

mgr inż. Aleksandra Powęzka

Zakład Mechaniki Stosowanej

Katedra Techniki Pożarniczej

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Bezpieczeństwo pożarowe linii metra w aspekcie przepisów techniczno-budowlanych

Abstrakt

W artykule poruszono problematykę związaną z warunkami ochrony przeciwpożarowej wybranych środków transportu publicznego. W szczególności analizie poddane zostały tunele metra, które ze względu na swój charakter i przeznaczenie charakteryzują się dużą złożonością wyposażenia technicznego, co wymusza szczególne rozwiązania zabezpieczeń przeciwpożarowych. Przy ich projektowaniu wykorzystano przepisy i doświadczenie innych krajów oraz wnioski z analiz pożarów i katastrof. Warto zauważyć, że zgodnie z obowiązującymi przepisami, w obiektach tych muszą być spełnione wymagania bezpieczeństwa pożarowego wynikające z przepisów, m.in. z: Dyrektywy Unii Europejskiej, Prawa budowlanego oraz przepisów techniczno-budowlanych ustalonych w tym zakresie.

Obiekty metra wyposaża się w zabezpieczenia przeciwpożarowe, tj.: system sygnalizacji pożaru, dźwiękowy system ostrzegawczy, hydranty przeciwpożarowe, podręczny sprzęt gaśniczy i agregaty gaśnicze, instalacje oświetlenia ewakuacyjnego, przeszkodowego i kierunkowego. Urządzenia metra dostosowuje się do celów ochrony przeciwpożarowej, w tym systemów wentylacji, łączności, oświetlenia i nagłośnienia.

Słowa kluczowe: metro, bezpieczeństwo pożarowe, przepisy

Fire Safety of the Metro Lines in the Aspect of Technical and Construction Regulations

Abstract

The aim of the article is to discuss the issues related to the fire protection conditions of the selected public transport vehicles. In particular, the underground tunnels have been analyzed. Due to its location, the building is characterized by a great complex of technical equipment and a large number of people staying in the metro, which has forced special solutions for fire protection. The rules and experience of other countries and the conclusions of the analysis of fires and disasters were used in their determination. It should be noted that in accordance with the regulations in force, these facilities must meet the fire safety requirements of the European Union Directive, Construction Law and the technical and construction regulations established in this area.

Subway facilities are equipped with the fire alarm system, the audible warning system, the fire hydrants, the fire extinguishers, the trolley mounted fire extinguishers and the emergency lighting systems both obstacle and directed. The subway emergency devices such as ventilation, communication, lighting and sound systems are strictly adapted to fire protection purposes..

Keywords: subway, fire safety, regulations

Wstęp

Budowle podziemne pozwalają na rozwiązanie wielu problemów technicznych, m.in.: zmniejszenie ruchu pojazdów samochodowych na powierzchni, ograniczenie zanieczyszczenia środowiska, eliminację hałasu i wyburzenia istniejących obiektów na powierzchni. Tunele zaczęli budować Rzymianie już w I w. p.n.e. W okresie średniowiecza sztuka ta podupadła, aby pod koniec XVII w. we Francji przeżyć odrodzenie. Wtedy do ich drążenia zaczęto używać czarnego prochu. W 1828 roku M. I. Brunel użył jako pierwszy cementu do budowy tunelu pod Tamizą w Londynie. Dopiero podczas budowy kolei przez wysokie góry (Alpy i Andy) zaczęto drążyć tunele o długościach większych niż tunele rzymskie [1].

Na świecie istnieje wiele tuneli komunikacyjnych, a ich liczba nieustannie rośnie. Rozwój ten widoczny jest również w Polsce. Niewątpliwie do najważniejszych inwestycji tunelowych w Polsce należy II linia metra w Warszawie. Podobnej długości tunel posiadają Duńczycy w Kopenhadze [2]. Do najbardziej znanych tuneli kolejowych we wschodniej części kontynentu zaliczymy metro w Kijowie (67,6 km). Najważniejszym w projektowaniu i w budowie tuneli powinno być bezpieczeństwo ich użytkowników.

Zgodnie z brzmieniem Ustawy Prawo budowlane, art. 3 pkt 1, pod pojęciem **obiekту budowlanego** rozumieć należy trzy kategorie obiektów: budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi, budowlę stanowiącą całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami, a także obiekt małej architektury. **Budowlą** jest każdy obiekt budowlany niebędący budynkiem lub obiektem małej architektury, m. in.: obiekty liniowe, lotniska, mosty, wiadukty, estakady, **tunele**, przepusty, sieci techniczne czy wolnostojące maszty antenowe [3].

Tunel to budowla podziemna o charakterze liniowym, służąca celom komunikacyjnym lub transportowym, niezależnie od metody wykonania. Tunele są budowlami przestrzennie zamkniętymi o ograniczonej możliwości poruszania się. Wystąpienie w nich pożaru stwarza poważne zagrożenie dla życia i zdrowia osób, które się tam znajdują. Takiej budowli stawiane są wysokie wymagania użytkowania. Zastosowanie komunikacji podziemnej jest jednym z rozwiązań infrastruktury, które można zastosować w zabudowanych miastach. Rozwiązanie to nie narusza obiektów znajdujących się nad trasą linii metra. **Metro** to szybka, elektryczna, przeważnie podziemna kolej miejska będąca środkiem masowej komunikacji. Składa się z tuneli, stacji oraz różnego przeznaczenia obiektów, jak schrony, pomieszczenia techniczne, tj. stacje transformatorowe, pomieszczenia socjalne itp. W 15 krajach Unii Europejskiej istnieje obecnie ponad 30 systemów metra, a ostatnie inwestycje to systemy w: Tuluzie (1993), Neapolu (1995), Bilbao (1997), Atenach (1998), Katanii (1999), Kopenhadze (2002), Porto (2002) i Turynie (2005). Ponadto dla 80 miast wykonane są projekty sieci metra [4].

