

*Krystian Chojnacki\**, *Agnieszka Fabryczewska\**

## BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE W TUNELACH

---

### 1. Wstęp

24 marca 1999 roku samochód ciężarowy jadący tunelem Mont Blanc, łączącym Francję i Włochy, stanął w płomieniach. Prawdopodobnie wskutek przegrzania silnik zapalił się, powodując jeden z najtragiczniejszych pożarów w historii tuneli drogowych. Gdy kierowca ciężarówki spostrzegł ogień, znajdował się już na szóstym kilometrze tunelu — pożar rozwinął się tak gwałtownie, że kierujący nie był nawet w stanie opuścić kabiny i pieszko uciec z tunelu. W ciągu zaledwie kilku minut, dyspozytor tunelu poinformowany o zdarzeniu wstrzymał ruch, zapobiegając wjazdowi kolejnych pojazdów. Mimo tak szybkiej reakcji, 18 ciężarówek, 9 samochodów osobowych, van i motocykl zdążyło już wjechać do tunelu. Spośród nich, cztery samochody ciężarowe zdołały ominąć płonąca ciężarówkę i bezpiecznie opuścić tunel. Pozostałe 25 pojazdów uwięzionych przez dym nie opuściło już tunelu. Nikt z osób podróżujących tymi pojazdami nie przeżył pożaru. Jednym z czynników, które doprowadziły do śmierci wszystkich tych ludzi, był panujący w tunelu kierunek przepływu powietrza oraz odmienne warunki pracy wentylatorów na obu jego końcach. I tak, podczas gdy kanały wentylacyjne z włoskiej strony tłoczyły do tunelu świeże powietrze, część kanałów z francuskiej strony ustawiona była tak, by zasysać powietrze z tunelu, a część by je dostarczać. W konsekwencji, cały dym wydzielający się z płonącego pojazdu cofał się w kierunku Francji, w ciągu kilku minut wypełniając całą przestrzeń tunelu za miejscem pożaru. Pożar bardzo szybko rozgorzał, ogarniając pojazdy znajdujące się w tunelu (rys. 1). Nie jest jasne, w jaki sposób ogień przeniósł się na dość znaczne odległości, zapalając pojazdy oddalone o ponad 290 metrów. Ocenia się, iż pożar w swym szczytowym momencie osiągnął wielkość 190 MW, z temperaturą w tunelu przekraczającą 1000°C. Pożar w tunelu Mont Blanc trwał przez 53 godziny. W tunelu śmierć poniósł jeden strażak biorący udział w akcji ratowniczej oraz 38 podróżnych, przy czym 27 z nich nie opuściło nawet swych pojazdów,

---

\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa

dwójka zginęła w miejscach bezpiecznych<sup>1)</sup>, mających zapewnić bezpieczeństwo użytkownikom na wypadek pożaru w tunelu, a pozostali — próbując ucieczki w kierunku francuskiego wyjścia [1]. Opisany wypadek w tunelu Mont Blanc czy ostatnie zdarzenia w tunelach św. Gottharda (Szwajcaria, 24.10.2001) i na stacji metra w mieście Daegu (Południowa Korea, 18.02.2003) pokazały, jak katastrofalny w skutkach może być pożar w tunelu. Należy nieustannie pamiętać, iż tunele jako budowle, ze względu na swe usytuowanie oraz konstrukcję, w przypadku wystąpienia w nich pożaru mogą stwarzać bardzo duże zagrożenie, zarówno dla przebywających w nim ludzi, jak i konstrukcji tunelu. Potrzeba zapewnienia podróżnym odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa wiąże się z zaangażowaniem ze strony wielu służb, ich współdziałaniem oraz nieustannym podnoszeniem i sprawdzaniem efektywności istniejących już zabezpieczeń.



