



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki
Odnawialnej

Kierunek studiów:
Odnawialne Źródła Energii

Ewa Zender – Świercz

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

WENTYLACJA POŻAROWA I PRZEMYSŁOWA

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23



Spis treści

1. Wentylacja pożarowa	3
1.1. Zagrożenia w przypadku wystąpienia pożaru.....	3
1.2. Systemy wentylacji pożarowej.....	6
1.3. Przykład rozwiązania systemu grawitacyjnej wentylacji pożarowej.....	7
2. Wentylacja przemysłowa	13
2.1. Zanieczyszczenia w obiektach przemysłowych i wynikające z nich zagrożenia	13
2.2. Charakterystyka instalacji przemysłowych	15
2.3. Zadania z zakresu wentylacji przemysłowej.....	25
Spis literatury	29



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>





Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



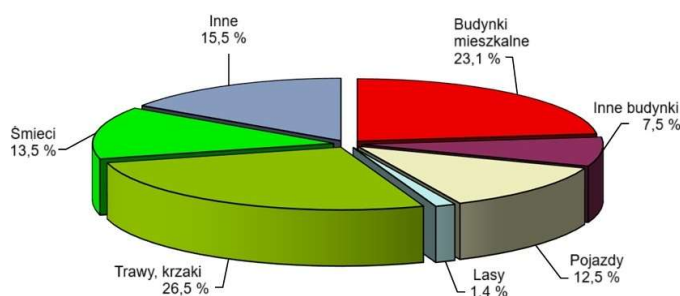


1. Wentylacja pożarowa

Pożar stanowi zagrożenie dla konstrukcji budynku, jego wyposażenia, a przede wszystkim dla zdrowia i życia użytkowników. Istotne jest, aby pożar został wykryty w jak najkrótszym czasie i na jak najwcześniejszym etapie. Umożliwi to ewakuację ludzi, uruchomienie automatycznych systemów gaśniczych oraz skróci czas interwencji straży pożarnej.

1.1. Zagrożenia w przypadku wystąpienia pożaru

Według szacunków 90 % (Brändli i inni, 2018) zgonów związanych z pożarami powoduje dym – wdychanie toksycznych gazów, a nie sam ogień. Światowe Centrum Statystyki Pożarów CTIF (World Fire Statistics Center) gromadzi dane z pożarów na całym świecie. Rysunek 1 przedstawia rozkład pożarów według miejsca powstania w 36 krajach. Około 30,7% wszystkich pożarów ma miejsce w budynkach (23,1% w budynkach mieszkalnych i 7,5% innych budynkach). Analizując dane, należy pamiętać, że różne kraje mają własne zasady rejestrowania pożarów dla przedstawionych kategorii.

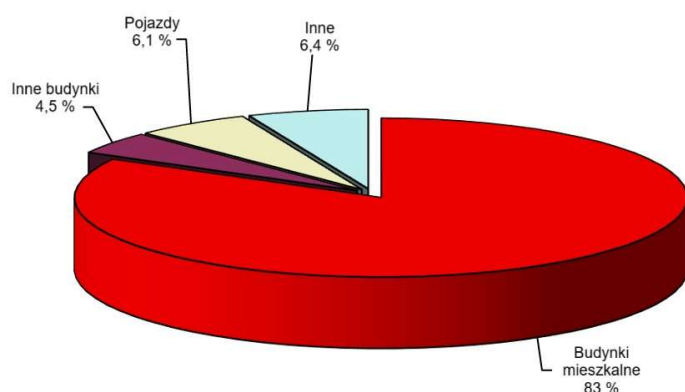


Tekst alternatywny. Wykres kołowy z procentowymi wartościami udziału typów obiektów objętych pożarem. Kolorem czerwonym oznaczone są budynki mieszkalne, fioletowym – inne budynki, szarym – pojazdy, jasnoniebieskim – lasy, ciemniejszym zielonym – trawy i krzaki, zielonym – śmieci, ciemnoniebieskim – inne.

Rys. 1 Podział pożarów według typów w roku 2022 (CTIF 2024_Nr 29 tłumaczenie własne)

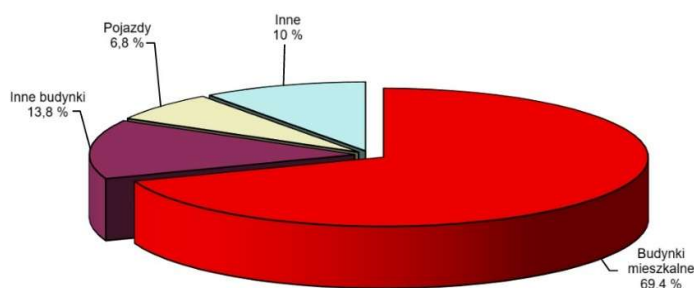
Na rysunkach 2-3 przedstawiono rozkład zabitych i rannych w pożarach według miejsca ich powstania. Dane te pokazują, że 83 % wszystkich zgonów i 69,3 % wszystkich obrażeń ma miejsce w budynkach mieszkalnych. Z kolei Rysunek 4 pokazuje, że najwięcej zgonów z powodu pożarów na 100 tysięcy osób ma miejsce w Rosji, na Białorusi i Ukrainie. Polska zajmuje w tym rankingu 15-te miejsce. Uwzględniając ogólne dane światowe średnia liczba śmiertelnych ofiar pożarów na 100 000 mieszkańców wynosi 0,7 (linia czerwona).





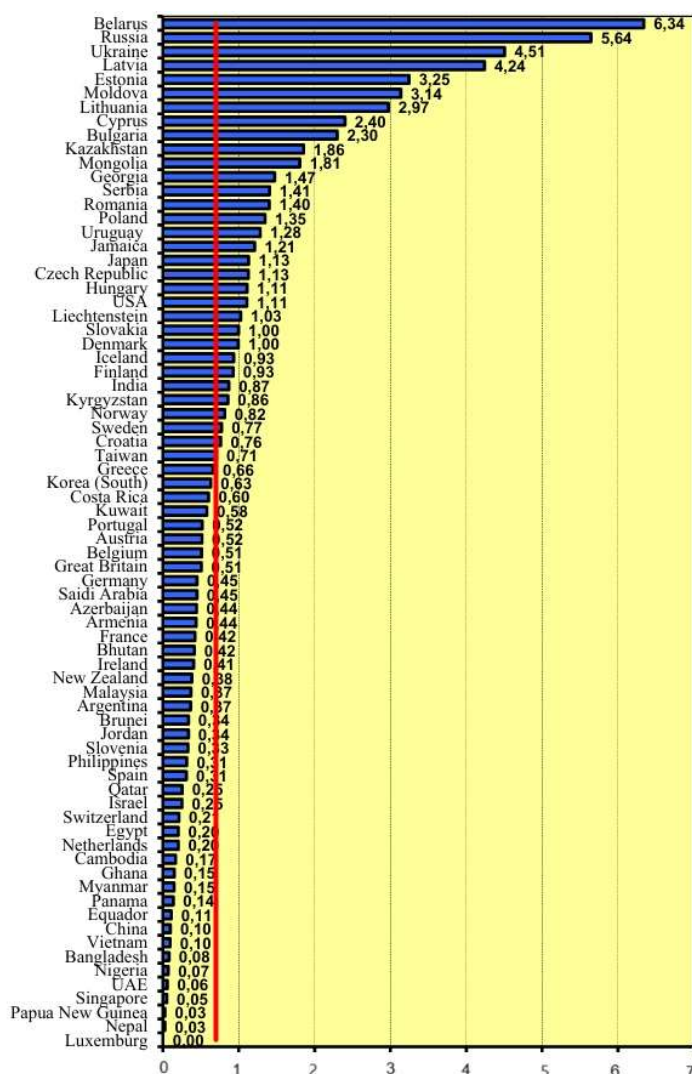
Tekst alternatywny. Wykres kołowy z procentowymi wartościami udziału zabitych w pożarach według miejsca ich powstania. Kolorem czerwonym oznaczone są budynki mieszkalne, fioletowym – inne budynki, szarym – pojazdy, niebieskim – inne.

Rys. 2 Rozkład udziału zabitych w pożarach według miejsca ich powstania w roku 2022 (CTIF 2024_Nr 29 tłumaczenie własne)



Tekst alternatywny. Wykres kołowy z procentowymi wartościami udziału rannych w pożarach według miejsca ich powstania. Kolorem czerwonym oznaczone są budynki mieszkalne, fioletowym – inne budynki, szarym – pojazdy, niebieskim – inne.

