

KONSPEKT WYKŁADY Z PRZEDMIOTU

**WENTYLACJA WYBRANYCH OBIEKTÓW
PODZIEMNYCH**

**OPRACOWAŁ DR HAB.INŻ. STANISŁAW NAWRAT –
PROF.AGH**

WYKŁAD 5 WOP

**TEMAT: Pożary w tunelach komunikacyjnych: drogi
ucieczkowe, wentylacja, gaszenie pożarów, akcje
przeciwpozarowe, systemy bezpieczeństwa.**

ZAGROŻENIE POŻAROWE W TUNELACH

Pomimo wyposażenia tuneli w nowoczesne systemy bezpieczeństwa pożary, wypadki i katastrofy w tunelach są dość częstym zjawiskiem. Potwierdzają to także pożary zaistniałe w ostatnich latach:

- 24 marca 1999 r. wybuchł pożar w tunelu drogowym Mont Blanc, który spowodował śmierć 39 ludzi;
- 18 listopada 2000 r. pożar w Eurotunelu;
- 27 listopada 2000 r. pożar w tunelu Leardal.

Za główne przyczyny katastrof w tunelach komunikacyjnych można uznać nieprzystosowanie ich do znacznego wzrostu intensywności ruchu, nieostrożność kierowców, a także awaryjność taboru komunikacyjnego i zawodność systemów bezpieczeństwa.

W związku z tym problemy w zakresie prawidłowego przewietrzania, zabezpieczenia przeciwpożarowego i ewakuacji ludzi są nadal aktualne. Szczególnie wymagają dalszych badań i stosowania nowoczesnych rozwiązań w zakresie struktur i konstrukcji budowlanych, automatycznych systemów kontroli zagrożenia pożarowego, sterowania parametrami stanu wentylacji, systemów gaszenia pożarów, i bezpiecznej i sprawnej ewakuacji ludzi.

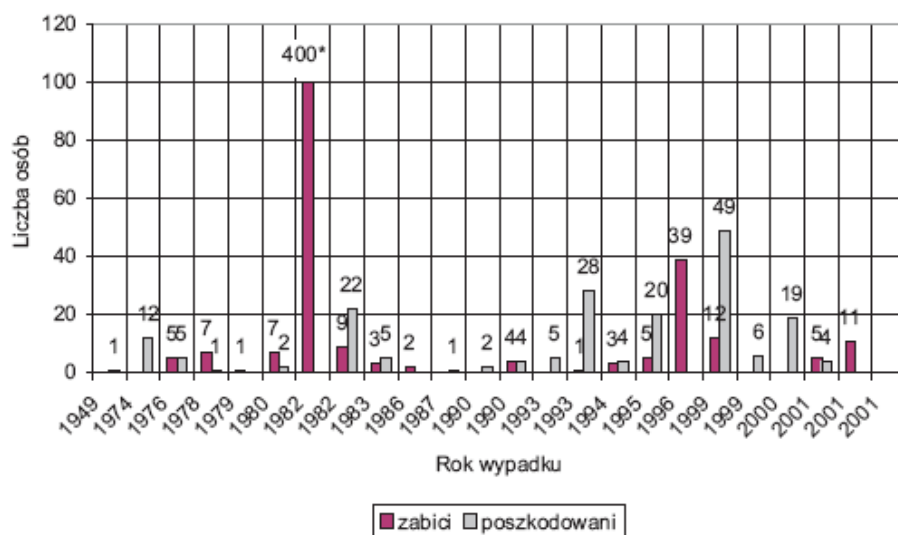
Pożary w tunelach komunikacyjnych stanowią realne zagrożenie nie tylko dla ludzi i pojazdów, ale także dla konstrukcji obiektów budowlanych (tab. 5.1) [15].

Tabela 0.1

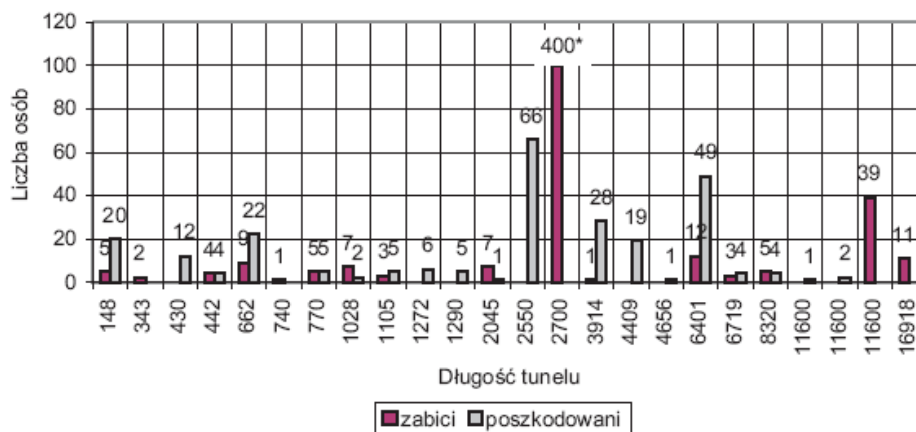
Niektóre wypadki pożarów w tunelach samochodowych [16]

