

st. bryg. w st. spocz., prof. dr hab. inż. Zoja Bednarek*
st. kpt. dr inż. Tomasz Drzymala*

Podstawowe problemy prowadzenia działań ratowniczo- -gaśniczych oraz zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego w tunelach

*Basic issues related to fire-fighting actions and fire safety assurance
in underground tunnel facilities*

Streszczenie. Tunele oprócz wielu zalet mają także wady. Specyficzna budowa tego typu obiektów sprawia, że warunki panujące w czasie pożaru są w nich znacznie trudniejsze niż w przypadku pożarów naziemnych. W celu zapobiegania oraz zmniejszania skutków pożarów należy stosować odpowiednie środki i rozwiązania techniczne. W artykule omówiono podstawowe problemy związane z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych oraz zapewnieniem bezpieczeństwa pożarowego w obiektach tunelowych, stawiane wymagania oraz regulacje prawne zawarte w przepisach krajowych oraz międzynarodowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano wnioski zmierzające do poprawy obecnego stanu.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, podziemne obiekty tunelowe, tunele, działania ratowniczo-gaśnicze.

Abstract. Tunnels besides several advantages tunnels also have some disadvantages. A specific structure of these facilities reflects the conditions during the fire, which are more difficult than in case of fire occurring on the ground. In order to prevent and reduce fire the appropriate means and technological solutions should be engaged, to improve safety in underground facilities. In this paper basic issues related to fire-fighting actions and fire safety assurance in underground tunnel facilities are discussed, as well as requirements and legal regulations, included in national and international provisions, with regards to users safety in the tunnels. Based on the performed analysis final conclusions are formulated.

Keywords: safety, underground tunnel facilities, tunnels, rescue and fire-fighting actions.

Analiza przyczyn zagrażających bezpieczeństwu ludzi w tunelach komunikacyjnych prowadzi do wniosku, że szczególnie duże zagrożenie stwarzają pożary występujące na skutek kolizji pojazdów, awarii instalacji elektrycznej, wycieku oleju itp. Czas trwania pożarów, wysoka temperatura, trudne warunki ewakuacji, problemy z wentylacją oraz trudności wynikające z geometrii i kształtu tuneli powodują tragiczne skutki mierzone liczbą ofiar śmiertelnych i rannych, dużymi stratami ekonomicznymi i społecznymi. Zakres zniszczeń konstrukcji tuneli, w których powstał pożar, był zawsze większy, niż można było się spodziewać, biorąc pod uwagę dostępne metody zabezpieczeń przeciwpożarowych. W związku z tym państwa europejskie wystosowały prośbę do Komisji Europejskiej (KE) o zajęcie się tą sprawą. W efekcie wydano odpowiednie dyrektywy i sfinansowano wiele projektów krajowych i międzynarodowych [1 – 4]. Głównym krokiem podjętym na poziomie europejskim było przyjęcie dyrektyw 2004/49/EC i 2004/54/EC oraz decyzji z 20 grudnia 2007 r. [5 – 7].

* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Bezpieczeństwo użytkowników oraz ekip ratowniczych w tunelach drogowych

Na bezpieczeństwo użytkowników oraz ratowników mają wpływ m.in. poziom bezpieczeństwa w tunelu drogowym oraz związane z tym systemy sygnalizacji pożarowej, urządzenia alarmowe oraz łączności, system monitorowania i nadawania komunikatów alarmowych, oznakowanie znakami bezpieczeństwa wyjść awaryjnych oraz dróg ewakuacyjnych, oświetlenia awaryjnego oraz warunki budowlane tych obiektów, takie jak wyjścia ewakuacyjne prowadzące bezpośrednio na zewnątrz, chodniki ewakuacyjne, przejścia poprzeczne między komorami tunelu, przejścia do innego tunelu, wyjście do schronu z wydzieloną osobną drogą ewakuacyjną. Ważną rolę odgrywają również zastosowane rozwiązania materiałowe. Bezpieczeństwo pracy ratowników pogarsza eksplozyjne termiczne odpryskiwanie dużych fragmentów betonu. Najbardziej efektywnymi metodami ochrony konstrukcji przed tym zjawiskiem jest zastosowanie [8]:

- izolacji ogniochronnej w postaci warstwy betonu natryskowego lub płyt;
- włókien polipropylenowych (PP) do mieszanki betonowej;

- dodatków napowietrzających do mieszanki betonowej;
- kruszywa o małej rozszerzalności termicznej.