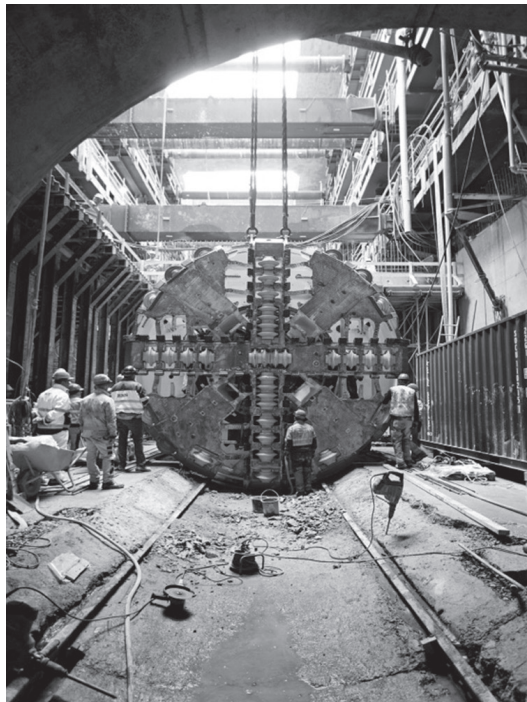
1. Ogólne zasady budowy tuneli metra

Istnieją różne metody budowy tuneli i ich stacji. Ze względu na wykonanie tuneli, zgodnie z normą PN-S-02203, rozróżniamy metody: odkrywkowe,

górnictwa i specjalne. Obecnie najpopularniejszą metodą budowy tuneli szlakowych została okrzyknięta metoda tarczowa. **Metoda górnictwa**, dzięki której odbywa się drażnienie tuneli na dużych głębokościach. Podczas robót nie wykonuje się usuwania powyżej znajdującego się gruntu. Natomiast **metoda odkrywkowa** wymaga zburzenia budynków bezpośrednio nad tunelem. Jest znacznie tańsza, ale zaburza życie na powierzchni. Stosowana jest głównie pod arteriami komunikacyjnymi lub w terenach bez zwartej zabudowy. W tych obszarach nie ma potrzeby wyburzeń lub są one niewielkie. Tą metodą planowano początkowo budowę znacznej części pierwszej linii metra w Warszawie. W gruntach bardzo luźnych lub nawodnionych o bardzo małej nośności stosuje się **metody specjalne**, do których można zaliczyć opuszczanie kesonów, zatapianie gotowych segmentów, a także wzmocnianie górotworu.

Do drażnienia tuneli używa się maszyn drażących TBM, **tunnel boring machine** z systemem równoważenia ciśnienia gruntu (rys. 1 i 2). Stosowane przede wszystkim w twardym skalistym podłożu, jak również znajduje zastosowanie w kruchych niestabilnych gruntach pozbawionych wód podskórnych lub głębinowych. Maszyny wytwarzają nacisk rzędu 300÷500 MPa. Stosowane mogą być również w spękanych i niestabilnych skałach, przy dużym stopniu nawodnienia. W wyniku drażnienia powstaje wyrobisko podziemne o cylindrycznym kształcie. Tunele drażone tą metodą najczęściej mają przekrój kołowy. Maszyny TBM wyposażone w wodoszczelne osłony tarczy, głowicy skrawającej oraz tyłu. Średnica tarczy wiertniczej jest uzależniona od indywidualnych potrzeb, czyli koniecznej szerokości tunelu. Obecnie maszyna wiertnicza zamawiana jest na potrzeby konkretnej inwestycji. Upřednio wykonywane są pomiary i analiza gruntu. Obudowa składa się z pierścieni, **tubingów** (rys. 3). Na jeden tubing potrzeba od 5 do 10 prefabrykowanych segmentów wykonanych z żelbetu lub z fibrobetonu w zależności od rozmiaru tunelu (rys. 4).

Tarcza porusza się ruchem obrotowym, tnąc kolejne warstwy ziemi. Dzięki otworom w głowicy tarczy urobek dostaje się do wnętrza i transportowany jest specjalnym przewodem do szybu startowego. Głowica tarczy wyposażona jest w specjalne noże, dysk do kruszenia skał i innego rodzaju specjalistyczne narzędzia skrawające. W miarę zużywania się ostrzy są one zastępowane nowymi. Dodatkowy przodek tarczy skonstruowany jest tak, aby umożliwić bezpieczne drażnienie, niezależnie od warunków hydrologicznych.



