

Metody obliczania okapów

Methods of calculating the exhaust hoods

ELŻBIETA RYBAK-WILUSZ, PAWEŁ KUT

DOI 10.36119/15.2020.10.5

Powstające w procesach technologicznych zanieczyszczenia powodują obniżenie jakości powietrza w środowisku wewnętrznym. Zawartość szkodliwych substancji w miejscu pracy nie powinna przekroczyć najwyższych dopuszczalnych stężeń. Stosowane w pomieszczeniach produkcyjnych systemy miejscowej wentylacji wywiewnej, służą ograniczeniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń i utrzymaniu odpowiedniej jakości powietrza. Kluczowym elementem systemu lokalnej wentylacji wywiewnej jest okap. Umieszczony w strefie powstawania szkodliwych substancji, ujmuje zanieczyszczenia usuwane wraz z odciąganiem strumieniem powietrza.

W artykule przedstawiono metody obliczania okapów. Określono zasady wymiarowania okapów oraz główne czynniki determinujące metodykę obliczania strumienia objętości usuwanego powietrza. Wskazano, że zastosowanie właściwej metody obliczania w głównej mierze zależy od rodzaju źródła emitującego zanieczyszczenie, położenia okapu w stosunku do źródła zanieczyszczenia oraz charakteru ruchu strumienia powietrza usuwanego przez okap.
Słowa kluczowe: odciąg miejscowy, okap, objętościowe natężenie przepływu, skuteczność

Contaminants generated in technological processes cause a decrease in air quality in the internal environment. The content of harmful substances in workplaces should not exceed the maximum permissible concentrations. The local exhaust ventilation systems used in workplaces serve to reduce the content of contaminants and maintain the appropriate air quality. The key element of the local exhaust ventilation system is the canopy hood. It is located in the zone of formation of harmful substances, captures the contaminants removed together with the extracted air stream.

The paper presents methods of calculating the exhaust hoods. The principles of hood dimensioning and the main factors determining the methodology of calculating the amount of extracted air were determined. It was indicated that the application of an appropriate method of calculating mainly depends on the type of source emitting the pollution, the location of the hood in relation to the source of contaminant and the nature of movement of the air stream extracted through the hood.

Keywords: local exhaust, hood, volumetric flow rate, efficiency

Wprowadzenie

Różnorodnym procesom technologicznym towarzyszy powstawanie zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, takich jak: pyły, ciecze, gazy. Szczególnie narażone na ich występowanie są pomieszczenia technologiczne zakładów przemysłowych oraz otaczające je środowisko zewnętrzne. Zanieczyszczenia występują w postaci rozdrobnionej, dymu, par lub aerozoli o zróżnicowanym składzie fizycznym i chemicznym, a w odniesieniu do pyłów o różnym składzie frakcyjnym. Niepożądane i uciążliwe, stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi narażonych na ich oddziaływanie.

Wartości dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych substancji oraz natężeń fizycznych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy zostały okre-

ślone w rozporządzeniu [1] z 2018 r. Szkodliwość zanieczyszczeń została wyrażona najwyższymi dopuszczalnymi stężeniami (NDS), jako średnia ważona stężenia oddziałująca na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, przez okres jego aktywności zawodowej. Nie przekroczenie wartości NDS nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika oraz jego przyszłych pokoleń. Innym wskaźnikiem jest najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh), rozumiane jako średnie stężenie, 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. Natomiast stężeniami, które ze względu na zagrożenie zdrowia

lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczone w żadnym momencie, jest to najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDS_P).

W celu ograniczania emisji zanieczyszczeń zachodzących w procesach technologicznych stosowane są odciągi miejscowe w postaci osłon hermetycznych, ssawek lub okapów.

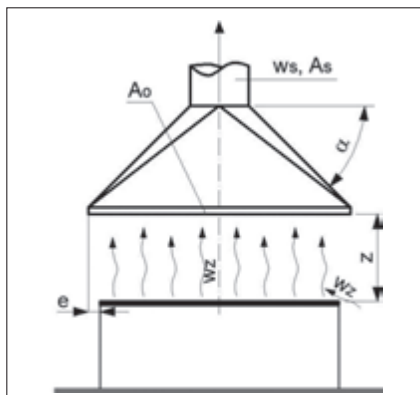
Wydzielające się z urządzeń przemysłowych zanieczyszczenia tworzą wraz z powietrzem mieszaninę, która w zależności od temperatury może unosić się do góry lub opadać. Wyższa od temperatury powietrza w pomieszczeniu temperatura mieszaniny: powietrza i zanieczyszczeń, wywołuje konwekcyjny ruch zanieczyszczonego powietrza do góry. W takim przypadku zastosowanie okapu do ich usuwania jest najkorzystniejszym rozwiązaniem. Podstawowym zadaniem okapu