Należy podkreślić, że zwiększenie porowatości betonu prowadzi do złagodzenia eksplozyjnego odpryskiwania betonu. Jedną z metod budującą duże zainteresowanie jest dodanie do mieszanki betonowej włókien PP w ilości 0,1 – 0,2%. Na podstawie badań własnych potwierdziliśmy korzystny wpływ dodania 1,8 – 2,0 kg/m³ włókien PP na właściwości wytrzymałościowe betonu w wysokiej temperaturze [8, 9].

Działania dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa w tunelach drogowych. Komisja Europejska zobligowała wszystkie państwa UE do stosowania jednolitego minimalnego poziomu bezpieczeństwa w tunelach komunikacyjnych określonych w dyrektywach [5, 6]. W rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 16 maja 2012 r., zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie, wprowadzono nowe oraz zmieniono istniejące wymagania techniczne dotyczące m.in. instalacji wentylacji po-

żarowej w tunelach. W Polsce wdrożono następujące zasady [10]:

- w tunelach długości większej niż 150 m, nieposiadających pasów awaryjnych lub utwardzonych poboczy wprowadzono obowiązek stosowania chodników ewakuacyjnych;

- w tunelach długości większej niż 500 m wprowadzono obowiązek stosowania:

- systemów sygnalizacji pożarowej;

- punktów alarmowych zawierających co najmniej telefon alarmowy i dwie gaśnice proszkowe ABC o masie 6 kg, które powinny być lokalizowane w odstępach 150 m (nowe tunele) lub 250 m (tunele istniejące);

- wyjść ewakuacyjnych w odległości od siebie nie większej niż 500 m, przy czym za wyjście ewakuacyjne uważa się: bezpośrednie wyjście z tunelu na zewnątrz, przejście poprzeczne między komorami tunelu lub przejście do innego tunelu, wyjście na galerię ewakuacyjną, schron z drogą ewakuacyjną wydzieloną pożarowo od komory tunelu;

- hydrantów zewnętrznych nadziemnych średnicy nominalnej DN 80, które powinny być stosowane w pobliżu wjazdów do tunelu i w tunelu w odstępach nieprzekraczających 250 m;

- przejść poprzecznych między komorami tunelu lub pomiędzy tunelami, jeżeli tunel jest dwukomorowy lub odrębne tunele usytuowane są na tym samym lub zbliżonym poziomie;

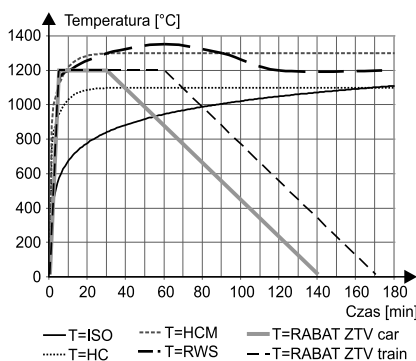
- w tunelu długości większej niż 1000 m oraz poniżej 1000 m, w których uwarunkowania techniczne lub lokalizacyjne uniemożliwiają łączność służbom ratowniczym, wprowadzono obowiązek stosowania urządzeń przekątnikowych zapewniających łączność radiową służbom ratowniczym;

- w przypadku tuneli długości większej niż 3000 m wprowadzono obowiązek stosowania centrum kontroli systemów bezpieczeństwa oraz zainstalowania systemu monitorowania wideo i systemu automatycznego wykrywania zdarzeń drogowych. Tunele monitorowane przez centra kontroli muszą być ponadto wyposażone w urządzenia umożliwiające nadawanie komunikatów alarmowych na częstotliwości rozgłośni radiowych, których sygnały są dostępne w tunelu;

- nałożono obowiązek oznakowania znakami bezpieczeństwa wyjść awaryjnych oraz prowadzących do nich dróg ewakuacyjnych, określając przy tym wymagania, iż na ścianach bocznych tunelu w odległości nie większej niż 25 m, na wysokości $1 \div 1,5$ m powinny znajdować się znaki

określające kierunek oraz odległość od wyjścia awaryjnego.