Rys. 3 Rozkład udziału rannych w pożarach według miejsca ich powstania w roku 2022 (CTIF 2024_Nr 29 tłumaczenie własne)



Tekst alternatywny. Wykres słupkowy z wartościami średnimi liczby śmiertelnych ofiar pożarów na 100 000 mieszkańców. Opis osi X – kolejne wartości średnie 0-7, opis osi Y – nazwy krajów (w języku angielskim). Na wykresie znajdują się słupki w kolorze niebieskim z wartościami, których wysokość określa średnią liczbę śmiertelnych ofiar pożarów na 100 000 mieszkańców w latach 2018-2022. Linia w kolorze czerwonym oznaczono średnią liczbę śmiertelnych ofiar pożarów na 100 000 mieszkańców.

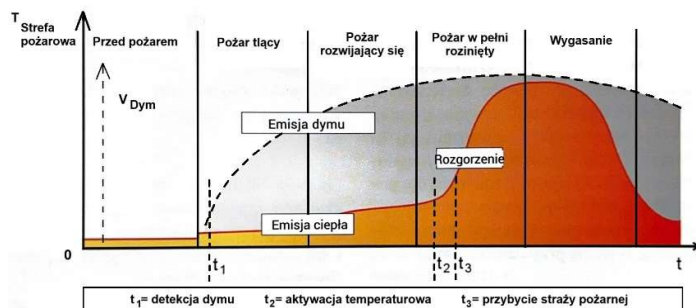
Rys. 4 Średnia liczba ofiar śmiertelnych pożarów na 100 000 mieszkańców w latach 2018 – 2022 (CTIF 2024_Nr 29)

Przedstawione statystyki uwzględniają ofiary odnalezione martwe na miejscu pożaru. Nie zostały ujęte w zestawieniach osoby, które zmarły w szpitalach na skutek odniesionych obrażeń. Oznacza to, iż liczby te mogą być w rzeczywistości większe. Przytoczone dane pokazują jak istotne jest zabezpieczanie obiektów budowlanych przed wystąpieniem pożarów, a w przypadku ich zaistnienia umożliwienie szybkiej interwencji.



1.2. Systemy wentylacji pożarowej

Rozwijający się pożar można podzielić na etapy (Rysunek 5). Pierwszy to spalanie bezpłomieniowe mogące trwać niezauważenie przez dłuższy czas, drugi tlenie, trzeci rozwój pożaru, czwarty pożar w pełni rozwinięty, w którym osiągnięta jest maksymalna temperatura. Ostatnim etapem jest faza wygaszania. Istotne parametry dla systemu reagowania na zaistnienie pożaru to czas t_1 , w którym czujniki dymowe są w stanie wykryć pożar, czas t_2 – moment, w którym pożar przechodzi do fazy pełnego rozwoju (wówczas włączane są urządzenia aktywowane termicznie) oraz czas t_3 – moment przybycia straży pożarnej.

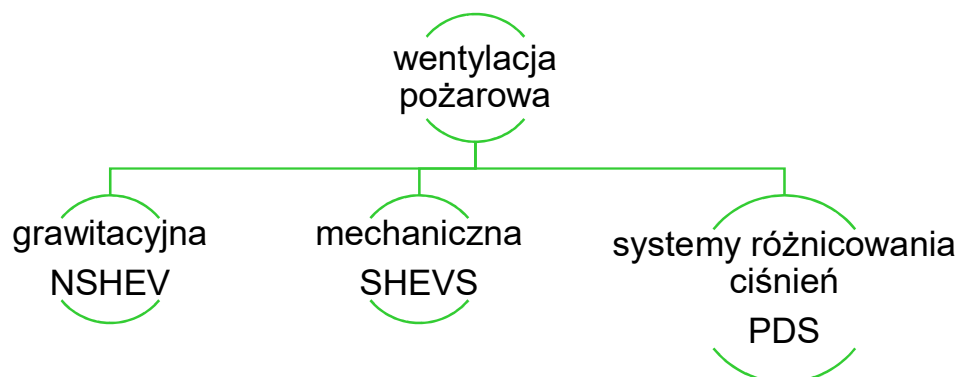


Tekst alternatywny.

Wizualizacja rozwoju pożaru z podziałem na etapy. Opis osi X – czas trwania pożaru, opis osi Y oznaczony linią ciągłą – temperatura, opis osi Y oznaczony linią przerywaną – objętość warstwy dymu. Obszar szary oznacza dym, obszar czerwony – rozwój pożaru.

Rys. 5 Fazy pożaru (na podstawie Brändli i inni, 2018)

Zadaniem wentylacji pożarowej jest utworzenie przy podłodze warstwy wolnej od dymu celem umożliwienia sprawnej ewakuacji i przeprowadzenia akcji gaśniczej. Stąd podstawową funkcją instalacji jest usuwanie dymu i doprowadzanie świeżego powietrza. Celem realizacji tych funkcji stosowane są różne systemy wentylacji pożarowej (Rys. 6). Systemy PDS są możliwe i odpowiednie na każdym etapie rozwoju pożaru. Systemy SHEVS są szczególnie odpowiednie dla początkowych faz rozwoju pożaru i potencjalnie możliwe do wykorzystania przez pozostały czas rozwoju pożaru. Systemy NSHEV są niemożliwe do zastosowania w początkowych fazach, pod koniec etapu rozwoju pożaru są odpowiednie i możliwe do zastosowania (Brändli i inni, 2018). Dodatkowo straż pożarna wykorzystuje przenośne wentylatory.



Rys. 6 Podział systemów wentylacji pożarowej

1.3. Przykład rozwiązania systemu grawitacyjnej wentylacji pożarowej

Celem zadania projektowego jest określenie powierzchni geometrycznej oraz liczby klap dymowych z rozmieszczeniem ich na dachu budynku. Podstawą projektowania grawitacyjnych instalacji wentylacji pożarowej jest norma PN-B-02877-4:2001 z załącznikiem PN-B-02877-4:2001/Az1:2006 oraz PN-B-02852:2001.

Klapy dymowe stosuje się w celu odprowadzenia dymu i ciepła w pomieszczenia objętego pożarem. Powierzchnia czynna klap dymowych A_{cz} zależy od pożądanej wysokości warstwy wolnej od dymu d oraz grupy projektowej GP , do której zaliczane jest pomieszczenie.

Dane, dla których projektowane są klapy dymowe w prezentowanym przykładzie:

- typ pomieszczenia: pomieszczenie magazynowe, w którym składowane jest mleko w szklanych butelkach na drewnianych paletach
- dach płaski o nachyleniu $< 12^\circ$
- wymiary pomieszczenia:
 - $A = 20 \text{ m}$
 - $B = 30 \text{ m}$
 - $H = 4 \text{ m}$ (wysokość w świetle)
- wysokość kurtyny dymowej
 - $h_k = 1,5 \text{ m}$
- instalacja sygnalizacji pożarowej: brak

1. Sprawdzenie powierzchni przestrzeni poddachowej A_R .

Na podstawie wzoru 1 oblicza się powierzchnię przestrzeni poddachowej na podstawie wymiarów pomieszczenia magazynowego $A \times B$ (m) sprawdzając warunek wielkości powierzchni.





$$A_R = A \cdot B [m^2] < 1600 m^2 \quad (1)$$

$$A_R = 20 \cdot 30 = 600 [m^2] < 1600 m^2$$

2. Obliczenie obciążenia ogniowego Q_d

W przypadku pomieszczeń magazynowych istotne jest obliczenie obciążenia ogniowego (wzór 2) na podstawie ciepła spalania poszczególnych materiałów Q_{cl} ($MJ \cdot kg^{-1}$), masy poszczególnych materiałów G_i (kg) oraz powierzchni rzutu poziomego pomieszczenia, strefy pożarowej lub składowiska F (m^2).

$$Q_d = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(Q_{cl} \cdot G_i)}{F} \left[\frac{MJ}{m^2} \right] \quad (2)$$

$Q_{cl} = 2,2 MJ \cdot kg^{-1}$ (ToolBox 2022)

$G_i = 1296 kg$

$F = A_r = 600 m^2$

$$Q_d = \frac{(2,2 \cdot 1296)}{600} = 4752 \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$$

3. Obliczenie pożądanej wysokości warstwy wolnej od dymu d .

Dla $A_R < 1600 m^2$ i $h_k < H$, na podstawie wzoru 3, oblicza się wysokość warstwy wolnej od dymu.

$$d = H - h_k [m] \quad (3)$$

$$d = 4 - 1,5 = 2,5 [m]$$

4. Określenie obliczeniowego czasu oddymiania t_0

Dla pomieszczenia magazynowego czas oddymiania jest przewidywanym okresem rozwoju pożaru t_r , czyli okresem od momentu powstania pożaru do czasu rozpoczęcia akcji gaśniczej. Składa się z określanych zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001: czasu alarmowania t_1 oraz czasu dojazdu straży pożarnej t_2 (wzór 4).