jest skuteczne ujęcie zanieczyszczeń w miejscu ich powstawania w sposób uniemożliwiający ich rozprzestrzenianie się w pomieszczeniu. Usuwany z powietrzem przez okap strumień zanieczyszczeń w stosunku do strumienia masy zanieczyszczeń emitowanych przez źródło jest miarą skuteczności działania odciągu [2]. Skuteczność okapu zależy od wielu czynników, między innymi, od warunków panujących w otoczeniu źródła zanieczyszczenia, mechanizmu emitowania zanieczyszczeń, warunków na stanowisku pracy w obrębie odciągu wynikających z rodzaju procesu lub konstrukcji urządzenia oraz sposobu obsługi stanowiska pracy. Z tego powodu obliczenia okapu, a zwłaszcza prawidłowe wyznaczenie strumienia powietrza ujmowanego przez okap wpływa na skuteczność działania odciągu. Celem artykułu jest przedstawienie zasad wymiarowania okapów górnych oraz określenie i analiza wpływu usytuowania okapu na sposób obliczania objętościowego natężenia przepływu usuwanego powietrza. Przytoczone w oparciu o literaturę [3, 4, 5, 6] równania analityczne do obliczania strumienia objętości powietrza ujmowanego przez okap wynikają z podstawowych praw fizyki oraz badań eksperymentalnych.

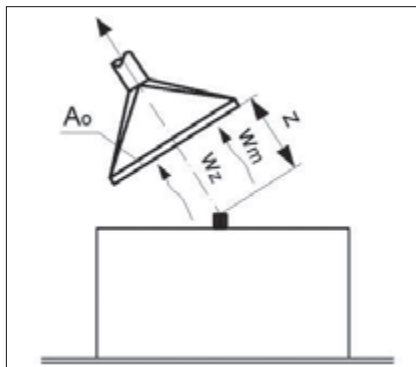
Charakterystyka okapu

Okap tworzą osłony kierujące otaczającą strefę wydzielania się zanieczyszczeń (rys. 1, 2 i 3). Umieszczony nad źródłem lżejszych od powietrza gazów, par, spalin, dymów, pyłów, aerozoli i zapachów, tworzących mieszaninę z powietrzem, ogranicza ich rozprzestrzenianie się w pomieszczeniu. Ujęte przez okap zanieczyszczenia wraz z powietrzem są usuwane szczelnie przewodem na zewnątrz pomieszczenia.

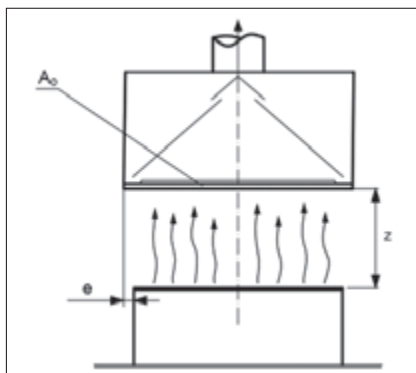
Okapy stosujemy nad pojedynczymi urządzeniami, takimi jak: wanny, zbiorniki,



Rys. 1. Okap górny nad ogrzaną powierzchnią lub stołem roboczym, na podst. [4]
Fig. 1. Upper exhaust hood above heated surface or workbench, based on [4]



Rys. 2. Okap swobodnie zawieszony
Fig. 2. The freely suspended hood



Rys. 3. Konstrukcja okapu do odprowadzania wilgoci, na podst. [3]
Fig. 3. The hood construction for captured humidity, based on [3]

piece przemysłowe, stoły robocze, trzony kuchenne, piece wielofunkcyjne, urządzenia do gotowania na parze itp. lub zespołami urządzeń. Skutecznie usuwają zanieczyszczenia powstające w procesach spawania, lutowania, klejenia, polerowania, szlifowania i cięcia lub podczas prac związanych z mieszaniami roztworów i związków chemicznych oraz obróbką termiczną potraw.