Rys. 1. Karoseria ciężarówki po pożarze w tunelu Mont Blanc

## 2. Złudne statystyki a prawdziwe oblicze pożaru

Gdy każdego dnia miliony ludzi na całym świecie wsiadają do swoich samochodów, czy też do pociągów lub wagonów miejskiej kolei podziemnej i tunelami przemierzają nie-

---

<sup>1)</sup> Miejsce bezpieczne: Miejsce w tunelu, lub w jego pobliżu, gdzie ludzie bezpiecznie oczekują na ratunek. Przykładowe, miejsce bezpieczne to [8]:

- wloty tunelu;
- wyjście awaryjne, równoległy tunel bezpieczeństwa lub równoległy otwór, jeśli uniemożliwione jest przedostawanie się do nich dymu z tunelu głównego;
- obszary w tunelu, jeśli są utrzymywane w stanie wolnym od dymu, wentylowane i zabezpieczone przed oddziaływaniem ciepła;
- odcinki tunelu głównego, które są utrzymywane w stanie wolnym od dymu.

zliczone kilometry, mało kto zastanawia się jak bezpieczne są te konstrukcje. Na podstawie analizy wypadków [1] we Francji, Niemczech, Szwajcarii i Włoszech<sup>2)</sup>, dowiedziono, iż wypadki w tunelach drogowych bądź kolejowych, mają miejsce o wiele rzadziej<sup>3)</sup> niż analogiczne zdarzenia na normalnych szlakach komunikacyjnych<sup>4)</sup>. Przeprowadzona analiza, pokazała również, iż konsekwencje wypadków, których skutkiem jest pożar, są o wiele poważniejsze w tunelach, aniżeli na otwartych przestrzeniach.

Choć w historii pożarów w tunelach, wiele z nich miało miejsce w tunelach kolejowych, przeważająca większość to jednak pożary w tunelach drogowych. Na przestrzeni ponad 150 lat, od roku 1842 odnotowano ponad 170 poważnych wypadków w tunelach. W tabeli 1 zamieszczono podsumowanie tych zdarzeń, wymieniając te najpoważniejsze.

Po analizie wypadków przeprowadzonej we Francji stwierdzono, iż istnieje zależność pomiędzy liczbą samochodów (na kilometr długości tunelu) a liczbą wypadków przez nie powodowanych. I tak:

- na każde 100 milionów samochodów przejeżdżających tunelem, będzie miał miejsce jeden lub dwa poważne pożary pojazdów (na kilometr długości tunelu);
- na każde 100 milionów HGV<sup>5)</sup> przejeżdżających tunelem, wystąpi około ośmiu wypadków, których konsekwencją będzie pożar, z czego tylko jeden będzie na tyle poważny, by swym rozmiarem spowodować zagrożenie ludzkiego życia i uszkodzenie konstrukcji tunelu;
- na każdy miliard pojazdów HGV przejeżdżających tunelem wydarzy się od jednego do trzech poważnych wypadków, gdzie towarzyszący im pożar doprowadzi do śmierci użytkowników tunelu i zniszczenia innych pojazdów.

Jak zaobserwowano, możliwość iż poważny pożar będzie miał miejsce w danym tunelu wydaje się niewielka, by nie powiedzieć znikoma. Pod uwagę nie wzięto jednak faktu, iż wiele z użytkowanych tuneli (drogowych, kolejowych oraz metra) charakteryzuje się bardzo dużą częstotliwością ruchu pojazdów<sup>6)</sup>, a ich liczba w samej tylko Europie przekracza 15 000, z czego większość to tunele kilku- bądź kilkunastokilometrowe. Daje to dość wysoki współczynnik prawdopodobieństwa, iż zdarzenie takie może wystąpić właśnie w danym tunelu. W ciągu ostatniego dziesięciolecia (1994–2004) poważne pożary w tunelach miały miejsce niemal każdego roku. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, oraz wcześniejsze doświadczenia, należy przypuszczać, iż problem pożarów w tunelach, wraz ze wzrostem ich liczby, jak i długości oraz towarzyszącym temu nasileniem ruchu pojazdów, będzie stał się coraz bardziej niepokojący.

---

2) Francja, Niemcy, Szwajcaria i Włochy to państwa, na których terytorium znajduje się połowa wszystkich europejskich tuneli [6].

3) Prawdopodobnie jest to wynikiem wyższego „komfortu” jaki stwarzają tunele — ogólny brak wpływu czynników pogodowych, skrzyżowań dróg czy ostrych zakrętów, a dodatkowo tendencji do wzmożonej ostrożności, zarówno u kierowców jak i pasażerów, podczas podróżowania tunelami.

4) Autorzy użyli terminu „szlaki komunikacyjne” dla określenia wszystkich tras samochodowych — autostrad, dróg ekspresowych i lokalnych — jak i kolejowych.

