

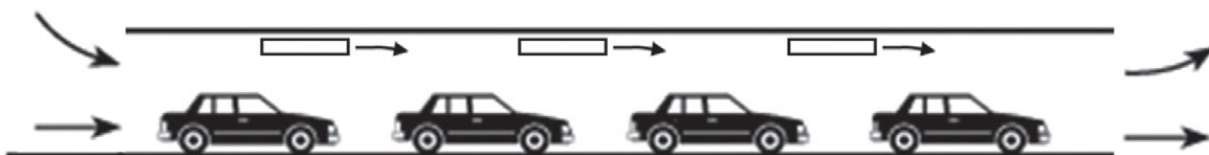
Artykuł stanowi kontynuację publikacji „Systemy wentylacji pożarowej tuneli drogowych”, która ukazała się w numerze 5/2015 miesięcznika „Chłodnictwo & Klimatyzacja” [1]. Omówiono tam rodzaje systemów wentylacji pożarowej tuneli drogowych wraz z definicją zakresu ich stosowania zawartą w dokumentach normatywnych przykładowych państw europejskich i Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej.

Niniejsza publikacja dotyczyć będzie jednego z najczęściej stosowanych systemów wentylacji tuneli drogowych i kolejowych, w tym metra, tj. systemu mechanicznej wentylacji wzdłużnej w warunkach pożaru.

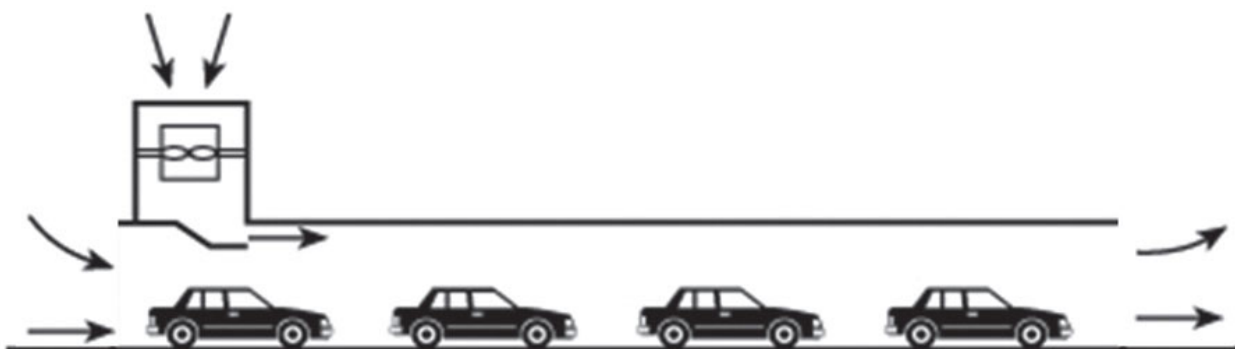
System wentylacji wzdłużnej w warunkach normalnej eksploatacji ma za zadanie obniżenie stężenia zanieczyszczeń gazowych. W warunkach pożaru system wentylacji odpowiedzialny jest za skuteczne odprowadzanie dymu i ciepła gwarantujące możliwość ewakuacji osób znajdujących się w tunelu oraz wspomaganie prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Spełnienie tych wymagań uzyskuje się przez zapewnienie właściwego, pod względem prędkości i kierunku, przepływu powietrza w tunelu, wywołanego pracą urządzeń wentylacyjnych.

### **Zasada działania systemu mechanicznej wentylacji**

wzdłużnej tunelu w warunkach pożaru. Wyróżnia się dwa rodzaje systemów mechanicznej wentylacji wzdłużnej: system wentylacji wzdłużnej z zastosowaniem wentylatorów strumieniowych (rys. 1.), zainstalowanych najczęściej pod stropem tunelu oraz system wentylacji wzdłużnej typu Saccardo nozzle [2] (rys. 2.).



Rys. 1. Schemat wentylacji wzdłużnej tuneli drogowych z wentylatorami strumieniowymi



Rys. 2. Schemat wentylacji wzdłużnej tunelu drogowego typu Saccardo nozzle

Niezależnie od typu systemu mechanicznej wentylacji wzdłużnej, celem nadrzędnym systemu jest wytworzenie takiej prędkości przepływu powietrza w całym przekroju tunelu, która zapewni przemieszczanie się dymu i ciepła w kierunku jednej z głowic tunelu [3, 4].