Rys. 1. Praca z ogromną maszyną drążącą

Źródło: [5]



Rys. 2. Wprowadzanie maszyny TBM do tunelu

Źródło: [5]



Rys. 3. Sferoidalna obudowa tunelu nr 1 duńskiego metra

Źródło: [5]



Rys. 4. Tubing przygotowany do montażu na budowie stacji AHM w Kopenhadze

Źródło: [5]

W obecnie stosowanej technologii wszystko odbywa się automatycznie. Nad zadaniami przodka tarczy czuwa około pięć osób jednocześnie. Pracę taśmociągu dostarczającego kolejne tubingi i prace podajnika nadzoruje komputer, który kieruje również procesem wstawiania tubingów w odpowiednie miejsca pierścienia obudowy. Po przejściu tarczy tunel jest praktycznie gotowy do użytkowania. Złożony proces produkcji tubingów sprawia, że po ułożeniu w tunelu nie ma konieczności jego dodatkowego uszczelniania. Tarcza przesuwa się i drąży tunel, który deskuje się a następnie obudowuje się żelbetowymi tubingami. Uszczelnienie tunelu jest jednak dużo bardziej pracochłonne i skomplikowane. Tubingi dostarczane są wagonami do przodka tarczy i tam, za pomocą chwytaka, przesuwane do budowanego pierścienia oraz lokowane we właściwym miejscu. Uszczelnienie tunelu uzyskuje się za pomocą ołowianego drutu, który wbija się w specjalnym rowku tubingu. Każdy element prefabrykowany posiada otwór z korkiem, do którego wstrzykuje się mieszankę betonową. Po jej zaaplikowaniu i utwardzeniu stosuje się kolejny materiał doszczelniający w formie mleczka cementowego. Na końcu tymczasowy korek zastępuje się stałym. Tak przygotowany fragment tunelu uznać można za gotowy [6]. Każdy tunel metra posiada precyzyjnie wyznaczoną trasę przebiegu, określoną w projekcie budowlanym z dokładnością liczoną w milimetrach. Geodeci mają do dyspozycji laser naprowadzający oraz sygnał GPS, który poprzez satelitę dostarcza informację o aktualnej pozycji tarczy i danych do drążenia.

Maszyna drążąca TBM zwana potocznie kretem potrafi drążyć niezależnie od warunków hydrogeologicznych, w których się znajduje. Układa ona tunel w taki sposób, że nie wymaga on żadnej późniejszej ingerencji ludzi w jego konstrukcję. Wykrywa zmiany w strukturze gleby przed sobą. Drążenie za jego pomocą jest szybkie.

2. Bezpieczeństwo w metrze

Jedną z ważnych dziedzin działalności człowieka, której dotyczy ochrona pożarowa, jest budownictwo. Warunki ochrony przeciwpożarowej stawiane budynkom mają zapewnić bezpieczeństwo tych obiektów, a także (a może przede wszystkim) bezpieczeństwo osobom przebywającym w tych budowlach. Budownictwo jest procesem złożonym, u podstaw którego leży wiedza techniczna, umożliwiająca budowanie bezpiecznych dla ludzi i mienia

budynków oraz innych obiektów budowlanych. Niektóre zasady tej wiedzy zostały umieszczone w aktach normatywnych, wśród których najważniejsza to ustawa Prawo budowlane, a także wydane na jej podstawie przepisy wykonawcze, wśród których znajduje się rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i usytuowanie oraz rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie.

Zagadnienie bezpieczeństwa tuneli można rozpatrywać w kilku aspektach. Dotyczyć mogą bezpieczeństwa podczas budowy, a także bezpieczeństwa konstrukcji obudowy tunelu. Oddzielną grupę stanowią zagadnienia związane z zapewnieniem bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń oraz zawodności lub niezawodności taboru poruszającego się w tunelu [7]. Ze względu na zagrożenie pożarem opracowano warunki techniczne, które stanowią wytyczne do projektowania. Ich głównym zadaniem jest: ograniczenie możliwości powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i zadymienia; stworzenie optymalnych warunków ewakuacji pasażerów; zapewnienie odpowiedniej ilości, rozmieszczenia i dostępności środków gaśniczych i ratowniczych; stworzenie systemu sygnalizacji pożarowej i łączności usprawniających podejmowanie decyzji i prowadzenie akcji ratowniczej.

3. Wymagania bezpieczeństwa pożarowego dla tuneli linii metra

Przepisy techniczno-budowlane, oprócz roli regulacyjnej, spełniają ważną rolę w rozwoju techniki i innowacyjności. W zasadzie wszystkie przepisy nie funkcjonują w praktyce. Bardziej skomplikowane obiekty buduje się na podstawie odstępstw uzyskanych w drodze postępowania administracyjnego. Często trudno stwierdzić, na jakich podstawach technicznych obiekt został wzniesiony. Poczyniono krok w kierunku sformułowania wymagań funkcjonalnych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie. Przepisy dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budowlania umieszczono w załączniku nr 1 „Wymagania w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych metra”. W krajach, w których wprowadzono przed kilku laty przepisy oparte na zasadach inżynierii bezpieczeństwa pożarowego obecnie opracowują projekty ich zmian.

Załącznik składa się z 66 punktów. Jest on autonomiczny w stosunku do pozostałych części rozporządzenia. Zawiera wszystkie wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego. Do tej pory wymagania były formułowane w odrębnych rozporządzeniach wynikających z ustawy Prawo budowlane i ustawy o ochronie pożarowej [8].