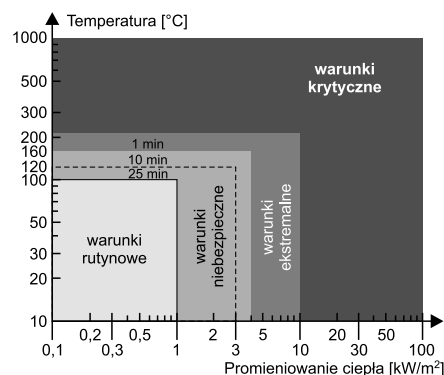
Istotnym czynnikiem zagrażającym bezpieczeństwu użytkowników oraz ratownikom w czasie pożaru jest bardzo wysoka temperatura. Przebieg krzywych tunelowych przedstawiono na rysunku 1. Na podstawie przeprowadzonych testów pożarowych [13] ustalono, że maksymalna temperatura pod stropem tunelu drogowego, w zależności od rodzaju palącego się pojazdu, wynosi $200 \div 1100$ °C. Podczas pożaru autobusu o mocy 15–20 MW temperatura wahała się w granicach 800–900 °C. W ciągu 40 min pożaru w pewnych momentach sięgała nawet 1000 °C. Tak wysoka temperatura



Rys. 1. Przebieg krzywych tunelowych temperatura – czas na tle krzywej standardowej [Źródło: opracowanie własne na podstawie 11, 12]

stanowi duże zagrożenie dla ratowników. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym prowadzenie akcji ratowniczej są toksyczne gazy. Oddziaływanie wysokiej temperatury pożarowej oraz toksyczne środowisko powinny być uwzględnione w przyjętych scenariuszach i procesach decyzyjnych akcji ratowniczo-gaśniczych.

Oddziaływanie wysokiej temperatury i możliwe do przyjęcia warunki pracy dla strażaków przedstawiono na rysunku 2. Jako rutynowe przyjęto warunki pracy, w których temperatura nie przekracza 100°C przy gęstości strumienia promieniowania cieplnego 1 kW/m^2 . Czas pracy w takich warunkach określono na 25 min. Jako niebezpieczne (ryzykowne) uznano warunki, w których temperatura wynosi 100–160 °C, przy gęstości promieniowania $1 \div 4 \text{ kW/m}^2$. W przypadku 120 °C i gęstości strumienia 3 kW/m^2 czas przebywania określono na 10 min. Za warunki ekstremalne uznano takie, w których temperatura wynosi 160–235 °C, a gęstość strumienia promieniowania cieplnego $4 \div 10 \text{ kW/m}^2$. Czas przybywania strażaków w takich warunkach określono na 1 min. We wszystkich przypadkach obo-



Rys. 2. Oddziaływanie wysokiej temperatury i możliwe do przyjęcia warunki pracy dla strażaków [14]

wiązuje stosowanie specjalnej odzieży ochronnej [14, 15]. Podczas prowadzenia działań ratowniczych należy brać pod uwagę również oddziaływanie wysokiej temperatury na konstrukcję tuneli, a więc możliwość zniszczenia elementów oddzielających – ścianek, sufitów, również oddzielni na drogach ewakuacyjnych.