Ze względu na usytuowanie okapy dzielimy na stałe oraz ruchome, przystienne lub usytuowane centralnie z możliwością dostępu do urządzenia z każdej strony, a w zależności od kierunku odsysania powietrza na górne, dolne i boczne. Lokalizacja okapu zależy od właściwości procesu technologicznego, usytuowania urządzenia, a tym samym od miejsca i sposobu powstawania zanieczyszczeń, kierunku ich przemieszczania się oraz sposobu obsługi stanowiska pracy. Jeżeli proces technologiczny obsługiwany jest przez pracownika, dolną krawędź okapu górnego umieszcza się na wysokości co najmniej $H = 2,1$ m nad posadzką [4]. Natomiast płaszczyznę wlotu zanieczyszczonego powietrza stropu wentylacyjnego, na przykład w kuchniach, należy sytuować na wysokości co najmniej 2,5 m ponad podłogę [7].

Obliczanie okapów

Lokalizacja okapów

Obliczanie okapów polega na określeniu wymiarów powierzchni czołowej okapu oraz wyznaczeniu objętościowego natężenia przepływu powietrza przez okap. Strumień objętości usuwanego powietrza obliczamy za pomocą wzorów empirycznych lub określamy przy pomocy nomogramów wspomagających dobór konkretnego typu odciągu [4]. Zastosowanie właściwej metody obliczania w głównej mierze zależy od wysokości położenia okapu nad źródłem zanieczyszczenia z (rys. 1, 2 i 8), która może wynosić:

- nisko położony okap, z małe,
- położony w odległości około 1,0 m nad źródłem zanieczyszczenia, $z \sim 1$ m,
- wysoko położony okap, $z > 1$ m.

Wymiary okapu

Wymiary okapu zależą od lokalizacji powierzchni wlotowej powietrza nad źródłem zanieczyszczenia. Powierzchnia czołowa okapu A_o o kształcie kwadratu, prostokąta, koła lub elipsy, wymiarowana długością krawędzi bocznych a_o , b_o lub średnicą d_o , powinna być większa, w porównaniu z powierzchnią źródła zanieczyszczenia. Krawędź okapu powinna wystawać poza źródło zanieczyszczeń o odległość e , zapewniając większe prawdopodobieństwo całkowitego usunięcia zanieczyszczonego powietrza. Zalecane wysunięcie krawędzi okapu, położonego w odległości co najmniej 1,0 m nad źródłem zanieczyszczenia, poza obrys źródła zanieczyszczenia, (rys. 1) wynosi w przypadku gorących procesów $e = 0,4 z$ wg [3], dla stołu roboczego lub powierzchni wanny $e = (0,3 \div 0,4) z$ [4] oraz co najmniej $e_{min} = 10 \div 20$ cm [4] dla okapów kuchennych. Natomiast w [6] określono wysunięcie krawędzi okapu nad stołami roboczymi, wannami, piecami przemysłowymi, trzonami kuchennymi $e = (0,2 \div 0,4) z$. Zalecane minimalne wysunięcie okapu kuchennego poza obrys urządzenia, w przypadku konstrukcji podstawowej, wynosi 0,2 m [7]. Dla urządzeń z otworami drzwiowymi, od strony drzwi urządzeń emitujących parę wodną takich jak piece konwekcyjno-parowe, należy zapewnić występowanie, co najmniej 0,4 m [3].

Okap wysoko położony (od 1 do 3 m nad płaszczyznę roboczą) powinien mieć zwiększone wymiary liniowe, w stosunku do wymiaru strumienia ciepłego powietrza na wysokości wlotu do okapu (rys. 8) o około $e_w = (0,20 \div 0,25) z$ [6]. Natomiast wymagania zawarte w [7] określają wysunięcie krawędzi okapu, umieszczonego na

wysokości co najmniej 2,5 m nad posadzką pomieszczenia, na odległość wynikającą z rozszerzenia się strumienia termicznego poza obrys urządzenia o kąt 20°.

Kształt i wymiary obudowy okapu, pomiędzy powierzchnią wlotową, a przewodem ssawnym, zależą przede wszystkim od rodzaju zastosowanych przesłon, rodzaju przegród wewnętrznych oraz konstrukcji wbudowanych filtrów, przy jednoczesnym uwzględnieniu walorów estetycznych obudowy. Odchylenie osłon kierujących (lub przegród wewnętrznych) o kąt $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$ [4], lub $\alpha = 45^\circ$ [3, 4] od powierzchni wlotowej przewodu wywiewnego nadaje strumieniowi powietrza optymalny kierunek przepływu i umożliwia usunięcie wilgoci (rys. 1).

Obliczanie strumienia objętości usuwanego powietrza

• Okap nisko położony

Okap umieszczony nisko (z małą) pełni niejednokrotnie rolę ssawki swobodnie zawieszanej. Usuwa wówczas powietrze z nad powierzchni ogrzanej jedynie do temperatury 40°C lub źródła o niewielkiej emisji zanieczyszczeń pyłowych lub gazowych.