$$t_0 = t_1 + t_2 [min] \quad (4)$$

$t_1 = 5 min$ przy braku instalacji sygnalizacji pożarowej

$t_2 = 10 min$

$$t_0 = 5 + 10 = 15 [min]$$



5. Określenie całkowitego czasu ewakuacji t_{ce}

Całkowity czas ewakuacji jest okresem od momentu powstania pożaru do czasu zakończenia ewakuacji. Składa się z określanych zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001: czasu zwłoki t_z oraz czasu ewakuacji t_e (wzór 5).

$$t_{ce} = t_z + t_e [\text{min}] \quad (5)$$

$t_z = 5$ min przy braku instalacji sygnalizacji pożarowej

$t_e = 15$ min

$$t_{ce} = 5 + 15 = 20 [\text{min}]$$

6. Określenie grupy projektowej GP

Na podstawie rodzaju magazynowanych produktów oraz opakowań zgodnie z Tablicą 5 w normie PN-B-02877-4:2001 odczytano szybkość rozprzestrzeniania się pożaru P_{rp} – średnia.

Dla $t_0 = 15$ min oraz P_{rp} = średnia z Tablicy 2 w normie PN-B-02877-4:2001 odczytano GP = 4.

7. Obliczenie powierzchni czynnej klap dymowych A_{cz}

Powierzchnię czynną klap dymowych określa się względem powierzchni poddachowej A_R na podstawie wzoru 6 dla odczytanego z Tablicy 3 w normie PN-B-02877-4:2001 wskaźnika procentowego powierzchni czynnej klap dymowych α .

$$A_{cz} = \alpha \cdot A_R [m^2] \quad (6)$$

$\alpha = 1,3$ % dla $d = 0,63$ H oraz GP = 4

$$A_{cz} = 1,3 \% \cdot 600 = 7,80 [m^2]$$

8. Obliczenie powierzchni geometrycznej klap dymowych A_g

Wymaganą powierzchnię geometryczną klap dymowych należy odnieść do wymaganej powierzchni czynnej (wzór 7) uwzględniając bezwymiarowy aerodynamiczny współczynnik przepływu klap dymowych c_v .

$$A_g = \frac{A_{cz}}{c_v} [m^2] \quad (7)$$

$c_v = 0,6$ zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001



$$A_g = \frac{7,80}{0,6} = 13[m^2]$$

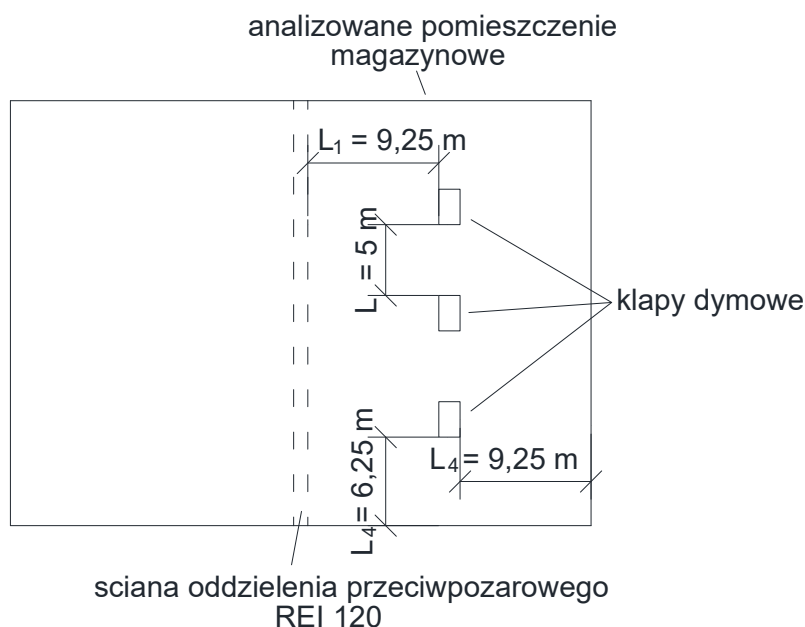
9. Liczba klap dymowych n i ich dobór

Liczba klap dymowych zależy od nachylenia dachu. Dla nachylenia $\leq 12^\circ$ przyjmuje się minimum jedną klapę na każde 200 m² powierzchni dachu. Dla powierzchni $A_R = 600$ m² wymagana liczba klap wyniesie 3. Na podstawie wymaganej powierzchni czynnej oraz liczby klap z katalogu producenta dobiera się klapy. Przykładowa klapa oddymiająca o powierzchni czynnej 2,66 m² ma wymiary 1,5 x 2,5 m i spełnia wymagania określone w projekcie.

10. Rozmieszczenie klap dymowych na dachu

Klapy rozmieszcza się z uwzględnieniem minimalnych odległości od ścian zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001 oraz załącznikiem PN-B-02877-4:2001/Az1:2006.

Na rysunku 7 przedstawiono schemat rozmieszczenia dobranych klap o wymiarach 1,5 x 2,5 m z odległościami od przegród otaczających pomieszczenia. Klapy rozmieszczono równomiernie z zachowaniem wymaganych odległości.



Tekst alternatywny.
Rozmieszczenie klap dymowych na dachu analizowanego pomieszczenia. Klapy umieszczono w odległości od ściany oddzielenia przeciwpożarowego REI 120 $L_1 = 9,25$ m, w odległości od ścian zewnętrznych $L_4 = 9,25$ m oraz $L_4 = 6,25$ m. Odległość pomiędzy klapami wynosi $L = 5$ m.

Rys. 7 Rozmieszczenie klap dymowych na dachu budynku; L_1 – odległość od ściany oddzielenia przeciwpożarowego, L_4 – odległość od ściany zewnętrznej, L – odległość pomiędzy klapami.



11. Opracowanie karty obliczeniowej zgodnie z normą PN-B-02877-4:2001

Kartę wypełnia się w punktach, których dotyczy projekt. W przykładzie obliczeniowym są to punkty: Dane ogólne, Charakterystyka obiektu, Obliczenia 1, 2a, 3, 5 i 6.

**KARTA OBLICZENIOWA WYMAGANEJ POWIERZCHNI CZYNNEJ
KLAP DYMOWYCH A_{cz}**

DANE OGÓLNE

Nazwa i adres instytucji: MlekDam, ul. Kwiatowa 4, 25 – 332 Kielce
 Przeznaczenie pomieszczenia: pomieszczenie magazynowe, w którym składowane jest mleko w szklanych butelkach na drewnianych paletach
 Kategoria zagrożenia ludzi: PM, obciążenie ogniowe $4752 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2$
 Nazwa i adres jednostki projektowania: WenPo, ul. Liściasta 52, 25 – 322 Kielce
 Nazwa projektu: Mag.MI. 01
 Projektant: Jan Nowak
 Rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych: Krystyna Kwiatkowska

CHARAKTERYSTYKA BUDYNKU

Długość 20 m; Szerokość 30 m;
 Powierzchnia 600 m^2 ;
 Wysokość pomieszczenia H 4 m;
 Nachylenie dachu 17 %;
 Kurtyna dymowa ☒ tak, ☐ nie;
 Wysokość kurtyny dymowej h_k 1,5 m;
 Tryskacze ☐ tak, ☒ nie;
 Sygnalizacja pożaru: ☐ tak, ☒ nie;
 Zakładowa Straż Pożarna ☐ tak, ☒ nie;
 Czas dojazdu t_2 10 min;
 Szybkość rozprzestrzeniania się pożaru P_{rp} :
☐ szczególnie mała, ☒ średnia, ☐ szczególnie duża.