Warunki techniczno-budowlane na przykładzie tunelu drogowego „Emilia” w Lalikach. Przykładem nowoczesnego tunelu drogowego w Polsce jest tunel „Emilia” zlokalizowany w ciągu drogi ekspresowej S-69, w obrębie miejscowości Laliki. Został on wyposażony w zaawansowany system monitorujący i przeciwpożarowy. To pierwszy w Polsce tego typu tunel wybudowany poza miastem. Obiekt został sklasyfikowany jako tunel drogowy, płytki, wykonywany metodami górniczą i odkrywkową, jednonawowy, o obudowie monolitycznej żelbetowej. Przy jego drażeniu po raz pierwszy zastosowano metodę NATM (Nowa Austriacka Metoda Tunelowa), a drażenie prowadzono jednocześnie z dwóch stron. Obiekt w Lalikach składa się z jednonawowego tunelu właściwego i tunelu ewakuacyjno-technicznego. Oba połączone są czterema przejściami poprzecznymi między tunelami, przechodzącymi przez zbocze Sobczakowej Grapy. Wszystkie łączniki tunelowe mają własną służbę powietrzną [15]. Przekrój poprzeczny tunelu drogowego ma kształt podkowy. Podstawowe dane techniczne dotyczące tunelu drogowego, ewakuacyjnego oraz łączników między tunelem drogowym i ewakuacyjnym zestawiono w tabeli.

Tunel w Lalikach wyposażono w następujące instalacje:

- oświetleniową normalnej eksploatacji oraz oświetlenia awaryjnego;
- sygnalizacji pożaru;
- wentylacji pożarowej;

Dane techniczne dotyczące tunelu drogowego, ewakuacyjnego oraz łączników między tunelem drogowym i ewakuacyjnym [16, 17]

Charakterystyka	Dane techniczne
Tunel drogowy	
Konstrukcja tunelu drogowego	żelbetowa – dwie warstwy obudowy, zewnętrzna (wstępna) i wewnętrzna (zasadnicza)
Długość [m]	678,00
Pasy ruchu w tunelu [m]	dwa pasy ruchu: 2 x 3,50 (7,00), opaski 2 x 0,70 (1,40)
Szerokość dwustronnych chodników [m]	1,20
Wysokość nad jezdnią w osi tunelu [m]	6,55
Wysokość skrajni drogi [m]	min. 4,70
Klasa tunelu	A (brak ograniczeń przewożonych materiałów niebezpiecznych)
Projektowane natężenie ruchu [pojazdy/h]	ok. 700
Tunel ewakuacyjny	
Konstrukcja tunelu ewakuacyjnego	jak tunelu drogowego
Długość [m]	678,00
Szerokość użytkowa przekroju typowego [m]	3,80 (2,80 + opaski 2 x 0,50)
Wysokość konstrukcji w osi tunelu [m]	3,95
Wysokość skrajni [m]	3,00
Łączniki między tunelem drogowym i ewakuacyjnym	
Rozstaw osiowy tunelu drogowego i ewakuacyjnego [m]	30,70
Liczba łączników pomiędzy tunelami [szt.]	4
Długość łącznika [m]	21
Szerokość użytkowa przekroju typowego [m]	2,30

■ zasilania awaryjnego w energię elektryczną;

■ kanalizację deszczową ze zbiornikiem bezodpływowym do gromadzenia substancji ropopochodnych;

■ monitoringu: 13 kamer obrotowych, 32 kamery wideo detekcji rozmieszczonych w tunelach drogowym i ewakuacyjnym;

■ nagłośnienia;

■ radioprzebiennik umożliwiający prowadzenie korespondencji radiowo-telefonicznej przez służby ratownicze i policję wewnątrz tunelu.

Nad bezpieczeństwem użytkowników tuneli czuwa personel techniczny. Od niego zależy podjęcie prawidłowej decyzji i skrócenie czasu, który jest najważniejszy w momencie wystąpienia zagrożenia. Podczas wszelkiego rodzaju zdarzeń kierowanie działaniami ratowniczymi, w rozumieniu przepisów Ustawy o Ochronie Przeciwożarowej i rozporządzenia o Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym, prowadzi funkcjonariusz PSP. Sprawdzenie możliwości taktyczno-technicznych oraz współdziałania służb doskonalili się podczas prowadzonych ćwiczeń na terenie tunelu drogowego zgodnie z przygotowanym scenariuszem sytuacji kryzysowej.