Zabrania się wykonywania elementów konstrukcyjnych w tunelu z aluminium oraz tworzyw sztucznych [4]. W przypadku gdy część konstrukcji tunelu wchodzi w skład konstrukcji innego obiektu budowlanego, to klasa odporności ogniowej tej części i części powiązanej statycznie nie powinna być niższa niż wymagana klasa odporności ogniowej konstrukcji głównej tego obiektu budowlanego.

3.1. Przepisy i ogólne wymagania

Obowiązujące przepisy wymagają, aby budynki i budowle były projektowane i wykonywane w sposób zapewniający w przypadku pożaru [9]:

- nośność konstrukcji,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu wewnątrz obiektu,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie obiekty lub przyległe tereny,
- możliwość ewakuacji ludzi lub ich uratowania,
- dostęp ekip ratowniczych z uwzględnieniem ich bezpieczeństwa.

Ponadto obiekty budowlane metra powinny spełniać wymagania dotyczące: minimalizacji skutków zalania, zapewniać bezpieczeństwo ruchu pojazdów metra, ochrony środowiska, ochrony gromadzenia się wody oraz sposobów jej odprowadzania, zaopatrzenia w niezbędne media oraz powinny być dostosowane do osób o ograniczonej zdolności poruszania się.

Rozporządzenie [10] wprowadza rozszerzoną definicję tunelu, rozumianą jako budowlę między stacjami metra stanowiącą jego szlak i obudowę, jeżeli powierzchnia otworów nie przekracza 20% całkowitej powierzchni obudowy [10]. Pojęcie to wprowadzono z uwagi na zadymienie i wentylację pożarową.

3.2. Reakcja na ogień

Pożar nie może rozprzestrzeniać się po powierzchni obudowy, a obudowa nie może utrudniać ewakuacji. Tunel metra wraz ze stacjami powinien być

wykonany z materiałów klasy A1, czyli powinien być niepalny, czyli w warunkach rozwiniętego pożaru, nie zapali się i nie będzie wydzielał ciepła, dymu ani płonących kropli lub cząstek.

Okładziny sufitów, sufity podwieszane oraz przewody wentylacyjne muszą być co najmniej klasy A2-s1, d0. Materiały w warunkach pożaru wydzielają niewielkie ilości ciepła, są prawie niepalne, wytwarzają niewielką ilość dymu i nie występują płonące krople ani cząstki. Natomiast okładziny, przezroczyście przekrycia, obudowy schodów, ścianki działowe, osłonowy i przegrody powinny być niepalne, B-s1, d0.

Posadzki peronów i schodów powinny być wykonane z materiałów niepalnych A1fl. Inne posadzki oraz wykładziny powinny być trudno zapalne Cfl-s1.

Kable i przewody oraz ich osłony montowane wewnątrz tunelu powinny być niezapalne, co najmniej klasy B-s3,d0.

3.3. Odporność ogniowa konstrukcji

W obszarze odporności ogniowej bez dodatkowych nakładów uzyskuje się klasy odporności ogniowej R 120 i REI 120, gdyż z uwagi na charakter oddziaływań konstrukcja metra jest masywna [8]. Zabrania się wykonywania elementów konstrukcyjnych w tunelu z aluminium oraz tworzyw sztucznych. Pod względem bezpieczeństwa eksploatacji tunelu istotna jest nośność mocowania elementów konstrukcyjnych oraz wyposażenia. Obliczenia powinny uwzględniać tzw. ciśnienie ssania o wartości nie mniejszej niż 0,5 kN/m². W szczególnych przypadkach można przyjąć wyższą wartość, czego nie precyzuje norma polska oraz normy innych krajów [4].

3.4. Wydzielenia pożarowe

Wydzielone przeciwpożarowo od tuneli oraz części przeznaczonej dla pasażerów ściany i stropy stacji transformatorowych, zespołów prądotwórczych, rozdzielni elektrycznych oraz maszynowni powinny mieć klasę odporności ogniowej R 120 (przegrody nośne) i EI 120 (przegrody nienośne). Otwory w przegrodach budowlanych stanowiących wydzielenie pożarowe powinny być zamykane drzwiami o klasie EI 60.

Kłapy odcinające w miejscu przejścia przez wydzielenia przeciwpożarowe powinny charakteryzować się szczelnością ogniową, izolacyjnością i dymoszczelnością ESI 120.

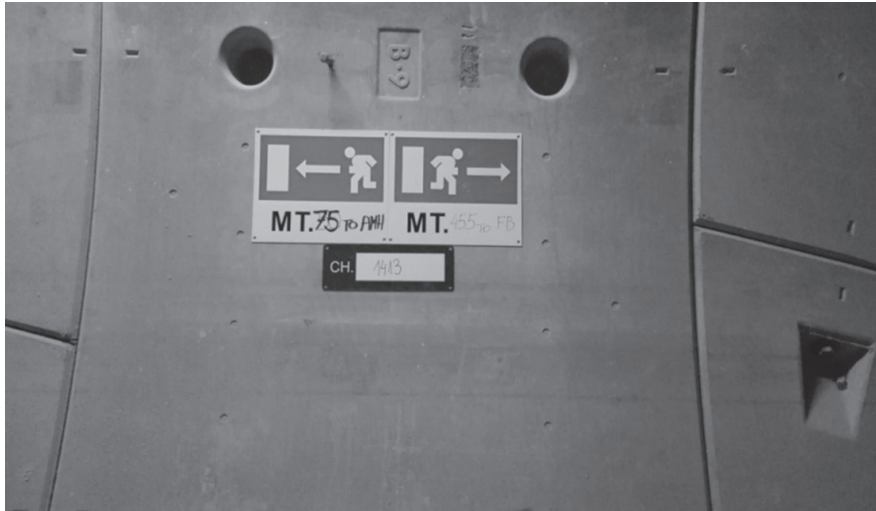
3.5. Ewakuacja

Przepisy formułują także wymagania projektowe dotyczące czasu i warunków ewakuacji z uwagi na stan krytyczny środowiska. Ilekroć w załączniku jest mowa o:

- stanie krytycznym środowiska, rozumie się przez to koniunkcję stanów:
 - temperatura powietrza na wysokości od poziomu drogi ewakuacyjnej,
 - gęstość strumienia promieniowania cieplnego przez czas ekspozycji,
 - temperatury gorących gazów na wysokości,
 - zasięg widzialności mniejszy niż 10 m na wysokości od poziomu drogi ewakuacyjnej,
 - zawartość tlenu;
- projektowanym czasie ewakuacji, rozumianym jako iloczyn obliczonego czasu niezbędnego do ewakuacji i współczynnika bezpieczeństwa;
- krytycznym czasie ewakuacji, rozumianym jako czas do osiągnięcia stanu krytycznego środowiska.

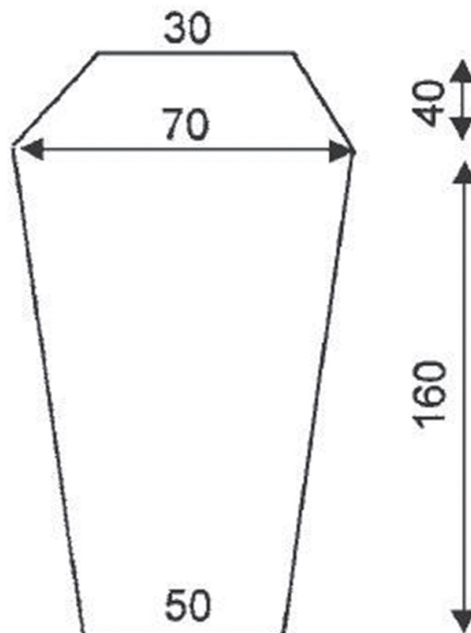
Przewidywany czas ewakuacji z obiektów budowlanych metra, z wyłączeniem tuneli, nie powinien być dłuższy od krytycznego czasu ewakuacji. W tunelach powinny znajdować się wyjścia ratunkowe prowadzące do miejsc bezpiecznych, np. służy bądź poprzecznego korytarza. Za miejsce bezpieczne rozumie się zabezpieczone przed zadymieniem wyjście ewakuacyjne prowadzące na drogę publiczną, inne miejsce poza terenem metra lub na terenie obiektu budowlanego metra, w którym nie powstaje stan krytyczny środowiska w czasie projektowanego czasu trwania pożaru. Odległość między poprzecznymi korytarzami nie powinna przekraczać 400 m. Krawędzie chodnika drogi ewakuacyjnej muszą być widoczne na całej długości. Oznakowanie powinno być fosforescencyjne (rys. 5) oraz posiadać zdolność emisji światła w zakresie widzialnym po usunięciu źródła wzbudzającego.

Minimalne wymiary drogi ewakuacyjnej w tunelu zależą od jego przekroju. Dla tunelu o przekroju kołowym, wymiary należy przyjmować zgodnie z rys. 6, natomiast dla tuneli o przekroju prostokątnym odczytamy z rys. 7.



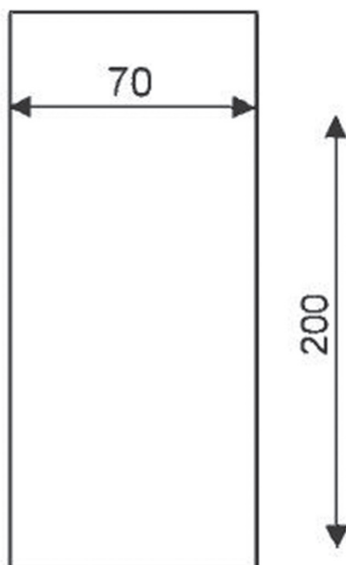
Rys. 5. Kierunek do wyjścia drogi ewakuacyjnej: w prawo stacja AHM, w lewo stacja FB

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Minimalne wymiary drogi ewakuacyjnej w tunelu o przekroju kołowym

Źródło: [10]



Rys. 7. Minimalne wymiary drogi ewakuacyjnej w tunelu o przekroju prostokątnym
Źródło: [10]

W tunelu dwutorowym drogi ewakuacyjne powinny znajdować się po obu jego stronach. Ponadto należy zapewnić wyjście ewakuacyjne na peron pasażerski.