5) HGV — *heavy goods vehicle* — samochód ciężarowy.

6) Przykładowo tunelem Elb w Niemczech w połowie lat 90. rocznie przejeżdżało 37 milionów pojazdów.

TABELA 1

## Podsumowanie najważniejszych pożarów w tunelach [7]

Tunel	Kraj	Przyczyna wybuchu pożaru	Ofiary śmiertelne/ranni	Zniszczone pojazdy	Czas trwania pożaru	Rok
Jungangno	Deagu, Południowa Korea	podpalenie wagonu kolejki miejskiej	189 ofiar śmiertelnych, ponad 100 osób zatrutych dymem	dwa sześćcio-wagonowe składy metra	nie odnotowano	2003
Gotthard	Szwajcaria	czołowe zderzenie 2 HGV*	11 ofiar śmiertelnych	11 HGV, 11 C**, T***	ponad dwa dni	2001
Kaprun	Austria	nieznane	159 ofiar śmiertelnych	skład pociągu	1–2 godziny	2000
Tauern	Austria	kolizja	12 ofiar śmiertelnych	2 HGV, 4 C	15 godzin	1999
Mont Blanc	Francja — Włochy	przegrzanie silnika HGV	39 ofiar śmiertelnych	18 HGV, 9 C, van, motocykl	53 godziny	1999
Channel	Francja — Wielka Brytania	przegrzanie silnika HGV	kilkoro rannych	10 HGV i wagony kolejowe	7 godzin	1996
Isola delle Femmine	Włochy	dwa zderzenia	5 ofiar śmiertelnych i 20 rannych	cysterna, autobus i 18 C	nie odnotowano	1996
Baku	Azerbejdżan	awaria instalacji elektrycznej	ponad 300 ofiar śmiertelnych	skład kolei podziemnej	nie odnotowano	1995
King's Cross	Londyn, Wielka Brytania	pożar ruchomych schodów	31 ofiar śmiertelnych	skład metra	6 godzin	1987
Pecorile	Włochy	kolizja	8 ofiar śmiertelnych	nie odnotowano	nie odnotowano	1983
Holland	Nowy Jork, Stany Zjednoczone	zrzućenie ładunku z HGV	66 rannych	10 HGV i 13 C	4 godziny	1949

\* HGV (*heavy goods vehicle*) — samochód ciężarowy,\*\* C (*car*) — samochód osobowy,\*\*\* T (*truck*) — ciężarówka.

Nieoczekiwanie duża liczba pożarów w tunelach w ciągu ostatniej dekady nie wpłynęła na wzrost zainteresowania doświadczalnymi badaniami pożarowymi, co wynika nie tyle z braku odpowiednich środków finansowych, ile z przekonania, iż dotychczasowe testy pozwoliły w wystarczający sposób poznać i zrozumieć zachowania ognia i dymu w tunelach. Tymczasem zabezpieczenia przeciwpożarowe wielu tuneli, które powstały kilka lub kilkadziesiąt lat temu, mogą nie spełniać wspólnie wymaganych standardów.

W 1965 roku w Offeneg w Szwajcarii w opuszczonym tunelu kolejowym odbyła się pierwsza na świecie seria badań pożarowych. Dwanaście eksperymentalnych pożarów przeprowadzono w specjalnie przygotowanych do tego misach, z ładunkiem rozlanego paliwa. Badania miały za zadanie określić wpływ różnych systemów wentylacji (naturalnej, półpoprzecznej i wzdłużnej) na rozwój pożaru i ruch dymu. Podczas testów przeprowadzono również badania przeciwpożarowej instalacji zraszaczowej. Testy te były pierwszymi właściwymi badaniami, których wyniki dostarczyły rzetelnych informacji o postaci i przebiegu pożaru w tunelu. Na przestrzeni kolejnych trzydziestu lat przeprowadzono kilka istotnych badań w tunelach.

Warto tu zwrócić uwagę na dwie szczególne serie badań, jakie miały miejsce w pierwszej połowie lat 90. XX w.:

- 1) europejski projekt o nazwie Eureka 499 „Firetun”,
- 2) amerykański Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program.