OBLICZENIA

- Przewidywany okres rozwoju pożaru t_r = czas alarmowania t_1 + czas dojazdu t_2
 $t_r = 5 + 10 = 15 \text{ min.}$
 wg tablicy 2: grupa projektowa GP 4
- Wskaźnik udziału procentowego wymaganej powierzchni czynnej α w %
 - Bez czynnika korekcyjnego
 Jeżeli powierzchnia przestrzeni poddachowej $A_R \leq 1 \cdot 600 \text{ m}^2$ i kurtyna dymowa $h_k \geq 0,5 H$
 $\rightarrow$ przyjmuje się $d = 0,5 H$
 Jeżeli powierzchnia przestrzeni poddachowej $A_R \leq 1 \cdot 600 \text{ m}^2$ i kurtyna dymowa $h_k < 0,5 H$
 $\rightarrow$ przyjmuje się $d = H - h_k = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ m}$ $0,5 H \div 0,9 H = 2 \div 3,6$
 Dla przyjętej wysokości d z tablicy 2 przyjmuje się GP 4, a z tablicy 3 określa się $\alpha = 1,3 \%$





b) Z czynnikiem korekcyjnym

- Jeżeli powierzchnia przestrzeni dachowej $A_R > 1600 \text{ m}^2$, a kurtyna dymowa $h_k \geq 0,5 H$, to:

$$d_{skor} = 0,5 \cdot H + 0,25 \cdot H \cdot \frac{A_R - 1600}{1600}$$

$$d_{skor} = 0,5 \cdot \dots + 0,25 \cdot \dots \cdot \frac{\dots - 1600}{1600} = \dots + \dots = \dots \text{ m}$$

Dla przyjętej wysokości d z tabelicy 2 przyjmuje się GP ..., a z tabelicy 3 określa się $\alpha = \dots \%$

- Jeżeli powierzchnia przestrzeni dachowej $A_R > 1600 \text{ m}^2$, a kurtyna dymowa $h_k < 0,5 H$, to przyjmuje się $d = H - h_k$, wówczas:

$$d_{skor} = d + 0,25 \cdot H \cdot \frac{A_R - 1600}{1600}$$

$$d_{skor} = d + 0,25 \cdot \dots \cdot \frac{\dots - 1600}{1600} = \dots + \dots = \dots \text{ m}$$

Dla przyjętej wysokości d z tabelicy 2 przyjmuje się GP ..., a z tabelicy 3 określa się $\alpha = \dots \%$

3. Wymagana czynna powierzchnia całkowita klap dymowych A_{cz}

$$A_{cz} = \alpha \cdot A_R = 1,3 \cdot 600 = 7,8 \text{ m}^2$$

4. Wymagana powierzchnia czynna klap dymowych w pomieszczeniach specjalnych:

- a) Klatki schodowe $\alpha = 5 \%$, $F = \dots \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = 5 \% \cdot F = \dots \text{ m}^2$

w budynkach niskich i średniowysokich $A_{cz} \geq 1 \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = \dots \text{ m}^2$

w budynkach wysokich $F \geq 1,5 \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = \dots \text{ m}^2$

- b) Szyby dźwigów $\alpha = 2,5 \%$, $F = \dots \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = 2,5 \% \cdot F = \dots \text{ m}^2$

$A_{cz} \geq 0,5 \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = \dots \text{ m}^2$

- c) Sale zbiorowego użytku $\alpha = 3 \%$, $F = \dots \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = 3 \% \cdot F = \dots \text{ m}^2$

- d) Sceny teatralne

□ Powierzchnia podłogi pudła sceny $F \leq 150 \text{ m}^2$

$\alpha = 3 \%$, $F = \dots \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = 3 \% \cdot F = \dots \text{ m}^2$

□ Powierzchnia podłogi pudła sceny $F > 150 \text{ m}^2$

$F = \dots \text{ m}^2 \rightarrow A_{cz} = 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot F - 100} = \dots \text{ m}^2$

- e) Magazyny wysokiego składowania $\alpha = 3 \%$, $F = \dots \text{ m}^2$

$\rightarrow A_{cz} = 3 \% \cdot F = \dots \text{ m}^2$

- f) Pasaże $A_{cz} = \dots \text{ m}^2$

- g) Poziome drogi ewakuacyjne $A_{cz} = \dots \text{ m}^2$

5. Obliczenie powierzchni geometrycznej klap dymowych A_g

Aerodynamiczny współczynnik przepływu klap dymowych $c_v = 0,6$

$$A_g = \frac{A_{cz}}{c_v} = \frac{7,8}{0,6} = 13 [\text{m}^2]$$

6. Minimalna liczba klap dymowych n :

- Nachylenie dachu $\leq 12^\circ \rightarrow n = A_R / 200 = 600 / 200 = 3 \text{ szt.}$

Nachylenie dachu $> 12^\circ \rightarrow n = A_R / 400 = \dots / 400 = \dots \text{ szt.}$

Podpis projektanta:

Jan Nowak

.....





2. Wentylacja przemysłowa

Wentylacja przemysłowa obejmuje systemy i układy, których zadaniem jest usuwanie zanieczyszczeń charakterystycznych dla technologii w danym obiekcie budowlanym. Od specyfiki realizowanych w budynku prac będzie zależało jakie parametry charakteryzują zanieczyszczenia. Jaki jest kształt poszczególnych ziaren, gęstość oraz ich energia. Wszystkie te cechy będą wpływały na czas unoszenia się zanieczyszczeń w powietrzu zanim, pod wpływem siły ciężkości, osiągną stan spoczynku. W przypadku gazów i par istotnym parametrem będzie ich gęstość. Przy gęstości mniejszej od powietrza będą unosić się do góry, przy większej opadać. Dodatkowo istotnym parametrem jest ich temperatura i rozszerzalność cieplna, która wpływać może na zmiany gęstości pod wpływem mieszania gazów i par z chłodniejszym lub cieplejszym powietrzem. Co z kolei oznacza ryzyko zmienności gęstości w czasie. Dodatkowo podczas projektowania instalacji wentylacji przemysłowej należy brać pod uwagę nierównomierność rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń zarówno w pionie, jak i poziomie w obrębie przestrzeni pomieszczenia.

2.1. Zanieczyszczenia w obiektach przemysłowych i wynikające z nich zagrożenia

Szkodliwe gazy o właściwościach wpływających negatywnie na organizm człowieka można podzielić na trujące, duszące, drażniące i narkotyzujące.

Pary są do siebie podobne, poza parami rtęci. Są to zazwyczaj węglowodory, alkohole, estry i ich pochodne. Charakterystyczną cechą par jest łatwość wrzenia oraz intensywność parowania (nawet w temperaturze pokojowej). Pary metali powstają w wysokich temperaturach tworząc tlenki metali. Wyjątek stanowi rtęć parująca w temperaturze pokojowej. Pary przy projektowaniu wentylacji przemysłowej należy traktować jako aerozol złożony z tlenków metali i drobnych ziaren metali.

Źródłem szkodliwych gazów i par mogą być nieszczelności aparatury i przewodów, a także powierzchnie swobodne różnych zbiorników.

Pyły przemysłowe są zanieczyszczeniem różniącym się pod względem składu, własności, sposobu wydobywania się oraz oddziaływania na organizm człowieka. W budynkach przemysłowych występuje zjawisko pylenia, które należy rozumieć jako proces mechaniczny lub fizyczny powodujący zawieszenie pyłu w powietrzu tworzące obłok pyłu. Pylenie może być jedno- lub wielokierunkowe, a jego zdefiniowanie będzie mieć znaczenie dla prawidłowego doboru systemu wentylacji usuwającego zanieczyszczenia. Dlatego niezwykle istotna jest współpraca projektanta instalacji z technologiem zakładu przemysłowego.

W Polsce ustalone są wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy zgodnie z Dz.U.2018.1286. Na podstawie określonych w Rozporządzeniu wartości maksymalnych możliwe jest określenie wymaganej ilości

Strona 13 z 30





powietrza wentylacyjnego do rozcieńczenia zanieczyszczeń, do wartości akceptowalnej.

Ustawodawca (Dz.U.2018.1286) definiuje najwyższe dopuszczalne stężenia czynników szkodliwych dla zdrowia, jako:

„1) najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) - wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. - Kodeks pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń;

2) najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) - wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina;

3) najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDSP) - wartość stężenia, która ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie.”

Obowiązek wykonania badań i pomiarów czynnika szkodliwego dla zdrowia w środowisku pracy spoczywa na pracodawcy zgodnie z Dz.U.2005.73.645.

Szczególnym zagrożeniem związanym z zanieczyszczeniami występującymi w przemyśle jest niebezpieczeństwo wystąpienia pożaru lub wybuchu. Wybuch mogą spowodować nie tylko pyły palne, ale również pyły materiałów niepalnych, jak np. pyły żelaza. Istotnymi parametrami, które należy brać pod uwagę są:

- temperatura zapłonu,
- temperatura zapalenia,
- temperatura tlenia,
- dolna granica wybuchowości,
- górna granica wybuchowości,
- wyfuknięcie,
- ładunek elektryczności statycznej.