Pożar w tunelu						Konsekwencje		
Rok	Długość tunelu m	Kraj	Pojazd w którym zauważono pożar	Prawdopodobna przyczyna pożaru	Czas trwania pożaru	Konsekwencje w ludziach	Zniszczone pojazdy	Obudowa tunelu i instalacje
1979	Nihonzaka 2 045 m	Shizuoka Japonia	4 samochody ciężarowe, 2 samochody osobowe	kolizja przód-tył pojazdów i pożar	159 h	7 ofiar śmiertelnych, 1 poszkodowany	127 samochodów ciężarowe, 46 samochody osobowe	poważne uszkodzenie tunelu na długości 1100 m
1982	Caldecott 1 028 m	Oakland USA	1 samochód osobowy, 1 autokar, 1 samochód ciężarowy z 33000 l benzyny	kolizja przód-tył pojazdów i pożar	2h 40min	7 ofiar śmiertelnych i 2 poszkodowanych	3 samochody ciężarowe, 1 autokar, 4 samochody osobowe	poważne uszkodzenie tunelu na długości 580 m
1994	Huguenot 3 914 m	Południowa Afryka	autobus z 45 pasażerami	zwarcie instalacji elektrycznej i pożar	1h	1 ofiara śmiertelna i 28 poszkodowanych	1 autobus	poważne uszkodzenie tunelu
1999 24 Marca	Mont Blanc 11 600 m	Francja- Włochy	samochód ciężarowy	wyciek oleju z silnika i pożar	–	41 ofiar śmiertelnych	23 samochody ciężarowe, 10 samochodów osobowych, 1 motocykl, 2 samochody straży pożarnej	poważne uszkodzenie tunelu, ponownie otwarty 22.12.2001
2000 18 listopada	Eurotunnel	Wielka Brytania – Francja	samochód ciężarowy	wyciek oleju z silnika samochodu i pożar	7 h.	–	10 samochodów, uszkodzenie tunelu	zatrzymanie ruchu przez okres 7 godzin

Pożar w tunelu						Konsekwencje		
Rok	Długość tunelu m	Kraj	Pojazd w którym zauważono pożar	Prawdopodobna przyczyna pożaru	Czas trwania pożaru	Konsekwencje w ludziach	Zniszczone pojazdy	Obudowa tunelu i instalacje
2000 27 listopada	Leardal 24510 m	Norwegia	autobus	zapalenie się wentylatora w autobusie	1 h	–	1 autobus	–
2001 6 sierpnia	Gleinalm 8 320 m	A 9 w pobliżu Graz Austria	samochód osobowy	zderzenie czołowe samochodu osobowego i ciężarowego	–	5 ofiar śmiertelnych 4 poszkodowanych	1 samochód ciężarowy, 1 samochód osobowy	–



Rys. 0.1. Dynamika ilości wypadków w tunelach

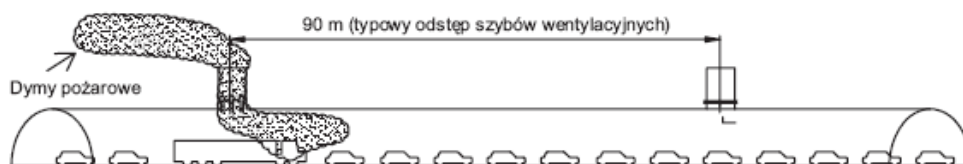


Rys. 0.2. Ilości wypadków w tunelach oraz długości tuneli

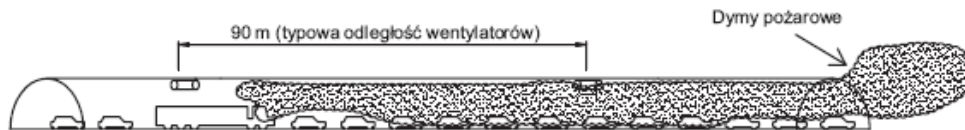
Zależność pomiędzy ilością ludzi poszkodowanych i zabitych w wypadkach w tunelach w zależności od czasu ich wystąpienia (rys. 5.1.) wskazuje, że w ostatnich latach nastąpił duży wzrost ilości poszkodowanych wskutek dynamicznego wzrostu natężenia ruchu i nieprzystosowania tuneli do tych potrzeb.

Z wzrostem długości tuneli wzrasta ilość ludzi poszkodowanych i zabitych w wypadkach spowodowanych pożarami (rys. 5.2).

Szczególnie dużym zagrożeniem jest wystąpienie i rozprzestrzenianie się w tunelu zadymienia powstałego wyniku pożaru, które uniemożliwia ewakuację ludzi z tunelu i jest przyczyną wielu wypadków zatrucia oraz śmierci. O dynamice propagacji dymów w tunelu decyduje intensywność ogniska pożaru (wielkość i rodzaj palących się materiałów i paliw), a także system wentylacji i prędkość przepływu powietrza w tunelu rys. 5.3 i 5.4.