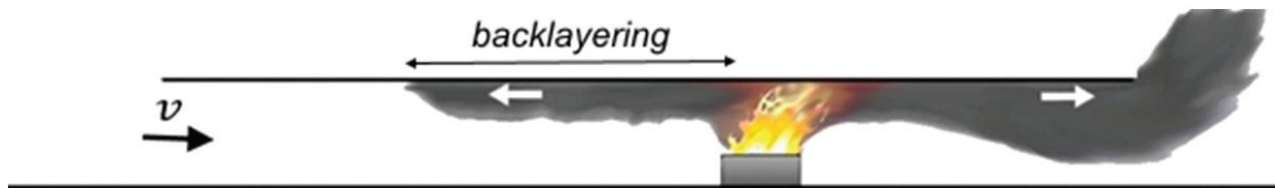
Rozprzestrzenianie się dymu i ciepła w tunelu uzależnione jest od wielu czynników, jednak największy wpływ ma prędkość przepływu powietrza – przy prędkości bliskiej bądź równej zero gorąca mieszanina dymu i powietrza unoszona ku górze porywa chłodne powietrze z przestrzeni otaczającej źródło pożaru. Kształtująca się kolumna konwekcyjna, docierając w bezpośrednie sąsiedztwo stropu tunelu, dzieli się na dwa strumienie przemieszczające się w dwóch przeciwnych kierunkach wzdłuż stropu (rys. 3.).



Rys. 3. Przepływ mieszaniny dymu i powietrza w tunelu o prędkości przepływu powietrza bliskiej zeru

Zasięg tych strumieni uzależniony jest m.in. od mocy pożaru oraz intensywności mieszania się dymu i gorących gazów pożarowych z napływającym chłodnym powietrzem. Wyraźny jest rozdział warstwy dymu od chłodnego powietrza. W procesie mieszania się strumienie podstropowe zwiększają swoją objętość przy jednocześnie zmniejszającej się różnicy temperatury. W obszarze, w którym nie występuje różnica temperatury, chłodny już dym przemieszcza się w kierunku jezdni.

Wraz z pojawieniem się w tunelu ruchu powietrza z prędkością bliską bądź większą od 1,0 m/s osiowo-symetryczny charakter kolumny konwekcyjnej zostaje zaburzony. Część dymu przemieszcza się w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza w tunelu, zaś pozostała w kierunku przeciwnym. Zjawisko cofania się warstwy dymu w odniesieniu do założonego kierunku przepływu powietrza w tunelu w literaturze obcojęzycznej nosi nazwę backlayering (rys. 4.). Występowanie zjawiska przepływu dymu w kierunku przeciwnym do założonego w tunelach jest niepożądane i niekorzystne ze względu na wskazany kierunek ewakuacji ludzi (przeciwny do kierunku przepływu dymu) oraz sposób prowadzenia działań ratowniczo- gaśniczych.



Rys. 4. Przepływ mieszaniny dymu i powietrza w tunelu o prędkości przepływu powietrza bliskiej bądź większej od 1,0 m/s – zjawisko cofania się warstwy dymu

Wzrost prędkości przepływu powietrza w przekroju tunelu powoduje zmniejszenie zasięgu strumienia dymu płynącego w przeciwnym kierunku, aż do całkowitego wyeliminowania (rys. 5.). Prędkość przepływu powietrza w tunelu, przy której zjawisko to nie występuje, określa się mianem prędkości krytycznej ( $v_{cr}$ ).



Rys. 5. Przepływ mieszaniny dymu i powietrza w tunelu o prędkości przepływu powietrza równej prędkości krytycznej

Najczęściej stosowaną zależnością matematyczną do wyznaczenia wartości prędkości krytycznej w przekroju tunelu jest układ równań rozwiązywany iteracyjnie, zaproponowany przez Kennedy, Gonzalez i Sanchez [5] w 1996 roku. Jego zmodyfikowaną formę podaje norma NFPA 502 [9] w następującej formie:

$$v_{cr} = K_1 K_g \left( \frac{gHQ}{c_p \rho_o A T} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$K_1 = Fr_{cr}^{-\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$K_g = 1 + 0,0374(\psi)^{0,8} \quad (3)$$

$$T = \frac{Q}{c_p \rho_o A v_{cr}} + T_o \quad (4)$$

gdzie:

$v_{cr}$  – prędkość krytyczna powietrza (m/s) w przekroju tunelu w sąsiedztwie źródła pożaru po stronie „nawietrznej” (m/s)

$K_g$  – współczynnik korekcyjny uwzględniający nachylenie tunelu (-),

$g$  – przyśpieszenie ziemskie (m/s<sup>2</sup>),

$H$  – wysokość tunelu (m),

$Q$  – obliczeniowa całkowita moc pożaru (kW),

$c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu w temperaturze otoczenia (kJ/kgK),

$\rho_o$  – gęstość powietrza w temp. otoczenia (kg/m<sup>3</sup>),

$A$  – pole przekroju poprzecznego tunelu w sąsiedztwie źródła pożaru (m<sup>2</sup>),

$T$  – przewidywana temperatura gazów pożarowych (K),

$\psi$  – kąt nachylenia tunelu ( $^{\circ}$ ),

$T_o$  – temperatura otoczenia (K),

$F_{rcr}$  – krytyczna wartość liczby Froude'a przyjmowana na podstawie pracy [6] i równa 4,5 (–).