Przy zanieczyszczeniach grożących wybuchem ilość odciąganego powietrza musi być większa od ilości powietrza wynikającej z koncentracji zanieczyszczenia (wzór 8).

$$\dot{V}_{odc} > \dot{V} = \frac{\dot{m}}{DGW} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (8)$$

gdzie: $\dot{m}$ – ilość zanieczyszczeń wydzielająca się w ciągu godziny w danym procesie produkcyjnym, $kg \cdot h^{-1}$

DGW – dolna granica wybuchowości określona dla warunków normalnych (20 °C, 101,3 kPa), $kg \cdot m^{-3}$

Dolną granicę wybuchowości zazwyczaj wyraża się w %. Celem przeliczenia jednostki należy posłużyć się wzorem 9.





$$DGW = \frac{DGW_{\%} \cdot M}{22,4} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (9)$$

gdzie: $DGW_{\%}$ – dolna granica wybuchowości, %
 M – masa molowa składnika palnego, $kg \cdot kmol^{-1}$

2.2. Charakterystyka instalacji przemysłowych

1. Pomieszczenia laboratoryjne.

W przypadku projektowania odciągów miejscowych dla pomieszczeń laboratoryjnych strumień powietrza określa się w zależności od szkodliwości substancji. W Tabeli 1 zamieszczono orientacyjne wartości strumienia powietrza wywiewanego (zgodnie z Recknagel i inni 2008).

Tabela 1. Orientacyjne strumienie powietrza wywiewanego w odniesieniu do długości płaszczyzny czołowej (za Recknagel na podstawie PN-EN 14175:2006)

Rodzaj wyciągu	Ilość powietrza $m^3 \cdot m^{-1} \cdot h^{-1}$
Wyciągi znad stołów	400
Wyciągi z dalszej odległości	600
Wyciągi gdy wokół jest ruch	700

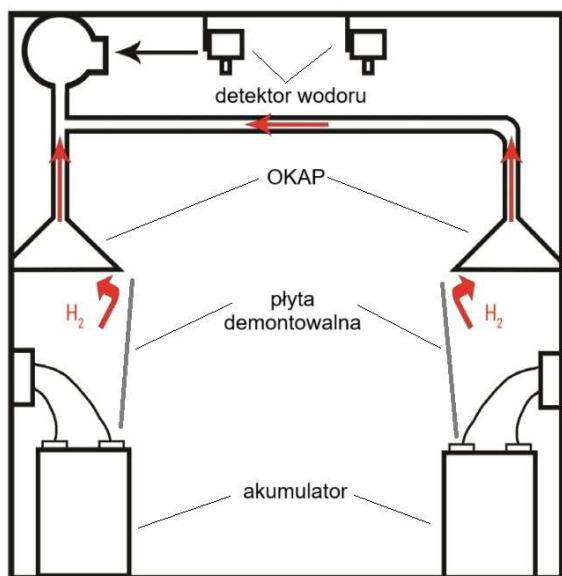
Wymagania dodatkowe:

- spadek ciśnienie w odciągu 150 Pa,
- zwiększenie wyciągu o 50 % w przypadku usuwania powietrza ponad gorącymi urządzeniami,
- strumień powietrza nawiewanego min. $25 m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ powierzchni użytkowej lub strumień powietrza nawiewanego mniejszy o 10 % strumienia powietrza wywiewanego,
- brak recyrkulacji powietrza,
- wentylatory w wykonaniu z tworzywa sztucznego, stali szlachetnej, ze stali pokrytej tworzywem sztucznym lub materiałów specjalnych.

2. Akumulatorownie.

W przypadku projektowania instalacji dla akumulatorowni największym zagrożeniem jest wodór gromadzący się pod sufitem, jako lżejszy od powietrza, oraz pary kwasu siarkowego zbierające się przy podłodze. Wyciąg mechaniczny w akumulatorowniach należy realizować w sposób zaprezentowany na rysunku 8. Nad akumulatorami umieszcza się odciągi miejscowe z dodatkowymi demontowalnymi płytami uniemożliwiającymi rozprzestrzenianie się wodoru w pomieszczeniu. W przypadku awarii systemu wentylacji dodatkowym zabezpieczeniem są detektory wodoru, które uruchamiają alarm informujący o przekroczonym stężeniu gazu.





Tekst alternatywny. Schemat prezentujący sposób realizacji wyciągu wyposażonego w dwa okapy. Przy każdym okapie widoczna jest (kolor szary) demontowalna płyta. Kolorem czerwonym oznaczono przepływ wodoru w kierunku wentylatora umieszczonego pod sufitem. Powyżej instalacji znajdują się detektory wodoru.

Rys. 8 Wywiew z akumulatorni.

Dla pomieszczeń akumulatorowni wymagany strumień powietrza oblicza się ze wzoru 10.

$$\dot{V} = v \cdot w \cdot s \cdot n \cdot I \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (10)$$

gdzie: v – współczynnik rozcieńczenia (na podstawie wzoru 11)
 w – ilość wydzielającego się wodoru w ciągu godziny, $m^3 \cdot h^{-1}$
 s – współczynnik bezpieczeństwa (przyjmowany 5, dla pojazdów na wodzie 10) (Recknagel i inni 2008)
 n – liczba ogniów,
 I – maksymalny prąd ładowania, A

$$v = \frac{100}{DGW_{\%}} \quad (11)$$

Zgodnie z DIN 57510 na 1 A prądu ładowania powstaje $0,000421 \text{ m}^3 \cdot h^{-1}$ wodoru z ogniwa. Dolna granica wybuchowości wynosi 3,8 %. Stąd podstawiając wartości do wzoru 10 otrzymamy uproszczony wzór 12.

$$\dot{V} = 0,055 \cdot n \cdot I \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (12)$$



Wymagania dodatkowe:

- w małych akumulatorowniach wentylacja okienna (otwarte okna podczas ładowania),
- wentylator w wykonaniu przeciwwybuchowym umieszczony poza akumulatorownią,
- temperatura powyżej 0 °C,
- strumień powietrza doprowadzanego mniejszy o 20 % od strumienia wywiewanego,
- wentylator i przewody z materiału odpornego na działanie kwasu siarkowego.

3. Lakiernie

W przypadku projektowania instalacji dla lakierni należy zapewnić wentylację na każdym etapie procesu lakierniczego. Istotnym elementem instalacji wymiany powietrza są filtry, które należy montować na powietrzu nawiewanym oraz wywiewanym.

Wymagania dodatkowe:

- instalacje do usuwania mgieł i rozpylonej farby,
- prędkość zasysania powietrza na wlocie do stołu natryskowego 0,6 – 0,75 m·s⁻¹,
- silnik wentylatora w wykonaniu przeciwwybuchowym,
- wentylator w wykonaniu nieiskrzącym,
- nawiew sufitami perforowanymi,
- krotność wymian powietrza 100 – 250 h⁻¹,
- strumień powietrza doprowadzanego większy o 5 – 10 % od strumienia wywiewanego,
- temperatura powietrza wewnętrznego zimą 22 – 25 °C.

4. Garaże

Wentylacja garaży jest ważnym wyposażeniem technicznym budynków ze względu na występujące w nich spaliny z silników spalinowych oraz ryzyko wystąpienia pożaru. Zadaniem wentylacji garaży jest utrzymywanie stężenia tlenu węgla poniżej wartości dopuszczalnej. Powietrze nawiewane nie musi zatem być uzdatniane, a prędkość powietrza nie jest definiowana przez ryzyko powstawania przeciągu.

Wentylacja może być realizowana jako:

- naturalna – na zasadzie aeracji polegającej na rozmieszczeniu otworów w przeciwległych ścianach,
- mechaniczna: systemy kanałowe oraz systemy impulsowe.

Wymagania dodatkowe dla wentylacji naturalnej:

- odległość ścian zewnętrznych dla garaży nadziemnych 35 m,
- odległość ścian zewnętrznych dla garaży podziemnych 20 m,





- powierzchnia otworów dla garaży średnich i dużych 0,15 m² na stanowisko,
- dla garaży do 100 m² otwory o powierzchni 150 cm² netto na stanowisko umieszczone w bramach wjazdowych.

Wymagania dodatkowe dla wentylacji mechanicznej:

- strumień powietrza wywiewanego dla garaży o małym ruchu 6 m³·h⁻¹·m⁻²,
- strumień powietrza wywiewanego dla garaży innych niż o małym ruchu 12 m³·h⁻¹·m⁻²,
- liczba wentylatorów wywiewnych 2 o jednakowej wielkości i sumarycznej wydajności zgodnej z obliczeniami,
- dopuszczalny nawiew z pomieszczeń jedynie powietrza bezzapachowego i wolnego od szkodliwych lub łatwopalnych substancji;
- lokalizacja wyrzutni powietrza z dala od okien, balkonów, placów zabaw itp. obszarów.