3.6. Oświetlenie awaryjne i dodatkowe

W pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi zapewnia się oświetlenie podstawowe i awaryjne, natomiast w tunelach należy zapewnić wyłącznie oświetlenie awaryjne oraz podświetlenie znaków wskazujących kierunki ewakuacji. Natężenie trasy wolnej od przeszkód mierzona na poziomie posadzki powinno wynosić powyżej 100 lx. Oświetlenie awaryjne powinno być zasilane z oświetlenia podstawowego. W przypadku zaniku, powinno przełączyć się automatycznie na zasilanie akumulatorowe i działać co najmniej przez 3 godziny od zaniku oświetlenia podstawowego. Co najważniejsze, należy również zapewnić monitorowanie stanu zużycia akumulatorów oświetlenia awaryjnego. Czas działania oświetlenia awaryjnego, ze względu na bezpieczeństwo ekip ratowniczych, nie powinien być krótszy niż 2 godziny. Oprawy świetlne powinny być rozmieszczone w odległości nie większej niż 30 m i zapewniać

natężenie światła co najmniej 1 lx w poziomie drogi ewakuacyjnej. Należy wyeliminować efekt olśnienia maszynisty przez zastosowanie opraw z osłonami.

3.7. Wentylacja pożarowa

Wentylacja pożarowa tuneli powinna skutecznie usuwać dym, zabezpieczać przed zadymieniem stacji, wyjść ewakuacyjnych i pomieszczeń, w których znajdują się urządzenia bezpieczeństwa. Dodatkowo tunele o długości większej niż 300 m powinny być wyposażone w mechaniczną wentylację pożarową. Usytuowanie wentylatorni instalacji wentylacji pożarowej ustala się na podstawie wyników przeprowadzonych badań i scenariuszy ochrony przeciwpożarowej dla obiektów budowlanych metra. Projektowana moc pożaru powinna wynosić ponad 15 MW. Przyjmowana jest na podstawie właściwości palnych materiałów oraz wyposażenia. W tunelu nie powinno dochodzić do cofania się dymu. Krytyczna prędkość przepływu powietrza nie powinna być mniejsza niż 1,5 m/s. Wentylatory oddymiające powinny być klasy F 600 120 (temperatura dymu przekracza 400°C) lub F 400 120 (temperatura dymu nie przekracza 400°C). Sytuując wentylatornię w budynku sąsiadującym z linią metra, należy wykonać uprzednio analizę przenoszenia drgań wentylatorów na konstrukcję budynku oraz ich wpływy na ludzi w nim przebywających.

Czerpnie i wyrzutnie powinny pobierać powietrze niezanieczyszczone i usuwać zanieczyszczone, nie powodując zagrożenia pożarowego dla sąsiednich obiektów i terenów. Otwory czerpalne sytuuje się co najmniej 2 m powyżej poziomu terenu i zabezpiecza osłonami. Osłony zabezpieczają przed opadami atmosferycznymi oraz uniemożliwiają dostęp osobom postronnym.

W przypadku usytuowania torów metra na głębokości większej niż 30 m, należy zastosować dźwig dla ekip ratowniczych przystosowany do transportu noszy.

3.8. Dojścia ratunkowe

Dojście ratunkowe czoła tunelu powinno znajdować się w odległości nie większej niż 30 m od drogi publicznej spełniającej warunki drogi pożarowej. Odległość między dojściami nie powinna być większa niż 800 m. Właz ratunkowy powinien mieć wymiary: 1,4 m × 2,4 m i być połączony z tunelem

służą o powierzchni co najmniej 25 m² i zamknięty z obu stron drzwiami klasy EI 30 oraz wyposażony w agregaty wytwarzające nadciśnienie w śluzie.

3.9. Zasilanie w wodę pożarową

Tunele połączone ze stacją metra powinny posiadać instalację wodociągową wyposażoną w punkty poboru wody do celów przeciwpożarowych, tj. hydranty (rys. 8 i 9) wraz z zaworami zasilane z miejskiej sieci wodociągowej, przy zapewnieniu dwustronnego zasilania na każdej stacji metra. Zawory hydrantowe 52 w tunelach umieszcza się w odległości nie większej niż co 60 m oraz w śluzach. Przy wejściu na stacje metra, czole tunelu oraz przy włączniku ratunkowym powinny znajdować się nasady o średnicy 75 mm, służące do awaryjnego zasilania instalacji wodociągowej z samochodów gaśniczych lub hydrantów zewnętrznych. Powinny być usytuowane przy drogach pożarowych przy wejściach do stacji metra, w odległości do 30 m i w odległości do 15 m od hydrantów zewnętrznych.



Rys. 8. Hydrant w tunelu szlakowym

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Hydrant na stacji metra

Źródło: opracowanie własne

W tunelach najczęściej używane są instalacje suche, które w trakcie pożaru wypełniane są wodą. Wypełnienie instalacji nie powinno być dłuższe niż 10 min. Zaopatrzenie w wodę możliwe jest dzięki zbiornikom wodnym lub sieci wodociągowej [4]. Te dwa niezależne przyłącza wody powinny być nie mniejsze niż DN 100 (rys. 10). W każdym tunelu przewody instalacji wodociągowej przeciwpożarowej powinny być prowadzone po przeciwnej stronie toru niż trzecia szyna, na wysokości między 0,6 m a 0,8 m nad główką szyny. Przewody powinny być połączone z instalacją wody pożarowej każdej stacji. Sieć wodociągowa pożarowa powinna zapewnić ciśnienie w hydrancie zewnętrznym co najmniej 0,1 MPa oraz wydajności 5 dm³/s przez co najmniej 2 godziny [11].