Międzynarodowy projekt Eureka 499 „Firetun” [3] został przeprowadzony w latach 1990–1992. Podstawowym założeniem programu było dokładne zbadanie zachowania dymu i ognia podczas pożarów w tunelach, oraz ich wpływu na późniejsze działania służb ratowniczych. Badania koordynowane przez specjalistów z Austrii, Finlandii, Francji, Niemiec, Norwegii, Wielkiej Brytanii, Włoch, Szwajcarii i Szwecji, składały się z 21 testów pożarowych, z których większość odbyła się w opuszczonym tunelu Hammerfest na północy Norwegii (tunelu przeznaczonym do jednego kierunku ruchu). Źródłem eksperymentalnych pożarów były samochody osobowe, ciężarowe, wagony taboru kolejowego oraz skład metra. Na podstawie przeprowadzonych testów pożarowych ustalono, iż maksymalna temperatura pod stropem tunelu w zależności od rodzaju palącego się pojazdu wahała się pomiędzy 200 a 1100°C (tab. 2). Podczas pożaru pociągu oraz autobusu o mocy 15÷20 MW, w 40 minucie pomiaru temperatura wahała się pomiędzy 800÷900°C (w jednym przypadku przekroczyła 1000°C). W przypadku samochodów temperaturę mierzono na powierzchni dachu oraz drzwi (rys. 2).

Otrzymane wyniki pokazały, iż od 70 do 100 minut po rozpoczęciu testu, wynosiła ona odpowiednio 400÷600°C dla pojazdów o karoserii stalowej i 900°C dla karoserii aluminiowej. Zauważono, iż moc pożaru gwałtownie wzrastała w pierwszych 10÷15 minutach od jego wybuchu i wynosiła średnio 6÷128 MW. Najwyższe wartości cechowały samochody ciężarowe — od 13 do 200 MW, w zależności od ilości i rodzaju przewożonego ładunku. Maksymalna moc pożaru osiągnięta była w tym przypadku po 10÷20 minutach.

TABELA 2

## Wyniki badań pożarowych [3]

Rodzaj pojazdu, seria testu, $u$ – prędkość przepływu powietrza, m/s	Wielkość ładunku ciepła, GJ	Maksymalna moc pożaru, MW	Czas upływający do osiągnięcia maksymalnej mocy pożaru, min	Maksymalna temperatura, °C
Samochody wyprodukowane w latach 70.	4	1,5; 1,8; 2	12; 10; 14	
Renault Espace (1988), Eureka 499, $u = 0,4$ m/s	7	6	8	480
Opel Kadett (1990), Second Benelux test, $u = 0\div 6$ m/s		4,8; 4,7	11; 38	210; 110
Pojedyncze samochody wyprodukowane w latach 80. i 90. marki Peugeot, Renault, Citroen, Ford, Opel, Fiat, VW	2,1; 3,1; 4,1; 6,7	3,5; 2,1; 4,1; 8,3	10; 29; 26; 25	
25–35 letni 12-metrowy autobus szkolny Volvo, Eureka 499, $u = 0,3$ m/s	41	29	8	
Przyczepa Daf 310Ati z ładunkiem 2 ton mebli, Eureka 499, $u = 3\div 6$ m/s	87	128	18	970
Przyczepa z ładunkiem 36 palet drewnianych, Second Benelux test, $u = 0, 4\div 6$ m/s	10	13; 19; 16	16; 8	
Ciężarówka, Eureka 499, $u = 0,7$ m/s	65	17	15	400 (10 metrów od źródła pożaru)
Niemiecki wagon pociągu ekspresowego, Eureka 499, $u = 0,5$ m/s	63	19	80	830
Niemiecki wagon pociągu pośpiesznego, Eureka 499, $u = 0,5$ m/s	77	13	25	720
Niemiecki wagon metra, Eureka 499, $u = 0,5$ m/s	41	35	5	680÷1050