Rys. 0.3. Rozprzestrzenianie się dymów przy wentylacji z sztybami ssącymi



Rys. 0.4. Rozprzestrzenianie się dymów przy wentylacji wspomaganiej wentylatorami

Pożar w tunelu drogowym „Mont Blanc”

Tunel Mont Blanc został zbudowany w latach 1956 – 1964 o długość 11 600 m, jako tunel z jedną jezdnią dwupasmową i ruchem dwukierunkowym (w każdą stronę). Przez tunel prowadzi najkrótsza droga z Paryża do Rzymu [36]. Z tego względu obsługuje on około 50 % transportu kołowego między Francją i Włochami. 24 marca 1999 roku w tunelu doszło do katastrofy. Belgijska ciężarówka Volvo znajdująca się w tunelu w odległości około 7 km od francuskiego portalu stanęła w płomieniach, blokując ruch na jednym pasie jezdni. Powodem wybuchu pożaru był żarzący się niedopałek papierosa w filtrze powietrznym samochodu. Dopiero po 9 minutach w tunelu zapaliły się czerwone światła alarmowe w związku z tym przez ten czas samochody jechały w kierunku pożaru. Pożar szybko rozprzestrzenił się z pojazdu na pojazd. Tunel został bardzo silnie zadymiony. Gęsty dym uniemożliwiał orientację i prowadzenie obserwacji przez kamery. Temperatura osiągnęła nawet 1000 °C. Dla uwięzionych w samochodach ludzi, a także tych, którzy usiłowali dostać się do przejść ewakuacyjnych nie było ratunku. Po zwiększeniu wydatku powietrza sytuacja uległa jeszcze pogorszeniu. Przez kolejne trzy dni z obu stron tunelu wydobywał się dym. W katastrofie zginęło 39 ludzi, spłonęło 7 samochodów ciężarowych i około 20 samochodów osobowych. Tunel został zamknięty na okres 3 lat.

Przebieg pożaru

- Wielkość ruchu w tunelu wynosiła 150 sam/godzinę (50% ciężarowych);
- Prędkość jazdy pojazdów w tunelu ok. 60 km/h;
- Belgijska ciężarówka (chłodnia) była załadowana mąką i margaryną a także posiadała materiały palne w zbiorniku pojazdu – 1000 l oleju napędowego;

- Kontrola samochodów i ładunku przeprowadzona przez francuską policję, nie wykazała nic szczególnego;
- Przebieg pożaru przedstawia tabela 5.2.

Tabela 5.2

Chronometraż pierwszego stadium pożaru

Czas	Zdarzenia
10:46	Wjazd belgijskiej ciężarówki
10:52	Kierowca ciężarówki zauważył dym, po otrzymaniu wiadomości od pozostałych kierowców
10:53	Kierowca ciężarówki zatrzymuje się na awaryjnym postoju nr 21
10:52	Alarm „zaciemnienie monitora” w kamerze obserwacyjnej z postoju nr 21
10:54	Telefon alarmowy z postoju nr 22
10:54	Pożar zauważony przez urządzenia kontrolne na postoju 21
10:54	Rozmowa pomiędzy stacjami kontroli znajdującymi się po stronie francuskiej i włoskiej
10:55- 10:56	Zamknięty wjazd do tunelu
10:57	Kierowca ciężarówki zużył gaśnice i ucieka od samochodu, bo zauważył płomień ognia w kabinie

Rozwój pożaru według francuskiej policji:

Powstałe dymy pożarowe rozprzestrzeniały się z prędkością 1,5 do 2 m/s i w wyniku, czego nastąpiło o godzinach:

- 10:55 – zadymienie 900m tunelu,
- 10:59 – zadymienie 1200m tunelu,
- 11:15 – zadymienie 2600m tunelu,

11:32 – zadymienie 4800m tunelu.

Wielkość katastrofy

Pożar spowodował 39 wypadków śmiertelnych w tym:

- 32 wypadki którym ulegli kierowcy i pasażerowie w samochodach;
- 7 wypadków którym ulegli ratownicy prowadzący akcję w tunelu.

Straty materialne:

- Tunel został uszkodzony na odcinku 900 m;
- Pojazdy zostały uszkodzone: 4 samochody ciężarowe, 2 samochody straży pożarnej, 9 samochodów osobowych i 1 motocykl;
- Konieczność przeprowadzenia naprawy uszkodzonego odcinka tunelu i generalnej modernizacji technicznej, przeciwpożarowej i organizacyjnej w tunelu;
- Zamknięcie tunelu dla komunikacji przez okres 3 lat.