Ilość powietrza wentylacyjnego dla garaży oblicza się (wzór 13) na podstawie zanieczyszczenia znacznikowego jakim zgodnie z VDI 2053 jest tlenek węgla. Dopuszczalne, krótkoterminowe średnie 15-minutowe stężenie tlenku węgla wynosi 60 ppm. Jest to wartość niższa niż określona w Dz.U.2018.1286 (117 mg·m⁻³ = 100 ppm) jako, że garaż nie jest uznawany za środowisko pracy.

$$\dot{V}_{zew} = \frac{\dot{V}_{CO}}{CO_{dop} - CO_{zewn}} \cdot f_G \quad (12)$$

gdzie: $\dot{V}_{CO}$ – emisja CO w ciągu 1 godziny, m³CO·h⁻¹ (na podstawie wzoru 14)

CO_{dop} – dopuszczalne stężenie tlenku węgla, m³CO·m⁻³powietrza;

CO_{zewn} – stężenie tlenku węgla w powietrzu zewnętrznym, m³CO·m⁻³powietrza;

f_G – współczynnik uwzględniający niejednolite wymieszania powietrza (Tabela 2).

Jako wartości referencyjne stężenia tlenku węgla w powietrzu zewnętrznym można przyjmować:

- dla obszaru o intensywnym ruchu pojazdów 5 ppm,
- dla osiedli mieszkaniowych o niewielkim ruchu pojazdów 0 ppm.



Tabela 2. Wartości współczynnika f_G uwzględniającego niejednorodne wymieszanie powietrza (VDI 2053-1:2014-12)

Typ wentylacji/rodzaj przepływu powietrza	Wartość współczynnika f_G , -
System wywiewny/przepływ krzyżowy (garaże otwarte)	1,2 – 1,4
System wywiewny/przepływ krzyżowy bez przewodów wentylacji wywiewnej (garaże otwarte)	1,3 – 1,5
System wywiewny/przepływ wzdłużny (garaże otwarte)	1,2 – 1,4
System wywiewny i nawiewny/wentylacja uwarstwiona	1,2 – 1,3
System wywiewny i nawiewny/wentylacja mieszająca	1,3 – 1,5
Wentylacja strumieniowa współczynnik f_G – przemnożyć przez 0,9	

Emisję tlenku węgla w ciągu godziny oblicza się dla wszystkich przejeżdżających przez garaż samochodów (wzór 13) uwzględniając emisje jednostkowe oraz liczbę poruszających się w garażu pojazdów w ciągu godziny.

$$\dot{V}_{CO} = \frac{f_{SP} \cdot Z_{SP}}{\rho_{CO}} \cdot (E_{CO.warm} + E_{CO.cold}) \quad (13)$$

gdzie: f_{SP} – współczynnik równoczesności wykorzystania garażu (Tabela 3);

Z_{SP} – liczba stanowisk postojowych;

ρ_{CO} – gęstość tlenku węgla w temperaturze 20 °C (przyjmowana $1,16 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$);

E_{CO} – emisja jednostkowa (warm – podczas wjazdu, cold – podczas wyjazdu), $\text{g} \cdot \text{samochód}^{-1}$.

Tabela 3. Wartości współczynnika równoczesności wykorzystania garażu f_{SP} (VDI 2053-1:2014-12)

Ruch samochodów w garażu	Wartość współczynnika równoczesności wykorzystania f_{SP} , -
Niewielki ruch podczas wjazdu i wyjazdu samochodów	0,6 h^{-1}
Częsty wjazd i wyjazd z garażu	0,8 – 1,5 h^{-1}
Intensywny ruch w godzinach szczytu	2 h^{-1}

Emisję jednostkową CO oblicza się w zależności od długości trasy przejazdu samochodu wjeżdżającego s_1 (wzór 14) oraz wyjeżdżającego s_2 (wzór 15). Emisja podczas wjazdu wynosi $0,008 \cdot s_1 \text{ g} \cdot \text{samochód}^{-1}$, podczas wyjazdu dla długości trasy przejazdu $< 80 \text{ m}$ wynosi $7,6 \text{ g} \cdot \text{samochód}^{-1}$, dla długości trasy przejazdu $\geq 80 \text{ m}$ i $< 500 \text{ m}$ wynosi $0,89 \cdot s_2^{0,49} \text{ g} \cdot \text{samochód}^{-1}$.





$$s_1 = s_{wjazd} + \frac{s_{przejazd}}{2} + s_{parkowanie} \quad (14)$$

$$s_2 = s_{wyjazd} + \frac{s_{przejazd}}{2} + s_{parkowanie} \quad (15)$$

gdzie: s_{wjazd} – długość trasy wjazdu do garażu (do pierwszego stanowiska postojowego), m;

s_{wyjazd} – długość trasy wyjazdu z garażu (od ostatniego stanowiska postojowego), m;

$s_{przejazd}$ – całkowita długość przejazdu przez garaż do miejsca parkowania, m;

$s_{parkowanie}$ – długość przejazdu podczas manewrowania w trakcie parkowania, m (zazwyczaj przyjmuje się 10 m).

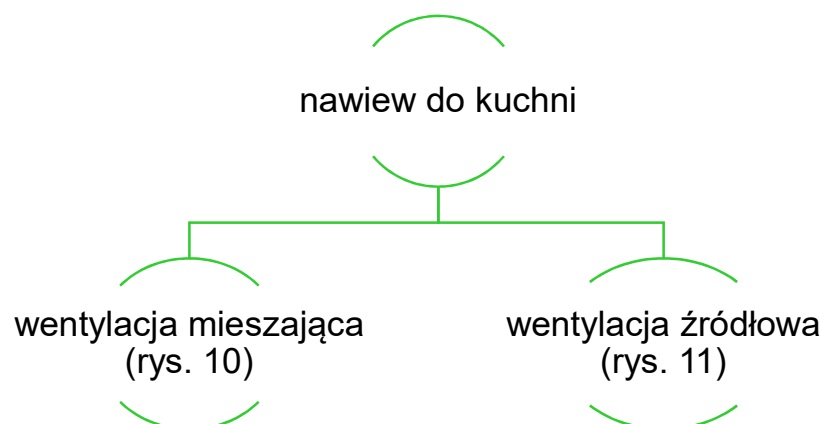
5. Kuchnie

Zadaniem wentylacji w pomieszczeniach kuchni jest usuwanie substancji szkodliwych i współdziałanie systemów nawiewnego i wywiewnego, by zanieczyszczenia, zapachy i wilgoć nie rozprzestrzeniały się w pomieszczeniu.

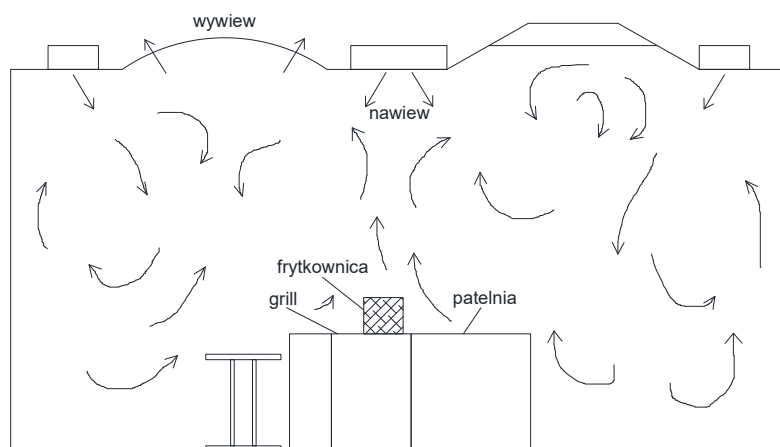
Wymagania dodatkowe:

- wentylacja mechaniczna w kuchniach, gdzie zyski ciepła od urządzeń jest większa od 25 kW,
- okapy kuchenne umieszczane 2,1 m ponad podłogą, z występem 0,2 m poza źródło zanieczyszczenia,
- stosowanie separatorów (filtrów tłuszczowych),
- stosowanie zintegrowanych stropów wentylacyjnych do usuwania zanieczyszczeń i oparów przez duże powierzchnie,
- odpowiednia organizacja nawiewu (rys. 9),
- filtry powietrza zewnętrznego o minimalnej klasie F7,
- kanały gładkie, szczelne dla tłuszczu,
- czyszczenie separatora aerozoli (tłuszczu) nie rzadziej niż co 14 dni,
- kontrola czystości sufitów wentylacyjnych nie rzadziej niż co pół roku.