**Rys. 2.** Zdjęcie HGV wykonane podczas przeprowadzania badania pożarowego

Podczas pożaru samochodu osobowego ustala się ona po upływie 5÷80 minut, w zależności od typu konstrukcji oraz materiałów użytych do wykończenia, i wynosi od 13 do 43 MW. W przypadku taboru kolejowego parametry te wynosiły 13÷43 MW. Dla przykładu moc pożaru pasażerskiego pociągu pospiesznego po 25 minutach osiągnęła maksymalną wartość 25 MW, po 30 minutach zmniejszyła się do 6 MW (utrzymywała się na tym poziomie przez 50 minut), następnie wzrosła do 12 MW, by po 130 minutach od wybuchu pożaru zmniejszyła się do 5 MW. Należy pamiętać, iż wyznaczenie najwyższej wartości ciepła spalania całego pociągu nie polega na zsumowaniu wartości dla poszczególnych wagonów. Najwyższa moc pożaru pierwszej płonącej jednostki niekoniecznie ustali się w tym samym czasie co pozostałe, wynika to między innymi z różnic w rodzaju konstrukcji wagonów (stalowe, aluminiowe, etc.), ich oszkleń, wyposażenia wnętrza. Całkowity czas trwania pojedynczych testów pożarowych wynosił od 60 minut w przypadku, gdy badano tylko połowę wagonu wykonanego ze stali zgodnie z najnowszą technologią, do blisko 180 minut w przypadku pociągów pospiesznych oraz pociągów typu F11.

Amerykański projekt Memorial Tunnel Ventilation Fire Test Program (MTFVTP) sfinansowany został przez Federalny Zarząd Autostrad Stanów Zjednoczonych przy współpracy z władzami stanu Massachusetts. Kosztował około 40 milionów dolarów i był częścią projektu budowy tunelu Boston Central Artery. Badania składały się z serii 98 testów pożarowych, które przeprowadzono w opuszczonym tunelu samochodowym w Virginii w latach 1993–1995. Dotyczyły one wpływu różnych rodzajów wentylacji (naturalnej, półpoprzecznej, poprzecznej, wzdłużnej) na oddymianie tuneli przy pożarach o zmiennej mocy 10, 20, 50 i 100 MW. Źródło pożaru stanowiły zbiorniki wypełnione paliwem. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, iż wentylatory o dużej mocy wykorzystywane przy wentylacji wzdłużnej działają efektywnie, gdy moc pożaru nie przekracza 100 MW, dlatego też ich mon-

taż wymaga dokonania wcześniejszych analiz konstrukcji i zabezpieczeń przeciwpożarowych tunelu. Badania pozwoliły również wykazać, iż systemy wentylacji poprzecznej stosowanej samodzielnie z zachowaniem równowagi pomiędzy dostarczanym czystym a odprowadzonym zanieczyszczonym powietrzem wykazują ograniczone możliwości; są skuteczne, gdy moc pożaru jest nie większa niż 20 MW. Podobne właściwości cechują systemy wentylacji półpoprzecznej, które dostarczają tylko świeże powietrze. Skuteczne w oddymianiu odcinków tunelu okazały się wentylatory ssące systemu wzdłużnego, które mogą usuwać duże ilości dymu, zapobiegając tym samym jego przemieszczaniu. Wentylatory te polecane są przy konstrukcji tuneli o ruchu dwukierunkowym. Dodatkowo badania dowiodły, iż czas, który upływa od rozpoczęcia pierwszej fazy pożaru do załączenia systemu wentylacyjnego, powinien być zminimalizowany do dwóch minut, bowiem po tym czasie dym unoszący się z pożaru rozprzestrzenia się na odległość 480÷570 metrów. Wzrost temperatury oraz ilości dymu najczęściej spowodowany jest naturalnym, niewymuszonym przepływem powietrza, który jak wykazano zależy od rozmiaru powstałego pożaru i wymiarów tunelu. Warto zauważyć, iż przeprowadzone badania uwzględniały wystąpienie pożaru jedynie w osi tunelu. Tymczasem według statystyk największa liczba pożarów ma miejsce w pobliżu jednej z jego ścian, gdzie proces spalania ze względu na ograniczony dostęp tlenu, przebiega znacznie wolniej. Ponadto źródło testowego pożaru stanowiły zbiorniki wypełnione paliwem, a nie rzeczywiste pojazdy, co w znaczący sposób odbiega od rzeczywistych warunków. Tunele wykorzystywane do badań pozbawione były zabezpieczeń przeciwpożarowych. Pominęto także możliwość wystąpienia innych obiektów oraz wpływ czynnika ludzkiego [6].

W obliczu wypadków w tunelach pod Mont Blanc, Tauern i tunelu św. Gottharda wiele państw wprowadziło zmiany i modernizacje pozwalające zwiększyć poziom zabezpieczeń przeciwpożarowych, by co za tym idzie zapewnić podróżującym wyższe standardy bezpieczeństwa.