Przyczyny pożaru i katastrofy:

Specjalna Komisja określiła następujące główne przyczyny katastrofy:

1. Znaczne zwiększenie ruchu drogowego;
2. Tunel z jedną jezdnią – dwupasmową i ruchem w każdą stronę nie daje możliwości zawrócenia bądź ominięcia przeszkody;
3. Nieprawidłowe działanie przestarzałego systemu wentylacyjnego;
4. Niewstrzymanie ruchu w momencie wybuchu pożaru – światła sygnalizacyjne z odległości 1200 m były słabo widoczne z tego powodu częściowo uszkodzone samochody zderzyły się z ciężarówką;
5. Szybkie wystąpienie trujących gazów, które spowodowały śmierć kierowców (zatrucie tlenkiem węgla lub uduszenie wskutek niewystarczającej zawartości tlenu w powietrzu);
6. nieskuteczne działanie kanału odsysającego;
7. Niedostateczne wykształcenie, wyposażenie techniczne i trudności w skoordynowaniu akcji ratowniczej, którą prowadziły niezależnie strona włoska i francuska.

Zalecenia powypadkowe – zadania naprawcze

Ustalenia powypadkowe zmierzające do poprawienia bezpieczeństwa w tunelu zakładały między innymi:

- poprawę automatycznych systemów bezpieczeństwa: czuwania i systemów kontrolnych i informacyjnych o ruchu,
- zmianę systemu wentylacji,
- poprawienie pomieszczeń uciezkowych,
- wykonanie nowych dróg uciezkowych i nowych zatok bezpieczeństwa,
- opracowanie systemu kontroli wjeżdżających samochodów,
- utworzenie własnych drużyn ratowniczych i ich szkolenie,



Rys. 0.5. Widok tunelu Mont Blanc po pożarze [3]

Pożar w tunelu drogowym Gotthard

Tunel Alp Transit Gotthard jest jednym z głównych drogowych punktów tranzytowych między północą i południem Alp. Został otwarty w 1980 roku. Pod względem długości zajmuje drugie miejsce na świecie – 16 918 m. Każdego dnia tunelem przejeżdżało średnio 19000 pojazdów. 24 października 2001 r. wybuchł pożar 2 km od południowego wjazdu do tunelu. Przyczyną pożaru było zderzenie dwóch ciężarówek. Ogień rozszerzył się na długości kilkuset metrów. Zawaliła się część sklepienia tunelu. Tunel uległ zadymieniu, temperatura ogniska pożaru sięgała ponad 1000 °C. Ratownicy gasząc pożar, zdołali obniżyć temperaturę do 200 °C. Po wystąpieniu pożaru natychmiast podjęto akcję ewakuacji ludzi z tunelu. Większość użytkowników zdołała sama opuścić tunel, zawracając samochody albo uciekając do biegnącego równolegle tunelu ewakuacyjnego. Wiele osób zostało rannych lub zmarło z powodu zatrucia gazami toksycznymi (11 osób). W skutek uszkodzeń powstałych w czasie pożaru tunel został zamknięty na kilka miesięcy.

Pożar w tunelu drogowym Gleinalmtunnel

6 sierpnia 2001r. doszło do zderzenia dwóch samochodów w ponad ośmiokilometrowym tunelu drogowym Gleinalmtunnel, niedaleko austriackiego miasta Graz. Po zderzeniu wybuchł pożar mniej więcej w połowie długości tunelu. Pięć osób zginęło, a cztery inne zostały ranne.

Pożar w Eurotunelu

Pożar w Eurotunelu wybuchł 18 listopada 1996 r., kiedy pociąg wadłowy wjechał do tunelu ze składem wagonów. W nich zapalił się samochód [22]. Przebieg pożaru przedstawia tabela 5.3.

Tabela 5.3.

Chronometraż pożaru:

Godzina	ZDARZENIE
---------	-----------

21.4 8	Wjazd pociągu do tunelu;
21.4 9	Alarm o wystąpieniu dymów w tunelu dotarł do Centrum Ruchu i Bezpieczeństwa;
21.5 0	Powtórny sygnał alarmowy;
21.5 4	Potwierdzony alarm pożarowy;
21.57	Sygnalizacja u maszynisty pociągu o zagrożeniu i wymuszonym zatrzymaniu przez system automatyczny;
21.5 9	Maszynista poinformował o zatrzymaniu pociągu;
22. 04	Wjazd do tunelu ze stron angielskiej i francuskiej pociągów pożarniczych;
22.0 4	Centrum Ruchu i Bezpieczeństwa uruchamia wentylacyjne systemy przeciwpożarowe;
22.1 2	Centrum Ruchu i Bezpieczeństwa otwiera tamy umożliwiające doprowadzenie powietrza dla rozrzedzenia dymów w tunelu;
22.2 5	Evakuacja pasażerów pociągu do tunelu konserwacyjnego;
22.5 6	Przybycie na miejsce pożaru pociągu pożarniczego;
05.0 0	Całkowite ugaszenie pożaru i zakończenie akcji.

Rozwój pożaru

1. Ogień pożaru został przeniesiony w czasie jazdy do sąsiednich wagonów (rys. 5.6.);
2. Temperatura pożaru osiągnęła 1000 °C;
3. Pożar spowodował poważne uszkodzenia 46 m tunelu w miejscu, gdzie nastąpiło zatrzymanie pociągu, a zasięg różnych uszkodzeń objął dalsze 500 m.



