lepszym dla rozpatrywanej hali pod

względem większej dowolności w kompilowaniu podstawowych jego elementów. Ponieważ rozpatrywany obiekt posiada przeznaczenie przemysłowe, najprostsze rozwiązanie będzie najlepszym i najtańszym, jak pokazane to zostało w tabeli 3, dlatego wariant systemu z centralą nawiewną nie zostanie uwzględniony w analizie kosztów eksploatacji.

#### ❖ Koszty eksploatacji

Produkcja w omawianym zakładzie przebiega w przeważającym stopniu wg systemu dwuzmianowego, pięciodniowego tygodnia pracy, od poniedziałku do piątku. Z uwagi na fakt, że projektowana instalacja nawiewna ma pełnić rolę systemu wspomagającego, szczególnie w okresie letnim, analizę wykonano dla dwóch wariantów obciążenia. **Wariant A** – obciążenie całoroczne wynoszące **3840 rbg/rok** i **Wariant B** – obciążenie w miesiącach o wyższych temperaturach zewnętrznych, od maja do września, to jest **1600 rbg/rok**.

Koszty eksploatacji wspomagającej instalacji nawiewnej, w zależności od jej obciążenia w ciągu roku kształtują się, jak podano w tabeli 3:

- dla **Wariantu A** (całorocznego obciążenia systemu) – **6 643,00 zł**,
- dla **Wariantu B** (pięciomiesięcznego obciążenia systemu) – **896,00 zł**.

**Dla całorocznego wariantu pracy instalacji, w powyższej analizie uwzględniono dodatkowo koszt energii elektrycznej pobieranej przez nagrzewnicę wg danych technicznych, przy czym założono, że pobór energii przez nagrzewnicę stanowi 0,65 jej mocy.**

Jak wynika z tabeli 3, w przypadku zaistnienia potrzeby eksploataowania analizowanej instalacji przez cały rok, należy liczyć się z kilkakrotnie większymi kosztami stałymi, niż w przypadku jej wykorzystania w okresie tylko pięciu miesięcy. Wiąże się to przede wszystkim z pobieraną przez nagrzewnicę energią elektryczną. W związku z tym nasuwa się wnioski o rozważenie słuszności stosowania nagrzewnicy elektrycznej, chociaż na pierwszy rzut oka jest to urządzenie wygodne w zastosowaniu i bezobsługowe, w przeciwieństwie do wersji wodnej, w której należy zapewnić zasilanie medium grzewczego ze źródła ciepła o odpowiednich parametrach, a także dbać o jej wymiennik.

#### ❖ Odzysk ciepła

W omawianym zakładzie produkcyjnym istnieje możliwość zagospodarowania energii odpadowej, pochodzącej z procesu chłodzenia oleju hydraulicznego wtryskarek do podgrzania nawiewanego powietrza wentylacyjnego w okresie niskich temperatur zewnętrznych. Przeprowadzona analiza [3] wykazała, że możliwa do odprowadzenia ilość ciepła od oleju hydraulicznego w obiegu wtryskarek wynosi **12 751 kJ**, dzięki czemu możliwa do uzyskania ilość ciepłej wody w przypadku odzysku ciepła wyniesie **65 litrów/h**. Odzyskane w ten sposób ciepło, chociaż o nieco niższych parametrach, niż wymagane, ponieważ temperatura oleju wynosi 45 – 50°C, obniży koszt eksploatacji wentylacji nawiewnej

do **2 150,00 zł**, to jest aż o prawie **4 500,00 zł rocznie**.

## PODSUMOWANIE

W ramach modernizacji systemu wentylacji rozpatrywanego obiektu przemysłowego na szczególną uwagę zasługują zagadnienia związane z miejscową emisją ciepła i substancji lotnych, związanych z procesem technologicznym, zawarte w § 148.4 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury oraz w § 34 Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej.

Na podstawie przeprowadzonego bilansu cieplnego oszacowano ilość powietrza wentylacyjnego. Okazało się, że największe jego ilości należy zapewnić w omawianym obiekcie kierując się kryterium wymaganej krotności wymian. Rozpatrywany zakład przemysłowy jest wyposażony w istniejącą instalację wentylacji nawiewno-wywiewnej, która spełnia wymagania prowadzonego tam procesu technologicznego. Projektowana dodatkowa magistrala nawiewna stanowić ma układ wspomagający, który wpłynie na poprawę jakości powietrza. Zaproponowano rozwiązanie najprostsze, uwzględniające czerpanie świeżego powietrza przez czerpnię umieszczoną w ścianie budynku oraz jego dystrybucję za pomocą wentylatora kanałowego i dalej kanałem okrągłym typu spiro z zainstalowanymi bezpośrednio na nim kratkami nawiewnymi. W przeprowadzonej analizie ekonomicznej, porównanie kosztów inwestycyjnych tego rozwiązania i instalacji wyposażonej w centralę nawiewną, wykazało znaczne różnice na korzyść elementów modułowych. Dodatkowym, niezwykle istotnym atutem tego systemu są niskie koszty eksploatacji, szczególnie w okresie letnim, dla którego system zostanie zmodernizowany.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Szymański T., Wasiluk W.: Systemy wentylacji przemysłowej. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001
- [2] Zabiegała B., Partyka M., Namieśnik J.: Jakość powietrza wewnętrznego, analityka i monitoring. Katedra Chemii Analitycznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2009
- [3] Milewski P.: Projekt modernizacji systemu chłodzenia wtryskarek zainstalowanych na linii technologicznej przetwórstwa tworzyw sztucznych pod kątem podwyższenia efektywności energetycznej jego działania. „TCHK”, 2009, nr 8 i 10
- [4] Bogdan A.: Jakość powietrza w miejscu pracy. „Chłodnictwo & Klimatyzacja”, 2007, nr 10
- [5] Dz.U.03.153.1504. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne
- [6] Dz.U.05.100.835. Ustawa z dnia 6 maja 2005 r. o zmianie ustawy o ochronie przeciwpożarowej
- [7] Dz.U.07.191.1373. Ustawa z dnia 19 września 2007 r. o zmianie ustawy - Prawo budowlane
- [8] Dz.U.97.133.885. Ustawa z dnia 29 sierpnia 1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska oraz o zmianie niektórych ustaw
- [9] PN-78/B-03421. Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi
- [10] Dokumentacja wewnętrzna analizowanej linii technologicznej
- [11] Systemair. Wentylacja - materiały pomocnicze
- [12] [www.lex.pl/dziennik-ustaw](http://www.lex.pl/dziennik-ustaw)