Objętościowe natężenie przepływu powietrza V [m³/s], które zależy od powierzchni czołowej okapu A_o oraz średniej prędkości powietrza w płaszczyźnie wlotu w , opisuje wzór

$$V = A_o \cdot w \quad (1)$$

Korzystając z przybliżonego równania (DallaValle'a) na rozkład prędkości (w_z/w) dla swobodnie zawieszonych okapów górnych w postaci

$$\frac{w_z}{w} = \frac{0,5A_o}{z \cdot U} \quad (2)$$

gdzie w_z jest prędkością powietrza na krawędzi stołu, U – obwód powierzchni wlotowej okapu, [m]; z – odległość położenia okapu nad źródłem zanieczyszczenia, [m]; strumień powietrza usuwany przez okap górny uwzględniając warunki panujące wokół okapu obliczamy ze wzoru [4]

$$V = 2 \cdot U \cdot z \cdot w_z \quad (3)$$

przy założeniu, że w_z [m/s] to prędkość porywania w osi otworu wlotowego okapu (rys. 2), przyjmowana z tab.1.

Możemy również posłużyć się zależnością empiryczną (DallaValle'a) [4]:

$$V = 1,4 \cdot U \cdot z \cdot w_m \quad (4)$$

gdzie w_m – średnia prędkość powietrza pomiędzy okapem a płaszczyzną,

z której wydobywają się zanieczyszczenia (tab.1), [m/s], pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2).

Występujące we wzorach (3) i (4) współczynniki 1,4 i 2 wprowadzono do celu zapewnienia dostatecznie dużej prędkości porywania. Charakter prędkości własnych cząstek zanieczyszczenia pozwala oszacować prędkości porywania w odległości oddziaływania okapu (tab. 2).

Tab.1. Prędkości w_m i w_z w zależności od warunków w pomieszczeniu [4]

Tab. 1. Velocities w_m and w_z depending on the indoor conditions[4]

Warunki w pomieszczeniu	w_m [m/s]	w_z [m/s]
powietrze spokojne	0,2 ÷ 0,3	0,10 ÷ 0,15
słabe prądy poprzeczne	0,3 ÷ 0,4	0,15 ÷ 0,30
silne prądy poprzeczne	0,4 ÷ 0,5	0,20 ÷ 0,40

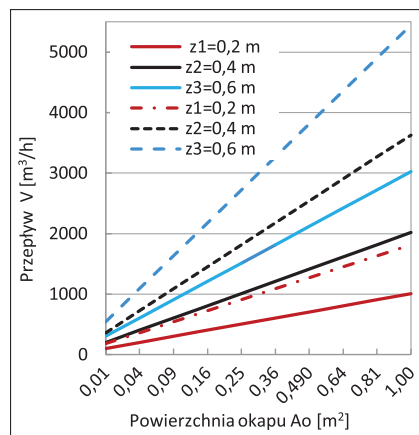
Tab. 2. Zalecane prędkości w_z w zależności od prędkości własnych cząstek zanieczyszczenia [4]

Tab. 2. Recommended velocities w_z depending on velocity of own particles of contamination [4]

Prędkość własna cząstek zanieczyszczenia	w_z [m/s]
mała – kąpiele, zbiorniki	0,25 ÷ 0,50
większa – kabiny natryskowe, spawanie	0,50 ÷ 1,0
duża – szlifowanie, piaskowanie	1,0 ÷ 2,0

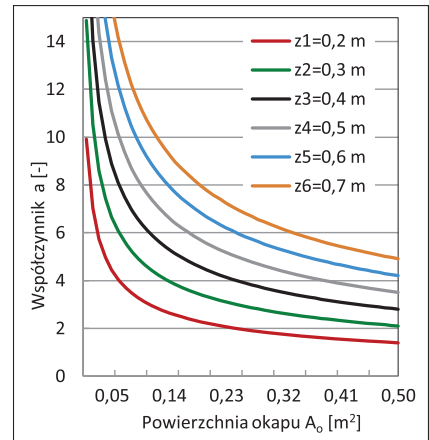
Zmiany przepływu powietrza okapów górnych nisko położonych, obliczone na podstawie wzoru (4), dla powietrza spokojnego oraz silnych prądów poprzecznych w pomieszczeniu, w zależności od powierzchni wlotowej okapu przedstawiono na rys. 4.