Rys. 0.6. Spalony wagon po pożarze w Eurotunelu [20]

Eksperymentalne i modelowe Badania przebiegu pożaru w tunelach

W oparciu o badania eksperymentalne lub modelowe dla każdego tunelu może być określony stopień bezpieczeństwa uwzględniający szczególnie zagrożenie pożarowe.

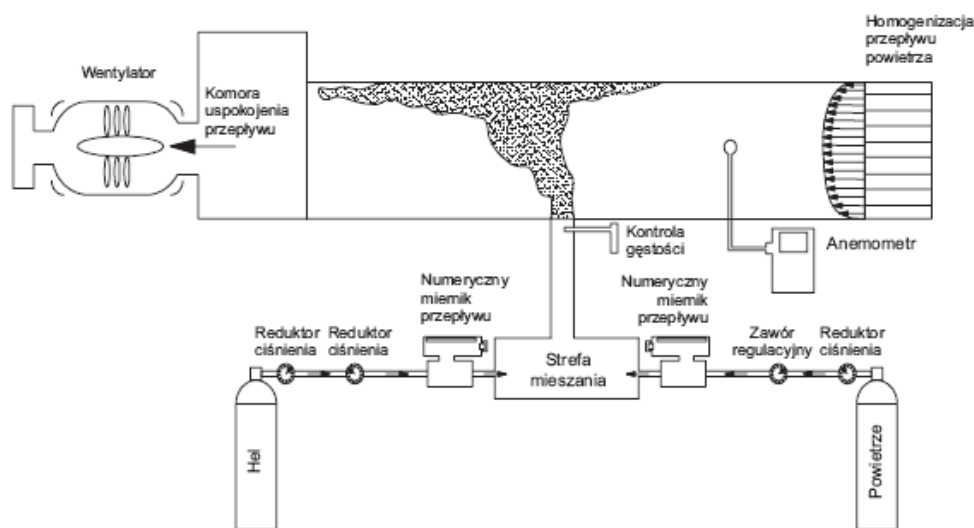
Badania eksperymentalne pożaru mogą być prowadzone w danym tunelu, przy czym bardzo trudno zrealizować pełny ich zakres ze względu na możliwości trwałego uszkodzenia tunelu, stąd zazwyczaj badania „in situ” prowadzane są w specjalnych doświadczalnych tunelach, które nie zawsze stanowią pełne odwzorowanie badanego – przeznaczonego do eksploatacji – tunelu. Badania eksperymentalne w tunelach są bardzo trudne i kosztowne,

ale zapewniają bardzo duże podobieństwo w stosunku do stanu rzeczywistego.

Bardzo dużo informacji mogą dać badania modelowe przeprowadzane na modelach laboratoryjnych zapewniających wymagane podobieństwa geometryczne i przepływowe lub badania oparte na modelach matematycznych i wykorzystaniu komputerowej techniki obliczeniowej.

Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne polegają na wykonaniu modelu tunelu posiadającego duży stopień podobieństwa geometrycznego i przepływowego oraz na badaniu dynamiki pożaru i rozplywu gazów pożarowych, np. przez wtłaczanie określonych gazów do powietrza w tunelu modelowym i obserwowaniu propagacji tych gazów [6]. Taka metodyka badań daje nam możliwości przeprowadzenia symulacji pożaru w wielu konfiguracjach. Schemat modelu laboratoryjnego umożliwiający badanie zagrożenia pożarowego w tunelach przedstawia rys. 5.7.



Rys. 0.7. Schemat modelu laboratoryjnego do badania zagrożenia pożarowego w tunelach [6]

Model laboratoryjny tunelu posiadał następujące parametry i właściwości:

- parametry geometryczne tunelu – długość: 10 m, wysokość: 10 do 40 cm, szerokość: 10 do 60 cm, nachylenie: $\pm 10^\circ$,
- pożar symulowany jest przez: powietrze i hel,
- system wentylacji tuneli: wentylacja wzdłużna.

Regulując przepływ powietrza przez model tunelu można obserwować oraz rejestrować propagację gazów pożarowych. Model tego typu pozwala na dowolne regulowanie parametrów wentylacyjnych takich jak: prędkość powietrza intensywność pożaru itp.

Modele numeryczne

Znanych jest wiele metod modelowania numerycznego przebiegu pożaru w tunelach. Metody numeryczne w oparciu o modele matematyczne odwzorowujące stan rzeczywisty, pozwalają wyznaczyć parametry charakteryzujące stan i dynamikę rozwoju pożaru w tunelu. Taki sposób badań daje nam możliwość symulacji wielu sytuacji związanych z wystąpieniem pożaru w tunelu.