Ze względu na zasadę działania systemu, która polega na przemieszczaniu dymu z założoną prędkością, a nie przetłaczaniu go, wyznaczona prędkość krytyczna dla projektowanej mocy pożaru służy do obliczenia wymaganej całkowitej siły ciągu wywołanej pracą wentylatorów strumieniowych.

### Przewidywana moc pożaru w tunelach drogowych

(...)



## Wyznaczenie wymaganej siły ciągu

### Siła ciągu

(...)

### Strata ciśnienia związana z przepływem powietrza w pustym tunelu

(...)

### Straty ciśnienia na wlocie i wylocie z tunelu

(...)

**Strata ciśnienia wywołana pojazdami znajdującymi się w tunelu po stronie „nawietrznej”**

(...)

**Strata ciśnienia powietrza związana z przepływem przez obszar źródła pożaru**

(...)

## Strata ciśnienia powietrza związana z różnicą wysokości i położenia portali tunelu

(...)

## Oddziaływanie wiatru

(...)

## Całkowita siła ciągu

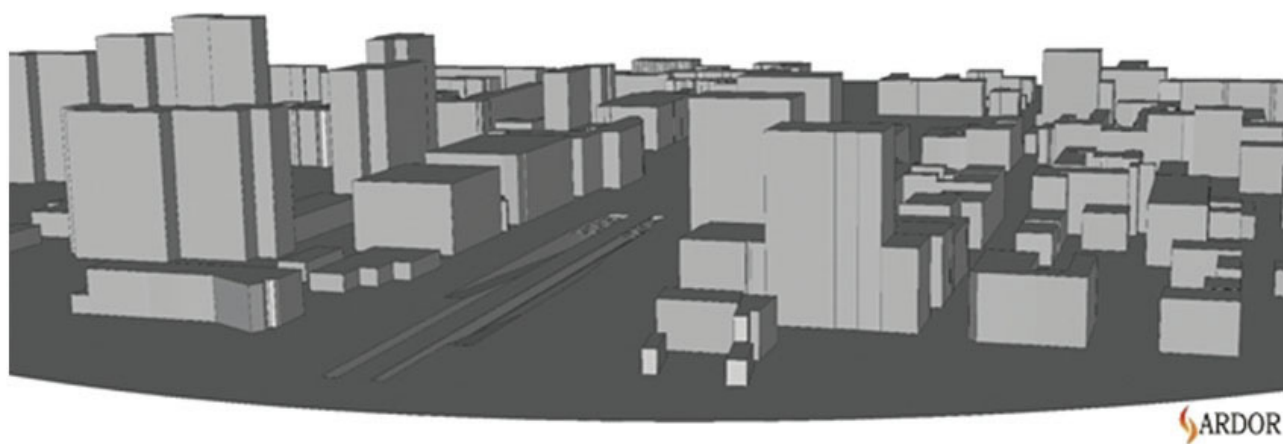
(...)