Natężenie przepływu powietrza (rys. 4) wzrasta zarówno przy zwiększeniu powierzchni wlotowej okapu jak również pod wpływem prądów powietrza w pomieszczeniu, zwłaszcza o dużym nasileniu. Obliczone natężenie przepływu powietrza wynosi od 202 do 3175 m³/h dla



Rys. 4. Przepływ powietrza okapu nisko położonego: linia ciągła: $w_m = 0,25$ m/s; linia przerywana: $w_m = 0,45$ m/s

Fig. 4. Airflow rate of the low-lying exhaust hood: solid line: $w_m = 0,25$ m/s; dashed line: $w_m = 0,45$ m/s



Rys. 5. Zależność współczynnika od powierzchni okapu Fig. 5. Dependence of the coefficient on the canopy hoods surface

okapów o powierzchni czołowej od 0,04 do 0,8 m², usytuowanych w odległości od 0,2 do 0,7 m od źródła zanieczyszczenia i prędkości porywania 0,25 m/s, a dla prędkości porywania 0,45 m/s odpowiednio od 363 do 5715 m³/h. Zwiększenie odległości płaszczyzny czołowej okapu od źródła zanieczyszczenia powoduje proporcjonalny wzrost strumienia objętości usuwanego.

Należy zaznaczyć, że zanieczyszczenia powinny być ujmowane z udziałem jak najmniejszego strumienia powietrza. Sprzyja to optymalizacji zarówno średnic przewodów wywiewnych, jak i wydajności urządzeń wymuszających przepływ powietrza i oddzielających zanieczyszczenia oraz minimalizuje koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu.

Wymiary i lokalizację okapu określamy na podstawie znajomości źródła zanieczyszczenia, w szczególności rodzaju zanieczyszczeń oraz mechanizmu procesu technologicznego, którego przebieg powoduje niekiedy intensywny ruch zanieczyszczeń, a przez to wpływa na sposób rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Okap umieszczamy możliwie jak najbliżej źródła zanieczyszczenia, w miejscu najwyższej koncentracji szkodliwej substancji, ale tak, aby nie zakłócał przebiegu procesu i warunków pracy obsługi. Obliczając lub szacując prędkość porywania należy uwzględnić warunki panujące w pomieszczeniu, w tym oddziaływanie nawiewników powietrza oraz wpływ procesów na sąsiednich stanowiskach pracy. Należy zaznaczyć, że zmiana położenia okapu lub zmiana prędkości powietrza pomiędzy okapem a źródłem zanieczyszczenia pozwala zapewnić stały przepływ powietrza.

Na rys. 5 przedstawiono zależność między współczynnikiem $a = w/w_m$ a równoważną powierzchnią czołową okapu A_o .

Wykres (rys. 5) służy do określenia prędkości powietrza (w) w płaszczyźnie wlotowej okapu, położonej w odległości od 0,2 do 0,7 m od źródła zanieczyszczenia.

W warunkach, gdy okap usuwa powietrze z nad powierzchni ogrzanej lub zbiornika wody o podwyższonej temperaturze w stosunku do temperatury powietrza w pomieszczeniu, w obliczeniach strumienia usuwanego powietrza uwzględniamy konwekcyjny przepływ ciepła – nadwyżkę entalpii strugi nad entalpią powietrza otaczającego [2]. W tym przypadku okap umieszczamy w odległości nie mniejszej niż 1 m od ogrzanej powierzchni.

• Okap położony w odległości około 1,0 m nad źródłem zanieczyszczenia

Okapy górne nad stołami roboczymi, zbiornikami są niejednokrotnie umieszczone w odległości około 1 m (rys. 1). Jeżeli proces technologiczny nie generuje zanieczyszczeń gazowych o podwyższonej temperaturze do obliczenia strumienia objętości usuwanego powietrza stosujemy wzór (3) lub (4). Natomiast w przypadku ciepła emitowanego przez źródło, kiedy okap ujmie strumień ogrzanego powietrza, strumień objętości usuwanego powietrza wyrażamy wzorem [3]:

$$V = 3 \sqrt{\frac{2gR}{\rho \cdot c_p}} \cdot Q \cdot h \cdot A_p^2 \quad (5)$$

lub

$$V = 3 \sqrt{\frac{2g}{T_p \cdot \rho_p \cdot c_p}} \cdot Q \cdot h \cdot A_p^2 \quad (6)$$

gdzie:

- V – strumień objętości usuwanego powietrza, [m³/s];
- g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²];
- R – stała gazowa powietrza, [J/(kgK)];
- ρ – lokalne ciśnienie atmosferyczne, [Pa];
- c_p – ciepło właściwe powietrza, [J/KgK];
- T_p – temperatura powietrza w pomieszczeniu, [K];
- ρ_p – gęstość powietrza, [kg/m³];
- Q – konwekcyjny przepływ ciepła, [W];
- h – dłuższy bok poziomej płaszczyzny lub średnica płaszczyzn kołowych lub wysokość gorącego obiektu, [m], (rys. 6a – 6c);
- A_p – pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza na górnej krawędzi ogrzanego obiektu, [m²].