Wnioski

• Podczas projektowania tuneli należy tworzyć bezpieczne warunki dla użytkowników oraz dogodne warunki dla ekip ra-

townicznych, umożliwiające prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej.

• Bezpieczeństwo użytkowników to przede wszystkim szybka, sprawnie zorganizowana ewakuacja. Zapewnia to ograniczenie długości przejść i dojść ewakuacyjnych, odpowiednie rozmieszczenie wyjść ewakuacyjnych na zewnątrz lub do dodatkowych schronów z odrębnymi wyjściami oraz tworzenie chodników ewakuacyjnych.

• Przy projektowaniu tuneli należy brać pod uwagę zjawisko termicznego eksplozyjnego odpryskiwania betonu, które jest bardzo niebezpieczne dla ekip ratowniczo-gaśniczych.

• Doświadczenia zdobyte w trakcie ćwiczeń operacyjnych w obiektach podziemnych pokazały, że bardzo ważne jest, aby pracownicy zarządzający tunelem, służby ratownicze i policja wspólnie odbywali ćwiczenia na chronionych obiektach podziemnych, w tym przypadku tunelach, wg opracowanych scenariuszy kryzysowych.

Literatura

- [1] DARTS, Durable And Reliable Tunnel Structures (www.dartsproject.net). Research project, Fifth Framework.
- [2] FIT, Fire in Tunnels (www.etnfit.net). Thematic network, Fifth Framework.
- [3] UPTUN, Cost-effective, Sustainable and Innovative Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels (www.uptun.net). Research project, Fifth Framework.

[4] OECD/PIARC. „Safety in Tunnels. Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels”. OECD Paris, 2001.

[5] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council, 29, April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the trans-European road network. In: Official Journal of the European Union L 201/56pp; published 7.06.2004.

[6] Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council, April 2004 on safety on the Community's railways and amending Council Directive 95/18/EC on the licensing of railway undertakings and Directive 2001/14/EC on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification (Railway Safety Directive). In: Official Journal of the European Union L 164/44 pp; published 30.04.2004.

[7] Decyzja Komisji Europejskiej z 20 grudnia 2007 r. dotycząca technicznej specyfikacji „interoperacyjności” w zakresie bezpieczeństwa w tunelach kolejowych transeuropejskiego systemu kolei komunikacyjnych i transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (Dz. U. UE L 64/1 z 7.03.2008).

[8] Bednarek Z., Drzymała T.: „Problemy związane z zabezpieczeniem ogniochronnym tuneli komunikacyjnych w Polsce”, Materiały Budowlane nr 7/2013, ISSN 0137-2971.

[9] Bednarek Z., Drzymała T.: „Analiza zagrożeń występujących w tunelach komunikacyjnych na skutek eksplozyjnego odpryskiwania betonu”, Obiekty Inżynierskie nr 1/2011 (8).

[10] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 16 maja 2012 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2012 r., poz. 608).

[11] PN-EN 1991-1-2: 2004. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.

[12] Porównanie przebiegu zmian temperatury w czasie dla różnych „krzywych pożarowych”, źródło: <http://www.promat-tunnel.com/en/hydrocarbon-hcm-hc-rabt-rws.aspx>.

[13] Chojnacki K., Fabryczewska A.: „Bezpieczeństwo pożarowe w tunelach”, Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 29, Zeszyt nr 3/1/2005, ISSN 1732-6702.

[14] Foster J. A., Roberts G. V.: Research Report Number 61/1994: „Measurements of the Firefighting Environment”.

[15] Bednarek Z., Drzymała T., Szczypta R.: „Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa w tunelach komunikacyjnych”, rozdział w monografii pod red. Zborowski T. „Rewolucja Bezpieczeństwa Publicznego”, Gorzów Wlkp. – Poznań, 2011 r.

[16] <http://www.itspolska.pl/admin/pliki/Jacek%20Sobczak.pdf> (03.08.2014).

[17] Drażek M.: „Specyfika prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych podczas wypadków drogowych na przykładzie tunelu w Lalikach”, Praca końcowa, SGSP Warszawa 2012, promotor: st. kpt. dr inż. Tomasz Drzymała.