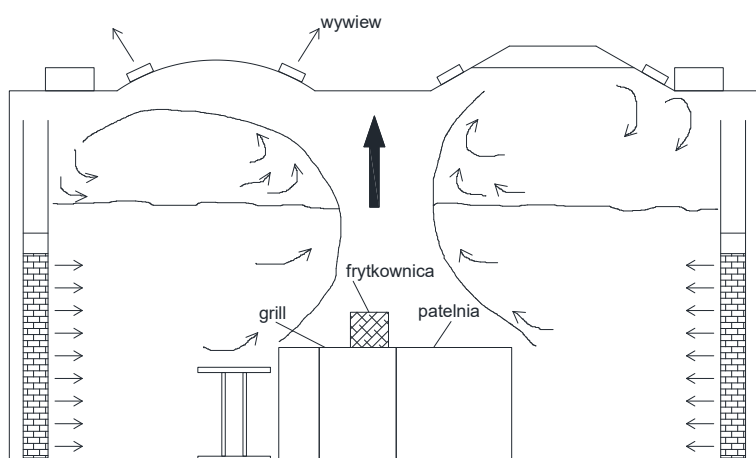


Rys. 9 Podział systemów nawiewnych dla pomieszczenia kuchni



Tekst alternatywny.
Schemat prezentujący
sposób realizacji
nawiewu do
pomieszczenia
kuchni. Na podłodze
pomieszczenia
znajdują się
urządzenia kuchenne:
stół, grill, frytkownica,
patelnia umieszczona
na blacie. W górnej
części znajduje się
nawiew i wywiew
powietrza. Strzałki
prezentują sposób
rozpływu powietrza
w całej objętości
pomieszczenia.

Rys. 10 Wentylacja mieszająca (na podstawie Recknagel i inni 2008).



Tekst alternatywny.
Schemat prezentujący
sposób realizacji
nawiewu do
pomieszczenia kuchni.
Na podłodze
pomieszczenia
znajdują się
urządzenia kuchenne:
stół, grill, frytkownica,
patelnia umieszczona
na blacie. W górnej
części znajduje się
wywiew powietrza.
Przy dwóch
przeciwnych
ścianach realizowany
jest nawiew. Strzałki
prezentują sposób
rozpływu powietrza
z wyraźnym
kierunkiem przepływu
od nawiewu do
wywiewu.

Rys. 11 Wentylacja źródłowa (na podstawie Recknagel i inni 2008).

Parametry istotne dla wymiarowania urządzeń wentylacji kuchennej:

- strumień powietrza ujmowanego na wlocie do okapu kuchennego,
- strumień powietrza nawiewanego,
- strumień powietrza wywiewanego.

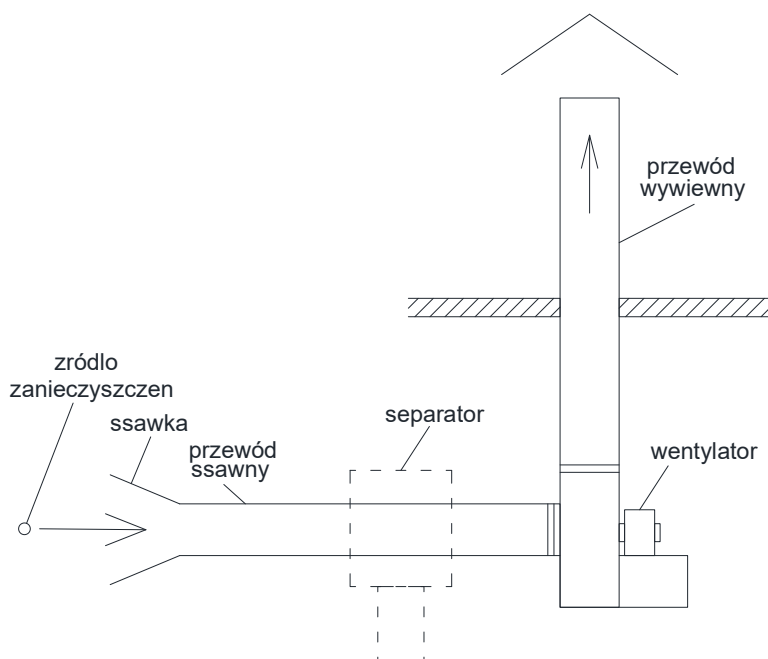
Szacunkowe strumienie powietrza wentylacyjnego ze względu na wyposażenie pomieszczenia (Recknagel i inni 2008):

- $120 \cdot A_k \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na urządzenie do smażenia, pieczenia, grillowania,
- $115 \cdot A_k \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na urządzenie do gotowania, duszenia,
- $80 \cdot A_k \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na całkowitą powierzchnię kuchni.

A_k – powierzchnia kuchni, m^2 .

6. Odciągi przemysłowe

Odciągi miejscowe służą usuwaniu zanieczyszczeń w pomieszczeniach przemysłowych (rys. 12).



Tekst alternatywny.
Schemat prezentujący
sposób realizacji
odciągu miejscowego.
Okręgiem oznaczone
jest źródło
zanieczyszczeń,
w pobliżu którego
znajduje się ssawka
przyłączona do
przewodu ssawnego.
Na przewodzie
ssawnym
zamontowany jest
separator i wentylator
przyłączony do
przewodu
wywiewnego. Strzałki
pokazują kierunek
przepływu powietrza
z pomieszczenia
i wyrzutowego.

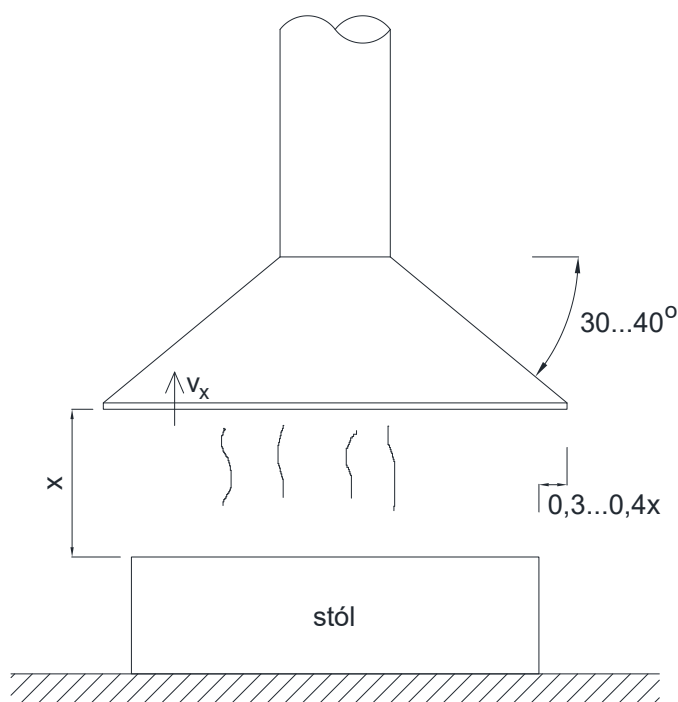
Rys. 12 Schemat przemysłowego odciągu miejscowego (na podstawie Recknagel i inni 2008).

Elementy składowe odciągów stosowanych w obiektach przemysłowych:

- ssawki wychytujące zanieczyszczenia w miejscu ich powstawania,
- przewody ssawne i tłoczne,
- wentylatory,
- separatory do oddzielania zanieczyszczeń od powietrza.

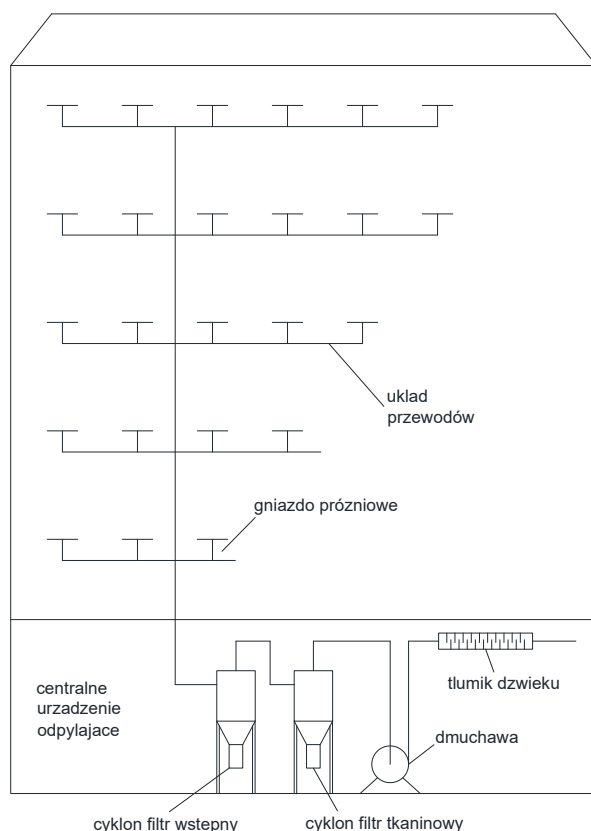
Możliwe rozwiązania stosowane w przemyśle:

- usuwanie zanieczyszczeń za pomocą okapów (rys. 13),
- centralne instalacje odpylające (odkurzacze centralne) (rys. 14),
- ssawki ruchome,
- przewoźne urządzenia odsysające.