Przy ciśnieniu atmosferycznym $p = 101,325$ kPa i temperaturze $T_p = 293$ K = 20°C równanie (5) zapisujemy [3]

$$V = 0,038 \cdot 3 \sqrt{Q \cdot h \cdot A_p^2} \quad (7)$$

Konwekcyjny przepływ ciepła obliczamy ze wzoru:

$$Q = \alpha \cdot A_{\text{pow ogrz}} (T_o - T_p) \quad (8)$$

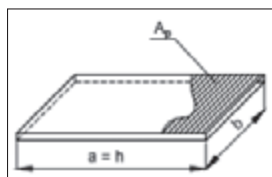
gdzie:

α – to współczynnik przyjmowania ciepła, [W/(m² · K)],

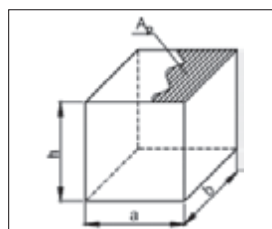
$A_{\text{pow ogrz}}$ – pole ogrzanej powierzchni, [m²],

T_o – temperatura ogrzanej powierzchni.

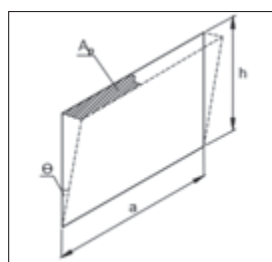
Powierzchnia strumienia usuwanego powietrza A_p przyjmuje różny kształt zależnie od rodzaju i formy elementu emitującego ciepło. Dla płaszczyzn poziomych (rys. 6a) i brył trójwymiarowych (rys. 6b) jest ona w przybliżeniu równa ich rzutowi poziomemu, a dla źródeł ciepła o ścianach pionowych obliczamy ją zakładając, że strumień przy ścianach pionowych rozszerza się pod kątem θ (rys. 6c).



Rys. 6a. Płaszczyzna pozioma
Fig. 6a. Horizontal plane



Rys. 6b. Bryła trójwymiarowa
Fig. 6b. Three-dimensional solid



Rys. 6c. Płaszczyzna pionowa
Fig. 6c. Vertical plane

W przypadku płaszczyzny poziomej i bryły trójwymiarowej, pole powierzchni A_p wynosi:

$$A_p = a \cdot b \quad (9)$$

dla powierzchni kołowych wynika z jej średnicy.

Dla pionowych płaszczyzn:

$$A_p = a \cdot h \cdot \text{tg}\theta \quad (10)$$

gdzie:

a, b – szerokość, długość,

h – wysokość,

θ – kąt jak na rys. 6c, $\theta = 4 \div 5^\circ$.

Jeśli konwekcyjny przepływ ciepła Q jest spowodowany przez parę unoszącą się ze zbiornika wody gorącej, wówczas stosujemy wzór [3]

$$Q = r_p \cdot G \cdot A_p \quad (11)$$

gdzie:

r_p – utajone ciepło parowania, [J/kg];

G – strumień pary, [kg/(s·m²)];

A_p – powierzchnia zbiornika wody gorącej, [m²], wtedy:

$$V = 0,038 \cdot A_p 3 \sqrt{G \cdot r_p \cdot h} \quad (12)$$

gdzie h jak we wzorze (5) i (6).

W temperaturze 100°C, utajone ciepło parowania $r_p = 2,257$ J/kg. Stąd korzystając z równania (11), równanie (12) przyjmuje postać:

$$V = 5 \cdot A_p 3 \sqrt{G \cdot h} \quad (13)$$

Strumień objętości usuwanego powietrza opisany zależnościami (7) i (12) jest wymaganym natężeniem przepływu, w przypadku zastosowania okapu o takich samych wymiarach jak gorący przedmiot lub powierzchnia oraz zastosowano osłony boczne i tylne w celu ochrony przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń w pomieszczeniu [3].