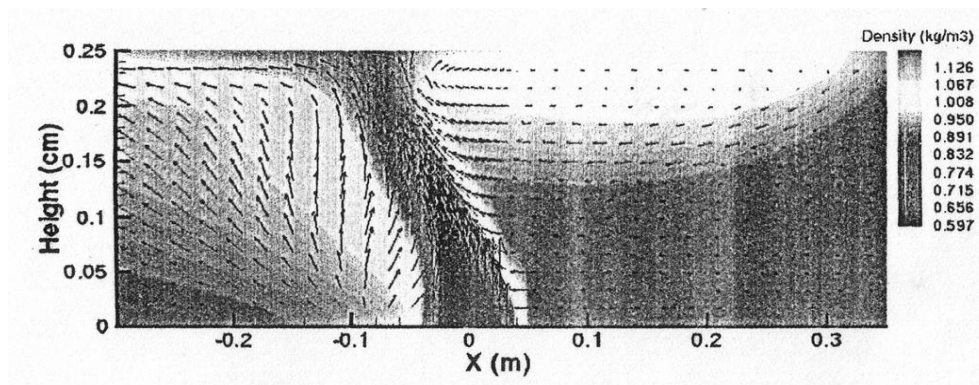
CFD – Computational Fluid Dynamics (numeryczna mechanika płynów) to nowa dziedzina znajdująca zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu. Programy wykorzystujące osiągnięcia CFD umożliwiają szczegółową analizę zagadnień związanych z przepływem płynów, eliminując konieczność przeprowadzenia czasochłonnych i kosztownych badań doświadczalnych podczas cyklu projektowania i modernizacji urządzeń.

Programy CFD pozwalają uzyskać niezbędną informację o przepływie płynu (rozkład pola prędkości, pole ciśnienia), ruchu ciepła (pole temperatury) i masy (w tym reakcje chemiczne). Osiąga się to poprzez numeryczne rozwiązanie równań opisujących wymianę pędu, bilansu energii i masy. Jest dostępnych kilka numerycznych metod, które umożliwiają rozwiązanie wspomnianych równań. Są to:

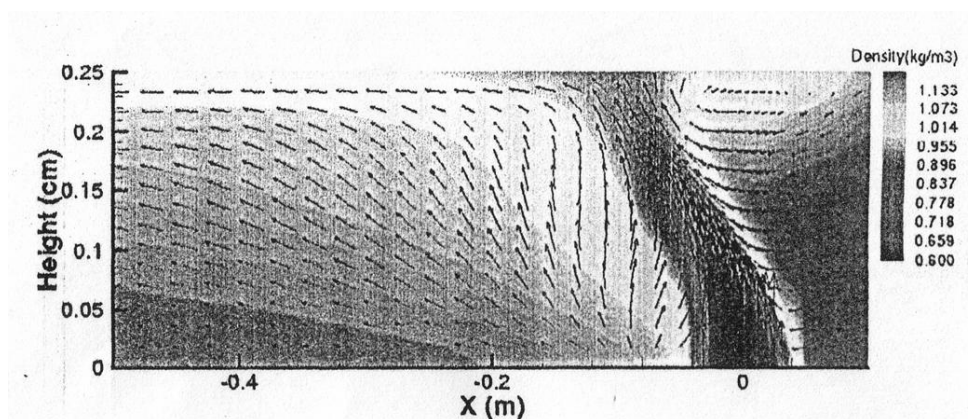
- metoda elementu skończonego,
- metoda objętości skończonej.

Program numeryczny Fluent 5 (Fluent.Inc) oparty na MES (Metoda Elementów Skończonych) oraz MRS (Metoda Różnic Skończonych) pozwala modelować rozprzestrzenianie się dymów pożarowych w tunelu w zależności od wielu parametrów, np. prędkości powietrza (rys. 5.8, i rys. 5.9).

Metody numeryczne są weryfikowane przez konfrontację z badaniami laboratoryjnymi lub rzeczywistymi.



Rys. 0.8. Badanie rozchodzenia się dymów w tunelu przy prędkości powietrza 1.7 m/s – ognisko pożaru w punkcie $x=0$ [6]

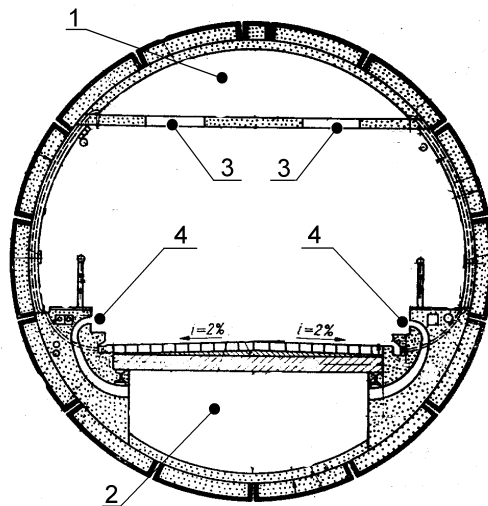


Rys. 0.9. Badanie rozchodzenia się dymów przy prędkości powietrza 1.9 m/s – ognisko pożaru w punkcie $x=0$ [6]