### Podsumowanie

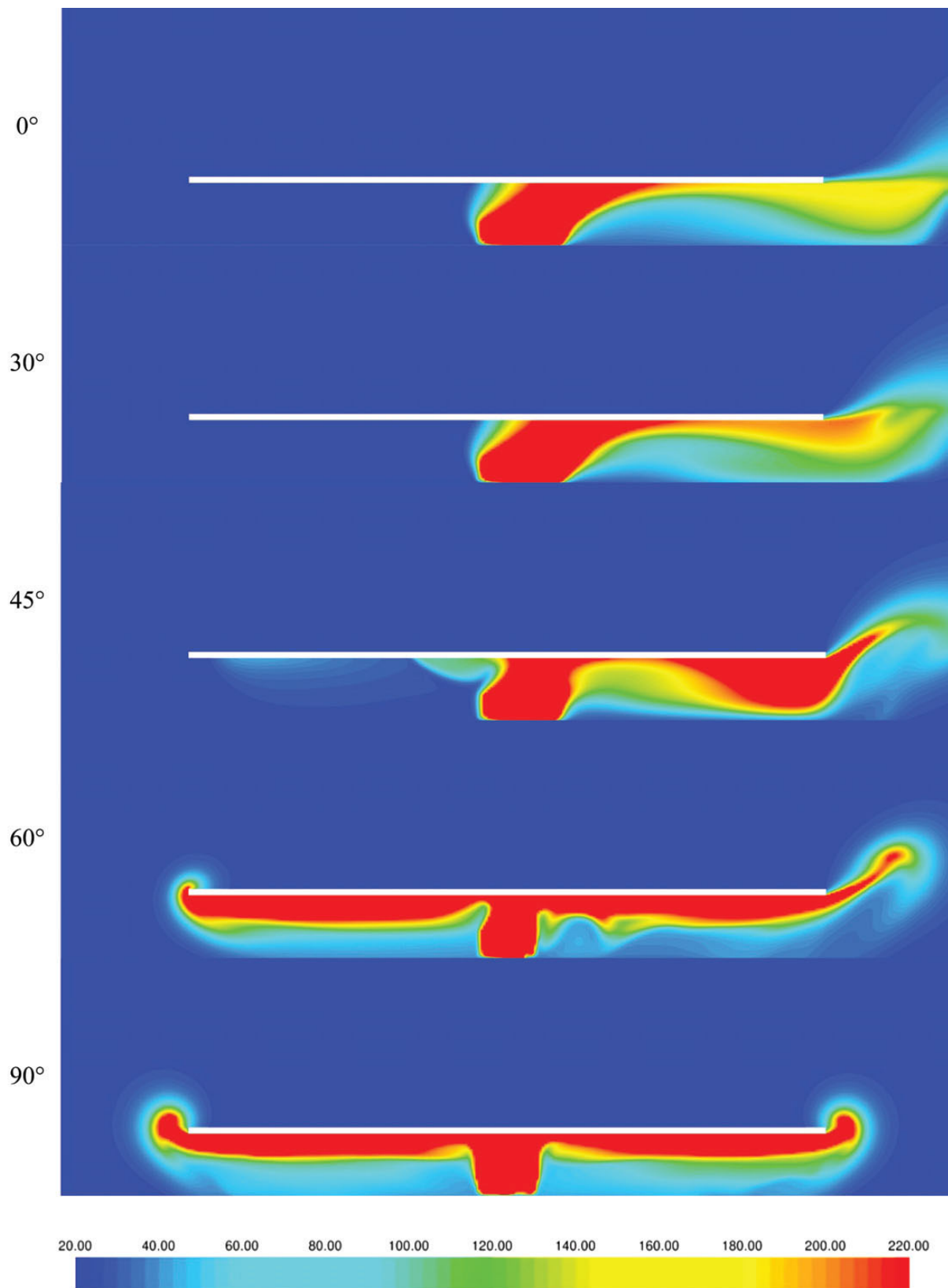
System mechanicznej wentylacji wzdłużnej stosuje się najczęściej w tunelach drogowych o ruchu jednokierunkowym w danej nawie o długości nieprzekraczającej 3000 m.

W przypadku projektowania systemu wentylacji wzdłużnej z wentylatorami strumieniowymi, dobierając liczbę wentylatorów strumieniowych, należy mieć na uwadze następujące czynniki:

- wentylatory strumieniowe powinny być umieszczane pod stropem tunelu w środku szerokości tunelu. Usytuowanie wentylatorów strumieniowych przy ścianie lub ścianach bocznych tunelu powoduje zmniejszenie efektywności pracy wentylatora strumieniowego poprzez obniżenie jego siły ciągu, co wpływa na obniżenie skuteczności całego systemu. Należy ten fakt uwzględnić w obliczeniach wymaganej siły ciągu;
- odległość pomiędzy wentylatorami strumieniowymi powinna uwzględniać ich charakterystykę działania a w szczególności wielkość efektywnego zasięgu strugi przemieszczanej przez wentylator strumieniowy;
- wentylatory znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie źródła pożaru ulegną uszkodzeniu, w związku z tym ich siła ciągu nie jest brana pod uwagę;
- wentylatory pracujące w strumieniu gorących gazów pożarowych (po stronie „zawietrznej”), w oddaleniu od źródła pożaru, mają niższą siłę ciągu ze względu na wyższą temperaturę przemieszczanych gazów;
- zakłada się przepływ mieszaniny powietrza i gorących gazów pożarowych zgodny z ruchem pojazdów w danej nawie. W związku z tym najbardziej niekorzystną lokalizacją pożaru może okazać się pożar w rejonie wjazdu do tunelu;
- mając na uwadze usuwanie dymu przez portal wyjazdowy nawy tunelu objętej pożarem, należy zapewnić ochronę przed zadymieniem sąsiedniej nawy, o ile występuje.



Rys. 6. Model trójwymiarowy terenu otoczenia tunelu wykonany na potrzeby analiz CFD, w celu oceny oddziaływania wiatru na tunel drogowy



Wykres 7: Działanie temperatury wzdłuż tuneli drogowych (kolorowe linie) w funkcji kąta widzenia (0°, 30°, 45°, 60°) w warunkach pożaru. Wykres ten przedstawia zmiany temperatury wzdłuż tuneli drogowych w zależności od kąta widzenia (0°, 30°, 45°, 60°) w warunkach pożaru. Wykres ten przedstawia zmiany temperatury wzdłuż tuneli drogowych w zależności od kąta widzenia (0°, 30°, 45°, 60°) w warunkach pożaru.