Jeśli osłony nie mogą być zastosowane, należy zwiększyć rozmiar okapu (e , rys. 1) oraz natężenie przepływu, aby zanieczyszczenia nie wydostawały się poza obrys okapu. Zwiększone natężenie przepływu można obliczyć:

$$V_f = V + w_f (A_o - A_p) \quad (14)$$

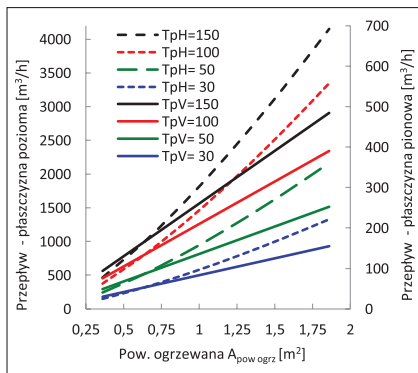
gdzie:

V_f – całkowity strumień objętości usuwanego powietrza na wlocie do nieostoiętego okapu, [m³/s],

V – strumień objętości usuwanego powietrza obliczony za pomocą wzorów (7) lub (12), [m³/s];

w_f – prędkość powietrza w płaszczyźnie wlotowej okapu, $w_{fmin} = 0,5$ m/s należy zwiększyć w przypadku silnych prądów powietrza w pomieszczeniu lub wysokiej emisji zanieczyszczeń z powierzchni, [m/s], A_o pole powierzchni czołowej okapu, [m²], A_p jak we wzorze (5) lub (11), [m²].

Zmiany natężenia przepływu powietrza nad ogrzaną płaszczyzną poziomą i pionową, obliczone w oparciu o wzór (7), przedstawiono na rys. 7. Objętościowe natężenie przepływu powietrza zależy od wielkości, położenia oraz temperatury powierzchni ogrzanej. Jak pokazano na rys. 7, wzrost pola powierzchni oraz temperatury płaszczyzny ogrzanej zwiększa natężenie przepływu usuwanego powietrza. Obliczony przepływ powietrza, z uwagi na kształt strumienia konwekcyjnego, unoszącego się



Rys. 7. Natężenie przepływu powietrza nad ogrzaną płaszczyzną poziomą (linia przerywana) i pionową (linia ciągła)

Fig. 7. Airflow rate over heated horizontal plane (dashed line) and vertical plane (solid line)

znad poziomej powierzchni o wymiarach od około 0,4 do 1,9 m² jest od 5 do ponad 8,6 razy większy, w porównaniu z przepływem z ogrzewanej powierzchni pionowej. W analizowanym przykładzie powierzchnia okapu wynika z pola ogrzewanej powierzchni, a współczynnik przejmowania ciepła przy przepływie burzliwym wyznaczono na podstawie różnicy temperatury powierzchni ogrzewanej T_o i temperatury w pomieszczeniu $T_p = 20^\circ\text{C}$.

Orientacyjną średnicę strumienia ciepłego D na wysokości wlotu do okapu można przyjąć ze wzoru *Suttona* na podstawie [2,3,5,6]

$$D = 0,435 \cdot z_p^{0,88} \quad (16)$$

gdzie z_p to odległość powierzchni czołowej okapu od hipotetycznego punktu źródła ciepła, [m], (rys. 9).

Minimalny strumień objętości powietrza V [m³/h] usuwany przez okap wyznaczamy, na podstawie [5,6] ze wzoru

$$V = 28,52 \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot z_p^{1,5} \quad (17)$$

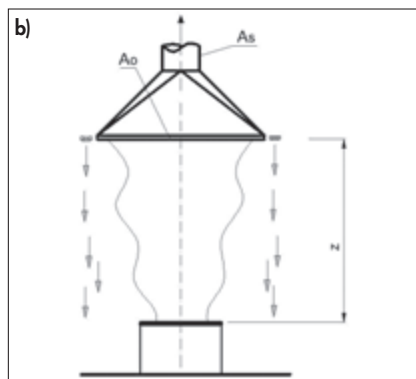
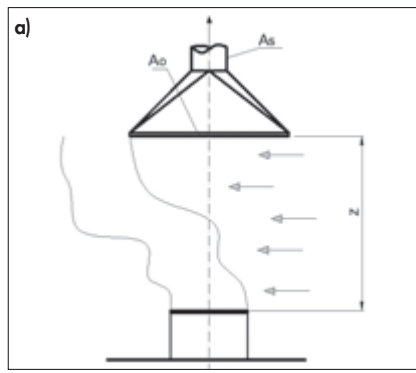
gdzie Q to ilość ciepła oddawana przez źródło drogą konwekcji, [W], natomiast przybliżona wartość z_p wynosi

$$z_p = z + 2b \quad (18)$$

gdzie b [m] to szerokość źródła ciepła.