W trakcie pożaru ochroną przed przenoszeniem ognia jest odpowiednio zabezpieczona kanalizacja deszczowa. Jej zadaniem jest odprowadzenie benzyn, olejów do specjalnych zbiorników znajdujących się poza obiektem.



Rys. 10. Linia wodociągowa wzdłuż tunelu szlakowego

Źródło: opracowanie własne

3.10. Stałe instalacje gaśnicze

Pomieszczenia, w których znajdują się urządzenia decydujące zarówno o bezpieczeństwie ruchu, jak i bezpieczeństwie pożarowym powinny posiadać stałe samoczynne urządzenia gaśnicze. Natomiast pomieszczenia przeznaczone do prowadzenia usług, handlu i gastronomii usytuowane na podziemnej stacji metra powinny posiadać SUG wodny, pod warunkiem, że ich łączna powierzchnia przekracza 500 m^2 i na stacji występuje przynajmniej jeden zespół takich pomieszczeń o powierzchni większej niż 200 m^2 .

3.11. Zasilanie bezpieczeństwa

W myśl par. 68 pkt 1 [8] budowie i urządzenia linii metra zasilane elektroenergetycznie powinny zapewnić: energię elektryczną odpowiednią do potrzeb użytkownika; ochronę przed przepięciem, porażeniem, powstaniem pożaru czy też wybuchem oraz nie wywoływać drgań przekraczających dopuszczalny poziom hałasu. Instalacja, która powinna działać w przypadku pożaru,

powinna być zasilana z dwóch niezależnie, samoczynnie włączających się źródeł energii. Źródłem podstawowym może być publiczna sieć, natomiast źródłem rezerwowym stacja transformatorowa lub agregat prądotwórczy. Stacja trafo zasilana jest z publicznej sieci zasilającej, natomiast agregat ma zapewnić energię do działania urządzeń bezpieczeństwa przez co najmniej 120 min, by zapewnić ciągłość ich działania. Przewody i kable mają być zabezpieczone przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Instalacja elektryczna powinna posiadać przeciwpożarowy wyłącznik prądu, który odetnie dopływ prądu do wszystkich obwodów, z wyjątkiem obwodów zasilających instalacje i urządzenia, których funkcjonowanie jest niezbędne. Włacznik umieszcza się w pobliżu głównego wejścia do metra lub złącza z odpowiednim oznakowaniem. Odcięcie dopływu prądu nie może powodować samoczynnego załączenia drugiego źródła energii, w tym zespołu prądotwórczego. Wyjątek stanowi źródło zasilające oświetlenie awaryjne.

3.12. Łączność

Urządzenia zdalnego sterowania i kontroli powinny być zlokalizowane w centralnej dyspozytorni. System sterowania urządzeniami zasilania powinien zapewniać dostarczenie energii na całej linii metra, umożliwiając:

- zdalne sterowanie,
- kontrolę napięć i przepływów prądu,
- wizualizację schematów głównych zasilania z odwzorowaniem akumulatorowego stanu pracy,
- przyspieszenie procesów sterowania zapewnione poprzez grupowanie poleceń włączenia i wyłączenia sekcji zasilania trakcyjnego,
- stałą rejestrację i archiwizację zdarzeń,
- generowanie alarmów sygnalizujących awarię, czy nieprawidłową pracę ze wskazaniem miejsca zdarzenia.

System ten powinien być odporny na zakłócenia powodujące możliwości wykonania błędnego sterowania i być wyposażony w sygnalizację zakłóceń pracy systemu. Linie metra oraz stacje techniczno-postojowe powinny być połączone siecią teleinformatyczną obejmującą swoim zakresem centralną dyspozytornię, pomieszczenia pracowników obsługi metra i pomieszczenia techniczne. Dodatkowo powinna zostać zapewniona możliwość dwustronnego komunikowania się z sieciami działającymi na innych liniach metra tego samego zarządcy.

3.13. Sygnalizacja pożarowa

Stosowanie systemu sygnalizacji pożarowej wymagane jest zgodnie z par. 24.1 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. Do głównych zadań systemu należy automatyczne wysyłanie sygnału do centrali, która przyjmuje jeden ze scenariuszy ewakuacyjnych. Pomaga to w szybkim i bezbłędnym wykryciu powstającego pożaru, zanim się rozwinie i osiągnie rozmiary trudne do opanowania. Szybkie wykrycie źródła pożaru daje więcej czasu na przeprowadzenie ewakuacji i skuteczną ochronę zgromadzonego mienia. Powinna istnieć możliwość przejścia ze sterowania automatycznego w ręczne. Sterowanie ręczne powinno być priorytetowe. System powinien wykryć pożar w początkowym stadium, gdy moc pożaru nie przekracza 1 MW. System powinien pracować z różnymi rodzajami czujek dymu, ciepła i płomienia. Ze względu na warunki panujące w tunelu stosuje się technikę światłowodową [12, 13]. Czujki, dzięki wykorzystaniu światłowodowego kabla sensorycznego, przeznaczone są do współpracy z dowolnym systemem sygnalizacji pożaru (SSP). Podstawowym elementem czujki jest detektor przeznaczony do montażu w szafie naściennej. Za pomocą dostarczonego w zestawie z detektorem oprogramowania dokonuje się konfiguracji detektora, w tym pomiaru długości kabla sensorycznego i jego kalibracji. Następnie definiuje się strefy dozorowe oraz kryteria i progi alarmów pożarowych dla każdej strefy indywidualnie. Programowanie pozwala na wizualizowanie profilu temperatury na całym odcinku kabla sensorycznego. Detektor pracuje autonomicznie, rejestrując rozkłady temperatury oraz stany alarmowe. Do pomiaru rozkładu temperatury detektor wykorzystuje światłowodowy kabel sensoryczny, w którym dokonuje analizy rozproszenia impulsów światła laserowego.