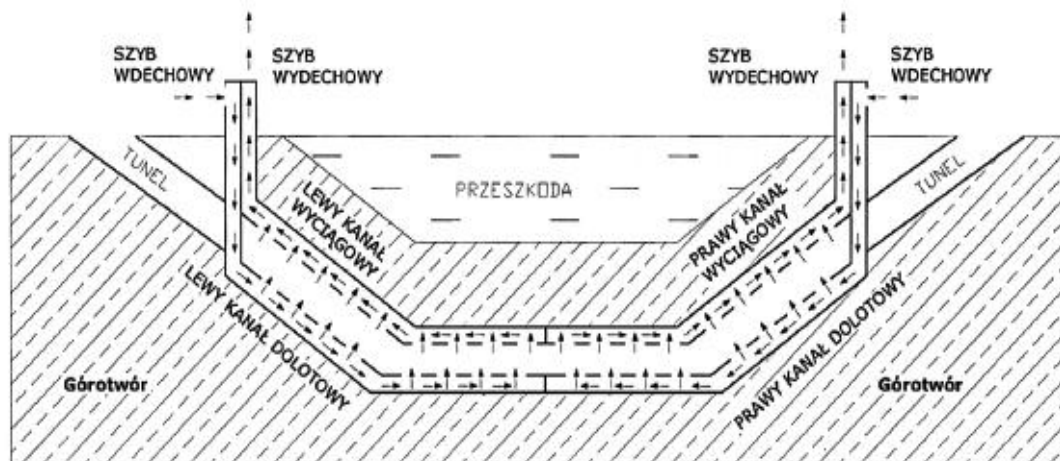
Badania modelowe tuneli w zakresie przewietrzania i dynamiki rozwoju pożaru mogą być także przeprowadzone za pomocą Systemu Programów Inżyniera Wentylacji „Ventgraph” [8].

W celu przedstawienia sposobu symulacji i zastosowania obliczeń numerycznych programem „Ventgraph” przeprowadzono badanie modelowe tunelu komunikacyjnego [2].

Przeprowadzono badanie dla modelu tunelu o przekroju kołowym (rys.5.10.) przewietrzanego systemem poprzecznym pełnym (rys. 5.11.). Powietrze jest doprowadzane do tunelu kanałem dolnym (nr 2), umieszczonym pod powierzchnią jezdni, skąd za pomocą kanałów (nr 4), znajdujących się pod chodnikami, przedostaje się do części przejazdowej tunelu. Otwory kanałów wyposażone są w zasuwę dla regulacji wielkości otworu i równomiernego dopływu powietrza. Kanał wyciągowy (nr 1) jest umieszczony nad jezdnią i oddzielony płytą żelbetową, w której znajdują się podłużne prostokątne otwory (nr 3) dla wyciągu zużytego powietrza, również zaopatrzone w zasuwę dla regulacji wielkości otworu (długość tunelu wynosi 3560 m).



Rys. 0.10. Przekrój poprzeczny tunelu



Rys. 0.11. Przekrój podłużny tunelu

Parametry ruchu:

- natężenie ruchu – 1300 pojazdów na godzinę, ruch dwukierunkowy, dla jednego kierunku 750 samochodów na godzinę, struktura ruchu w obydwu kierunkach jednakowa,
- system wentylacji: poprzeczny pełny, z dwoma szybami wentylacyjnymi w obu portalach tunelu.

Dla określenia wymaganego wydatku strumienia powietrza potrzebnego do rozrzedzenia tlenku węgla (najgroźniejszego zanieczyszczenia w powietrzu – wydzielanego przez silniki pojazdów), przyjęto następujące założenia:

- średnia emisja CO przez silniki pojazdów – $0,15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pojazd}$
- natężenie ruchu – 1300 pojazdów/godzinę
- dopuszczalne stężenie CO w powietrzu – 250 ppm (0,025%)

Wydatek strumienia emitowanego CO w spalinach wynosi $195 \text{ m}^3/\text{h}$ wydatek związku wydatek czym dla rozrzedzenia CO do dopuszczalnego poziomu stężenia tlenku węgla należy doprowadzić $780\,000 \text{ m}^3$ powietrza/h ($260 \text{ m}^3/\text{s}$)

System Programów Inżyniera Wentylacji „Ventgraph” został zastosowany do symulacji sytuacji awaryjnej – pożaru w projektowanym tunelu. Miejsce pożaru zostało założone w znacznej odległości (1100 m od portalu) od wlotu oraz wylotu tunelu tak, aby zasymulować trudną do opanowania sytuację awaryjną.