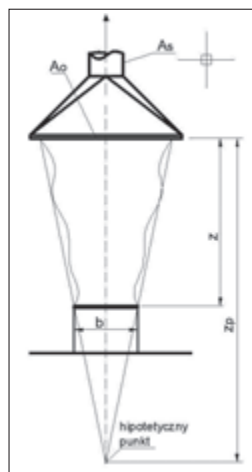
Należy zaznaczyć, że strumień powietrza usuwanego przez okap należy uwzględnić w bilansie strumieni powietrza wentylacji ogólnej.

Zaprezentowanych powyżej wzorów nie stosujemy w przypadku usuwania zanieczyszczeń w kuchniach przemysłowych, towarzyszących powierzchniach oraz w innych instalacjach przetwarzających żywność przeznaczonych do zastosowania przemysłowego, w których stosowane są urządzenia o całkowitym obciążeniu



Rys. 8. Strumień powietrza w przypadku okapu: a) bez kurtyny powietrznej, b) z kurtyną powietrzną, na podst. [3]

Fig. 8. Air stream in the case of exhaust hood: (a) without an air curtain, (b) with an air curtain, based on [3]



Rys. 9. Strumień powietrza usuwany przez okap wysoko położony Fig. 9. Air stream of the high-lying exhaust hood

zeniu nie mniejszym niż 25 kW. W tych przypadkach stosujemy normy [7, 8].

Podsumowanie

Okap jest ważnym elementem systemu miejscowej wentylacji wywiewnej pomieszczeń technologicznych. W artykule przedstawiono podstawowe metody obliczania strumienia objętości powietrza usuwanego przez okap. Analiza wykazała, że w obliczeniach okapów stosowanych w pomieszczeniach technologicznych należy uwzględnić następujące czynniki i parametry:

– Specyfika procesu i rodzaj powstających zanieczyszczeń warunkują wybór typu okapu. Okap górny stosujemy nad źródłem o niewielkiej emisji zanieczyszczeń pyło-

wych lub gazowych oraz w przypadku konwekcyjnego przepływu ciepła lub pary.

– Lokalizacja okapu w stosunku do źródła zanieczyszczenia. Odległość powierzchni czołowej okapu od źródła zanieczyszczenia wpływa na wybór metody obliczania strumienia objętości usuwanego powietrza.

– Wymiary okapu. Powierzchnia wlotowa okapu powinna być większa w porównaniu z powierzchnią źródła zanieczyszczenia. Krawędź okapu powinna wystawać (ze wszystkich stron) poza źródło zanieczyszczenia co najmniej 0,2 m, optymalne wysunięcie to 40% odległości od czoła okapu do ogrzewanej powierzchni. W przypadku okapów wysoko położonych należy uwzględnić szerokość strumienia termicznego na wysokości wlotu do okapu.

– W przypadku okapów nisko położonych, stosowanych przy niewielkiej emisji zanieczyszczeń pyłowych lub gazowych, natężenie przepływu powietrza wzrasta zarówno przy zwiększeniu powierzchni wlotowej okapu jak również pod wpływem prądów powietrza w pomieszczeniu, zwłaszcza o dużym nasileniu.

– Jeżeli źródło emituje ciepło, okap położony w odległości od 1 do 3 m ujmie strumień ogrzanego i wilgotnego powietrza. Obliczany strumień objętości usuwanego powietrza zależy od kształtu, wielkości i wydatku ciepła powierzchni ogrzewanej lub emitującej parę oraz długości swobodnej drogi strumienia konwekcyjnego.

System miejscowej wentylacji wywiewnej z prawidłowo zaprojektowanym i skutecznie działającym okapem – współpracujący z wentylacją ogólną pomieszczenia technologicznego – ogranicza rozprzestrzenianie się szkodliwych substancji i pozwala na utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniu.

LITERATURA

- [1] 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 (Dz.U. 2018 r. poz. 1286) Mierziński S., Aerodynamika wentylacji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015.
- [2] ASHRAE Handbook – HVAC Application 1999, 2011, 2015.
- [3] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodziwo 08/09. Omni Scala, Wrocław 2008.
- [4] Szymański T., Wasiluk W., Systemy wentylacji przemysłowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2000.
- [5] Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja. PWN, Warszawa, 1974.
- [6] VDI 2052 Blatt 1:2017 – 04 Raumlufttechnik – Küchen (VDI – Lüftungsregeln).
- [7] PN-EN 16282 – 1:2017-09 Wyposażenie kuchni przemysłowych. Elementy składowe do wentylacji kuchni przemysłowych. Część 1: Ogólne wymagania włącznie z metodą obliczeń.