Tekst alternatywny. Schemat prezentujący sposób umieszczenia okapu nad stołem roboczym. Na podłodze pomieszczenia znajdują się stoły, nad nim zamontowany jest okap. Linie krzywe symbolizują unoszące się zanieczyszczenia. Linie wymiarowe pokazują: x – odległość okapu od stołu, $0,3...0,4x$ – odległość krawędzi okapu od krawędzi stołu, $30...40^\circ$ – stopień nachylenia powierzchni bocznej okapu.

Rys. 13 Okap nad stołem roboczym (na podstawie Recknagel i inni 2008).



Tekst alternatywny.
Schemat prezentujący centralną instalację odpylającą.
W pomieszczeniu pod poziomem podłogi wentylowanego pomieszczenia znajduje się instalacja centralna wyposażona w od prawej strony: tłumik hałasu, dmuchawę, cyklon – filtr tkaninowy, cyklon – filtr wstępny. Następnie przewód poziomy przechodzi w przewód pionowy, do którego przyłączony jest układ poziomych przewodów wyposażonych w gniazda próżniowe.

Rys. 14 Centralna instalacja odpylająca (na podstawie Recknagel i inni 2008).

2.3. Zadania z zakresu wentylacji przemysłowej

1. Sprawdź, czy ilość powietrza wentylacyjnego $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ jest wystarczająca do usunięcia z pomieszczenia amoniaku (NH_3) wydzielającego się w ilości $20 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Należy przyjąć dolną granicę wybuchowości dla amoniaku 15 %.

Dane:

$$\dot{V}_{odc} = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = 20 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$DWG_{\%} = 15\%$$

Szukane:

$$\dot{V} = ?$$

- obliczenie masy molowej metanu

$$M = 14 + 3 \cdot 1 = 17 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$



- przeliczenie jednostki DGW

$$DGW = \frac{0,15 \cdot 17}{22,4} = 0,11 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

- obliczenie wymaganej ilości powietrza

$$\dot{V} = \frac{20}{0,11} = 182 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- sprawdzenie, czy ilość wymienianego w pomieszczeniu powietrza jest wystarczająca

$$500 \left[\frac{m^3}{h} \right] > 182 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Odp.

Wymagana ilość powietrza dla usunięcia 20 kg amoniaku wynosi $182 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, stąd ilość powietrza wentylacyjnego $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ jest wystarczająca, aby usunąć zanieczyszczenia.

2. Oblicz wymaganą ilość powietrza do usunięcia pyłu węglowego wydzielającego się w ilości $5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Dolna granica wybuchowości pyłu węglowego wynosi $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Dane:

$$\dot{m} = 5 \frac{kg}{h}$$

$$DWG = 30 \frac{g}{m^3} = 0,03 \frac{kg}{m^3}$$

Szukane:

$$\dot{V} = ?$$

- obliczenie wymaganej ilości powietrza

$$\dot{V} = \frac{5}{0,03} = 167 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Odp.

Wymagana ilość powietrza dla usunięcia 5 kg pyłu węglowego wynosi $167 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.





3. Sprawdź, czy krotność wymian powietrza 3 h^{-1} będzie wystarczająca w pomieszczeniu akumulatorowni o kubaturze 150 m^3 . Liczba ogniw w pomieszczeniu wynosi 100, a maksymalny prąd ładowania 60 A.

Dane:

$$h = 3 \text{ h}^{-1}$$

$$V = 150 \text{ m}^3$$

$$n = 100$$

$$I = 60 \text{ A}$$

Szukane:

$$\dot{V} = ?$$

- obliczenie wymaganej ilości powietrza

$$\dot{V} = 0,055 \cdot 100 \cdot 60 = 330 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- obliczenie wymienianej ilości powietrza

$$\dot{V} = 3 \cdot 150 = 450 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- sprawdzenie, czy krotność wymian 3 h^{-1} jest wystarczająca

$$450 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] > 330 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Odp.

Wymagana ilość powietrza dla akumulatorowni wyposażonej w 100 ogniw o maksymalnym prądzie ładowania 60 A wynosi $330 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Krotność wymian zapewnia ilość powietrza $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, co oznacza, że jest wystarczająca dla analizowanego pomieszczenia.

4. Garaż w budynku wielorodzinnym przeznaczono dla 100 samochodów osobowych. Długość trasy wjazdu i wyjazdu wynosi 5 m, długość przejazdu przez garaż do miejsca parkowania wynosi 130 m, a długość przejazdu podczas manewrowania w





trakcie parkowania 10 m. W obiekcie zastosowano system wentylacji mieszającej.
Obliczyć wymagany strumień powietrza wentylacyjnego.

Dane:

$$s_{wjazd} = 5m$$

$$s_{wyjazd} = 5m$$

$$s_{przejazd} = 130m$$

$$s_{parkowanie} = 10m$$

$$Z_{SP} = 100$$

Szukane:

$$\dot{V} = ?$$

Założenie:

$$f_{SP} = 0,6h^{-1}$$

$$\rho_{CO} = 1,16 \cdot 103g \cdot m^{-3}$$

$$f_G = 1,4$$

$$CO_{dop} = 60ppm$$

$$CO_{zewn} = 0ppm$$

- długość trasy przejazdu samochodu wjeżdżającego i emisja jednostkowa

$$s_1 = 5 + \frac{130}{2} + 10 = 80 m \rightarrow E_{CO.warm} = 0,008 \cdot 80 = 0,64g \cdot samochod^{-1}$$

- długość trasy przejazdu samochodu wyjeżdżającego i emisja jednostkowa

$$s_2 = 5 + \frac{130}{2} + 10 = 80 m \rightarrow E_{CO.cold} = 0,89 \cdot 80^{0,49} = 7,62g \cdot samochod^{-1}$$

- emisja tlenku węgla w ciągu godziny

$$\dot{V}_{CO} = \frac{0,6 \cdot 100}{1,16 \cdot 103} \cdot (0,64 + 7,62) = 4,15m_{CO}^3 \cdot h^{-1}$$

- ilość powietrza wentylacyjnego

$$\dot{V}_{zew} = \frac{4,15}{(60 - 0) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,4 = 96833m^3 \cdot h^{-1}$$

Odp.

Wymagana ilość powietrza dla garażu przeznaczonego dla 100 samochodów osobowych wynosi 96 833 m³·h⁻¹.





Spis literatury

- ✓ materiały zwarte:
 - Brändli O., Will R., Winkler T., Konrath B., Reintsema J., Lucka F., White P., Sypek G., Samoshin D. (2018). *Fire Safety In Buildings. Smoke Management Guidelines*, Wydawnictwo REHVA. Bruksela, Belgia.
 - Recknagel H., Sprenger E., Schramek E. i inni. (2008). *Kompendium wiedzy ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo*, Wydawnictwo Omni Scala. Wrocław.
- ✓ artykuły/statystyki:
 - World Fire Statistics, 2024, International Association of Fire and Rescue Services, Center for Fire Statistics, Raport nr 29
- ✓ akty prawne:
 - Dz.U.2005.73.645 Rozporządzenie Ministra zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (z późniejszymi zmianami)
 - Dz.U.2018.1286 Rozporządzenie Ministra rodziny, pracy i polityki społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (z późniejszymi zmianami)
- ✓ normy:
 - DIN 57510 VDE-Bestimmung für Akkumulatoren und Batterie-Anlagen
 - PN-B-02852:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków -- Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru
 - PN-B-02877-4:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła Zasady projektowania. + załącznik PN-B-02877-4:2001/Az1:2006
 - PN-EN 14175:2006 Wyciągi laboratoryjne
 - VDI 2053:2004 Air Treatment Systems for Car Parks
 - VDI 2053-1:2014-12 Air Conditioning. Car Parks. Exhaust Ventilation (VDI Ventilation Code Of Practice)
- ✓ źródła internetowe:
 - The Engineering ToolBox (2022). *Food - Calorific Combustion Values*. [online]: https://www.engineeringtoolbox.com/food-calorific-combustion-values-d_2197.html (dostęp 07.02.2025)