Kraje takie jak Austria, Francja, Niemcy, Szwajcaria rozpoczęły dokładne analizy bezpieczeństwa w tunelach uwzględniając [5]:

- brak odpowiedniego nadzoru i kontroli,
- natężenie ruchu drogowego (zwłaszcza samochodów ciężarowych przewożących substancje niebezpieczne),
- zachowanie użytkowników dróg,
- systemy wentylacji i koncentrację spalin,
- położenie oraz rozmieszczenie wlotów i wylotów tunelu.

Kolejnym krokiem w stronę rozwiązania problemu wypadków w tunelach jest dostrzeżenie istnienia problemu, bez czekania na tragiczne konsekwencje wypadków. Zaproponowanie właściwego systemu monitoringu a także edukacja i szkolenia, nie tylko służb ratowniczych, lecz wszystkich użytkowników tuneli z pewnością zaowocuje w chwili niebezpieczeństwa, ułatwiając samoratownictwo<sup>7)</sup> i podjęcie szybkiej akcji ratowniczej.

---

<sup>7)</sup> Samoratownictwo: Wszelkie działania, podjęte po wypadku przez przeszkolony personel i pasażerów, w celu opuszczenia miejsca wypadku (łącznie z pierwszą pomocą) [6].



### 3. Czy to pomoże?

W ciągu ostatnich kilku lat dzięki ogromnym wysiłkom organizacji tunelarskich i rządowych na całym świecie oraz ich współpracy ze służbami ratowniczymi opracowano standardy, których wprowadzenie zapewnić ma wyższy poziom bezpieczeństwa w tunelach. Eksperti zgodni są, iż podjęte starania zapobiegną wypadkom i uchronią nie tylko ludzkie życie, lecz również zapobiegną zniszczeniom konstrukcji, a co za tym idzie ogromnym kosztem ich odbudowy.

Wypadki, jakie miały miejsce w ostatnim dziesięcioleciu, na nowo ukazały nam nieznaną bądź niedostrzegane dotychczas kwestie. Jednym z pierwszych problemów, jaki zaobserwowano, okazał się bardzo szybki rozwój pożaru. Towarzyszyły mu temperatury sięgające nawet 1000°C i wydzielanie się już od pierwszych chwil pożaru ponadprzeciętnych ilości dymu.

Kolejną sprawą było „skakanie” płomieni z jednego pojazdu na inne, oddalone od niego o ponad 200 metrów. Zjawisko to zaobserwowano podczas pożaru w tunelu pod Mont Blanc, gdzie zapaleniu ulegały pojazdy znajdujące się bardzo daleko od źródła ognia, co zastanawiające — pojazdy te znajdowały się w ciągłym ruchu.

Ostatnim, lecz najbardziej szokującym aspektem tych obserwacji, było zachowanie wielu użytkowników tuneli. Większość z nich nie zdawała sobie nawet sprawy, w jak wielkim niebezpieczeństwie się znajduje. Pozostając w swych samochodach, ulegali złudnemu poczuciu bezpieczeństwa, jakie dawał im pojazd — w rzeczywistości gwarantował on im jedynie kilkuminutową ochronę we wczesnej fazie pożaru. Gdy zdali sobie w końcu sprawę z grożącego im niebezpieczeństwa, przestrzeń wokół nich wypełniały dymy, a strach nie pozwalał już na jakąkolwiek reakcję. Wówczas nie było już mowy o ucieczce i ratunku. To jak dotychczas najbardziej tragiczne doświadczenie, jakie zaobserwowaliśmy po ostatnich pożarach w tunelach.

Na tle tych wydarzeń, każda propozycja zmierzająca choćby w najmniejszym stopniu do podniesienia poziomu bezpieczeństwa w tunelach jest traktowana bardzo poważnie. Z pożarów tych musimy wyciągnąć wnioski i zastanowić się, w jaki sposób zapobiegać w przyszłości wybuchom ognia w pojazdach znajdujących się właśnie w tunelach, jak ułatwić ewakuację i pomóc służbom ratowniczym w walce o nasze i swoje życie. Narzędzia, takie jak instalacje hydrantowe, wykrywacze dymu i ciepła, czy kurtyny dymowe powinny jak najszybciej znaleźć się w tunelach. To ich działanie w razie pożaru zwiększa nasze szanse na przeżycie.