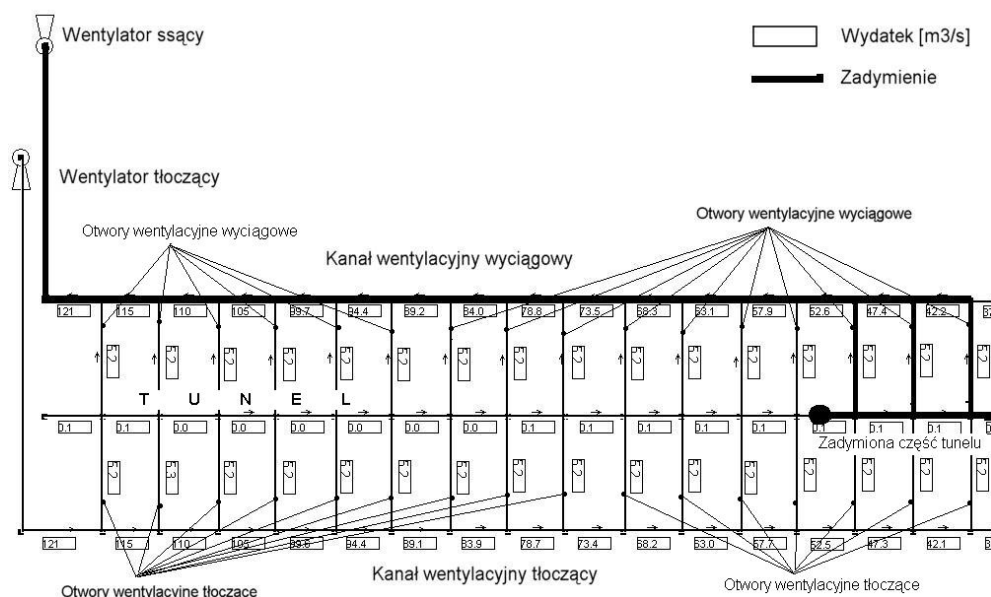
Dla ogniska pożaru przyjęto:

- moc cieplna pożaru 5 MW (intensywność – „10” {w skali 1-10});
- długość strefy ognia – 50 m;
- rodzaj paliwa oleje, jako substancje mogące symulować materiały palne, biorące udział w pożarze pojazdów w tunelu;
- stała czasowa narastania powierzchni pożaru – 1,0 s.

Wyniki badań symulacyjnych pożaru

Do zobrazowania stanu przewietrzania i rozwoju pożaru w tunelu użyto wydruków wyników obliczeń przeprowadzonych przez System Programów Inżyniera Wentylacji „Ventgraph”.

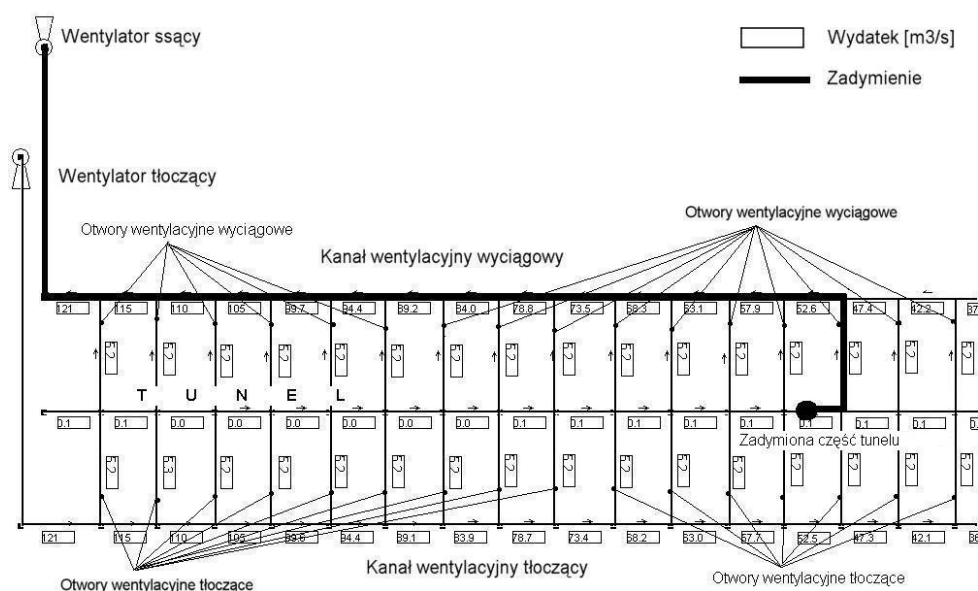
Rysunek 5.12. przedstawia stan rozpływu powietrza i dymów po 1 h od momentu wystąpienia pożaru. W tym czasie zadymiona została część tunelu o długości 100 m.



Rys. 0.12. Obraz komputerowy wyników symulacji pożaru dla stanu po 1 h, bez regulacji zasuw regulacyjnych

Rysunek 5.13. pokazuje rozprzestrzenianie się powietrza i gazów pożarowych przy założeniu zaistnienia pożaru w części przyśrodkowej tunelu, dokładnie w miejscu poprzedniej symulacji pożarowej, przy czym podczas tej symulacji zastosowano regulację rozpływu powietrza i gazów za pomocą zasuw w otworach wentylacyjnych. Wykorzystany został system automatycznego otwierania zasuw kanału wentylacyjnego w rejonie

najbliższym miejsca pożaru. Należy zauważyć, że już w ciągu 4 min od czasu powstania pożaru, po otwarciu zasuwy kanału wentylacyjnego wyciągowego, zostały usunięte wszystkie gazy pożarowe z części pomiędzy otworami wentylacyjnymi.



Rys. 0.13. Symulacja pożaru, z regulacją zasuw wentylacyjnych, po 4 min