3.14. Dźwiękowy System Ostrzegawczy (DSO)

Stacje metra powinny być wyposażone w system informacji, głosowej i dotykowej. DSO za pomocą mikrofonu strażaka zapewnia przekazywanie zrozumiałych poleceń, komunikatów alarmowych, ewakuacjach i zagrożeniach. Poziom natężenia dźwięku powinien zapewniać słyszalność sygnału alarmu pożarowego na poziomie szumów tła. Poziom dźwięku nie powinien być większy niż 120 dB.

Podsumowanie

Każdego dnia miliony ludzi na całym świecie podróżuje metrem. Wiele osób zakłada, iż nowoczesne środki bezpieczeństwa są wystarczające, aby zapobiec wybuchowi lub ochronić ich podczas powstałego pożaru. Niestety obecnie nie istnieje metoda gwarantująca 100-procentową skuteczność wykrywania pożaru w różnych warunkach panujących w tunelu i różnych scenariuszach rozwoju pożaru. Pożary tuneli, które miały dotychczas miejsce na świecie, uświadomiły projektantom, wykonawcom oraz użytkownikom jak ważnym zagadnieniem jest bezpieczeństwo w tunelach i do jak groźnych konsekwencji może doprowadzić pożar. Z uwagi na ten fakt, należy wprowadzić zmiany oraz modernizację zabezpieczeń, by zwiększyć poziom bezpieczeństwa podróżnych.

Należy zweryfikować akty prawne dotyczące budownictwa i bezpieczeństwa pożarowego w tunelach i innych obiektach podziemnych pod kątem ich aktualności wewnętrznej i wzajemnego powiązania. Należy kontynuować prace badawcze w celu poznania technologii wykonawstwa tuneli. Dzięki temu można lepiej przewidywać wstępne zagrożenia w fazie drążenia tunelu (tj. dopływ wody i piasku, skał, a także elementów bezpieczeństwa, szczególnie w zakresie zagrożenia pożarowego). Celowe byłoby opracowanie jednolitych wytycznych, które w swoim zakresie objęłyby wymagania wentylacji, zasilania, łączności, alarmowania, automatyzacji, sterowania i zarządzania tunelami [14]. Rozwiązania te w istotny sposób podwyższają stopień bezpieczeństwa przeciwpożarowego w podziemnych obiektach metra. Zastosowanie systemu wentylacji oraz eliminacja materiałów palnych i toksycznych zapobiega intensywnemu zadymieniu, które powoduje wśród pasażerów wywołanie paniki, czyli nagłego, niepohamowanego strachu [15, 16].

Specyficzne warunki eksploatacji metra powodują, że wszystkie elementy systemu ulegają narastającemu zanieczyszczeniu, co jest szczególnie niebezpieczne dla czujek dymu. Przedstawione zagadnienia ochrony pożarowej mają charakter ogólny. Dopiero praktyka wykaże, czy zainstalowane urządzenia spełnią swoje zadania.

Literatura

- [1] Sawicki T., Ogień i czarne dziury, *Przegląd Pożarniczy* 2005, nr 7, s. 14–16.
- [2] Grovesen M., Going underground – the Metro in Copenhagen, *Fire International* 2002, no 96, s. 20–21.
- [3] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (DzU z 2010 r. nr 243, poz. 1623).
- [4] Furtak K., Kędracki M., Podstawy budowy tuneli, Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych, Wydawnictwo PK, Kraków 2005.
- [5] <http://cmtcityringen.dk/>.
- [6] <http://www.metro.waw.pl/pliki/dm/Podziemne%20krety%20Warszawy.pdf>.
- [7] Furtak K., Rozwiązania techniczne elementów konstrukcyjnych i wyposażenia tuneli z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa eksploatacji, Materiały Konferencji naukowo-technicznej. Problemy podziemnej komunikacji miejskiej w Krakowie, Kraków 2002.
- [8] Kosiorek M., Projekt przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego obiektów metra, *Materiały Budowlane* 2010, nr 7, s. 64–65.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2015 r., poz. 1422).
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać linie metra i ich usytuowanie (DzU Nr 144, poz. 859).
- [11] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych Administracji z 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (DzU Nr 124, poz. 1030).
- [12] Kamińska A., Gierski E., Taktyka działań ratowniczo-gaśniczych w warszawskim metrze, Firex, Warszawa 1996.
- [13] Motyka P., Niedostępne tunele, *Przegląd Pożarniczy* 2005, nr 7, s. 12–13.
- [14] Marek J., Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w infrastrukturze, *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 2014, nr 5, s. 44–45.
- [15] Borowski M., Metro pod specjalną ochroną, *Przegląd Pożarniczy* 1993, nr 11, s. 10–11.
- [16] Romanowski B., Metra proza ratownicza, *Przegląd Pożarniczy* 1995, nr 2, s. 10–11.