### 4. Nowe projekty

Kiedy w grę wchodzi ludzkie życie nie możemy mówić o absurdalnych pomysłach. Gdy tylko powstają nowe lub mają miejsce modyfikacje w istniejących już rozwiązaniach zmierzające do zapewnienia użytkownikom i pracownikom tuneli wyższego poziomu bez-

pieczeństwa, rozpoczyna się procedura ich badania. Badania te mają określić skuteczność i niezawodność oraz ocenić możliwości wprowadzenia w życie proponowanych rozwiązań. Jeśli pierwsze testy wypadną pozytywnie, przeprowadza się kolejną fazę badań w warunkach najbardziej zbliżonych do rzeczywistych.

Testy te odgrywają kluczową rolę, gdyż pozwalają uniknąć inwestowania w systemy, które w rzeczywistości nie będą spełniały założonej funkcji. Rzeczą bardzo istotną, by nie powiedzieć niezbędną jest, by testy przeprowadzono we współpracy z organizacjami międzynarodowymi. Współpraca ta daje szansę na porównanie otrzymanych wyników i wymianę doświadczeń. Dodatkowo wyklucza ona podjęcie błędnych decyzji i zapewnia przetestowanie projektu na kilku szczeblach. Problemem, z którym wciąż bardzo trudno jest się uporać, są ograniczone fundusze na badania.

W kwietniu 2004 roku Komisja Europejska przyjęła dyrektywę dotyczącą minimalnych warunków bezpieczeństwa, jakim powinny odpowiadać tunele transeuropejskiej sieci drogowej (Trans-European Road Network). Celem tych prac było określenie podstawowych założeń w organizacyjnej, strukturalnej i operacyjnej sferze bezpieczeństwa w tunelach. Przygotowania do tego projektu rozpoczęły się w grudniu 2002 roku, kiedy to Komisja Europejska powołała grupę ekspertów mającą przeprowadzić gruntowną analizę wypadków w tunelach z ostatnich lat.

Na podstawie badań stwierdzono, iż głównymi przyczynami większości wypadków w tunelach były:

- niewłaściwe zachowanie użytkowników dróg,
- niewystarczające wyposażenie infrastruktury drogowej,
- awarie pojazdów,
- problemy wynikające z transportu materiałów niebezpiecznych.

## 5. Bezpieczeństwo

Poziom bezpieczeństwa w tunelach zależy od wielu czynników [2], powiązanych ze sobą w ścisły sposób, wśród których wymienić możemy:

- geometrię tunelu i jego konstrukcję,
- wyposażenie w sprzęt ratowniczy,
- znaki drogowe,
- kontrolę ruchu drogowego,
- szkolenia służb ratowniczych,
- procedury operacyjne podczas wypadków.

Szczególną uwagę w prowadzonych pracach poświęcono możliwościom samoratownia się uczestników wypadków oraz kwestii jak najlepszego informowania użytkowników co do zachowania się w tunelu podczas pożaru.

Duży nacisk położono na polepszenie warunków komunikacji pomiędzy władzami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo a służbami ratowniczymi, takimi jak policja, straż pożarna i jednostki pogotowia.

Dyrektywa w wyraźny sposób zarysowuje dwa główne cele, jakie powinny spełniać zabezpieczenia w tunelach:

- 1) mają one zapobiegać występowaniu krytycznych zdarzeń, które mogłyby w jakikolwiek sposób zagrażać ludzkiemu życiu, otaczającemu środowisku bądź konstrukcji tunelu;
- 2) stosowane środki bezpieczeństwa powinny minimalizować skutki wypadków, a w szczególności pożarów pojazdów, zapewniając ich użytkownikom odpowiednie warunki do ucieczki i ratunku.

Przedstawione wyżej warunki będą musiały spełnić wszystkie tunele, których długość przekracza 500 metrów i znajdują się na trasie transeuropejskiej sieci drogowej, niezależnie od tego, czy są to tunele funkcjonujące, w fazie konstrukcji czy dopiero w fazie planowania. Wiele europejskich tuneli powstało w czasach, gdy zarówno możliwości techniczne, jak i natężenie ruchu odbiegały znacznie od stanu obecnego.

Procedury, które zostały opracowane przez grupę ekspertów odnoszą się do dwóch dziedzin bezpieczeństwa w tunelach:

- 1) bezpieczeństwa operacyjnego,
- 2) bezpieczeństwa technicznego.

Pierwsza grupa zaleceń mówi m.in. o powołaniu organu administracyjnego, który odpowiadałby za wdrażanie oraz przestrzeganie uchwalonej dyrektywy na terenie danego państwa. Odpowiedzialny za to organ byłby, w zależności od potrzeb, powoływany na szczeblu lokalnym, regionalnym lub ogólnokrajowym. W przypadkach kiedy tunel łączy dwa kraje członkowskie, podlegałby on administracyjnej kontroli każdego z krajów z osobna, bądź powoływano by jedną wspólną komisję, w której skład wchodziłoby reprezentanci obu państw. Jeśli państwa graniczne zdecydują się na rozwiązanie pierwsze, wówczas wszelkie decyzje podjęte przez jeden z tych krajów będą wymagały akceptacji władz drugiego, nie godząc przy tym w istniejące już uzgodnienia. Istotne jest, iż organ odpowiedzialny za administrowanie tunelami, w razie stwierdzenia jakichkolwiek niejasności lub niewypełnienia należycie wymagań bezpieczeństwa posiadał będzie uprawnienia do ograniczenia bądź nawet wstrzymania użytkowania tunelu.

Kolejnym elementem bezpieczeństwa operacyjnego jest funkcja dyspozytora tunelu. Każdy tunel transeuropejskiej sieci dróg powinien znajdować się pod kierownictwem osoby, która byłaby odpowiedzialna za jego zarządzanie w każdych warunkach, niezależnie od tego, czy chodzi o użytkowany, konstruowany czy dopiero projektowany tunel.

Tunele regularnie powinny podlegać wnikliwym analizom, badaniom oraz kontrolom mającym potwierdzić sprawność i słuszność zastosowanych zabezpieczeń przeciwpożarowych. Testy te, przeprowadzane przez doświadczonych osoby mają zagwarantować bezpieczeństwo nie tylko użytkownikom, lecz również pracownikom tuneli.

Dyrektywa określiła szereg czynników dotyczących technicznych aspektów bezpieczeństwa mających wpływ na bezpieczeństwo w tunelach, poczynając od długości tunelu, liczby tub i pasów ruchu, poprzez natężenie ruchu, a na informowaniu użytkowników o zachowaniu się w tunelu kończąc.

Badania przeprowadzone przez grupę ekspertów, których wynikiem jest dyrektywa 2004/54/EC z 29 kwietnia 2004 roku określająca minimalne warunki bezpieczeństwa, jakim powinny odpowiadać tunele transeuropejskiej sieci drogowej, stanowią bardzo ważny krok w kierunku ujednoczenia istniejących przepisów. Pozostaje mieć nadzieję, iż tragiczne doświadczenia wyciągnięte z pożarów w ostatnim dziesięcioleciu zaowocują.

#### LITERATURA

- [1] *Beard A., Carvel R.*: The Handbook of Tunnel Fire Safety. Londyn, Thomas Telford Ltd 2005
- [2] *Both K.*: Present-day design fire scenarios and comparison with test results and real fires: structures and equipment. 1st International Symposium "Safe & Reliable Tunnels", Praga 4–6 luty 2004
- [3] *Carvel R.*: The history and future of fire tests. Tunnels and Tunnelling International, 1st November 2002
- [4] *Hoj N.*: Hazards in tunnels. Structural integrity. 1st International Symposium "Safe & Reliable Tunnels", Praga 4–6 luty 2004
- [5] *Ingason H.*: Recent achievements regarding measuring of time-heat and time-temperature development in tunnels. 1st International Symposium "Safe & Reliable Tunnels", Praga 4–6 luty 2004
- [6] *Kumar S.*: Recent achievements in modelling the transport of smoke and toxic gases in tunnel fires. 1st International Symposium "Safe & Reliable Tunnels", Praga 4–6 luty 2004
- [7] *Promat*: Technical Note on The Fire Protection of Tunnel Structure and Services. 2005
- [8] *Walczyk T.*: Warunki operacyjno-techniczne usuwania ciepła i dymu z poziomów peronów dworców PKP Warszawa Śródmieście i Warszawa Centralna. Warszawa, TEX AB 2003