

Utrzymanie i inspekcja tuneli metra w USA

ANNA M. RAKOCZY*

¹Zakład Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych, Instytut Dróg i Mostów, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Streszczenie: Utrzymanie tuneli komunikacji miejskiej (metro) obejmuje działania mające na celu utrzymanie bezpieczeństwa użytkownika tunelu przez cały okres jego eksploatacji. Skuteczny program konserwacji pomaga obniżyć koszty, zmniejszyć liczbę zamknięć tuneli, zwiększyć bezpieczeństwo publiczne i zapewnić odpowiedni poziom usług. W USA jest kilka ogólnie dostępnych norm i przewodników, które zawierają szczegółowe informacje i wytyczne o potencjalnych defektach i uszkodzeniach tuneli oraz metodach ich konserwacji. Podręcznik Kolejnictwa AREMA, Rozdział 1, Część 8, określa potencjalne uszkodzenia tuneli, a w Podręczniku inspekcji mostu AREMA, Rozdział 11 – Inspekcja tunelu, umieszczone są informacje na temat protokołu inspekcji konstrukcji tunelu. Sekcja 4.5 TSI SRI obejmuje zasady utrzymania tuneli kolejowych, między innymi: identyfikację elementów, które podlegają zużyciu lub degradacji; określenie granic użytkowania elementów ulegających pogorszeniu oraz opis środków zapobiegających temu pogorszeniu. Podręcznik TOMIE zawiera szczegółowe informacje na temat eksploatacji, konserwacji, kontroli i oceny tuneli. W tym artykule opisane są praktyki i standardy inspekcji tunelu, monitorowania i czynności konserwacyjnych praktykowane w USA.

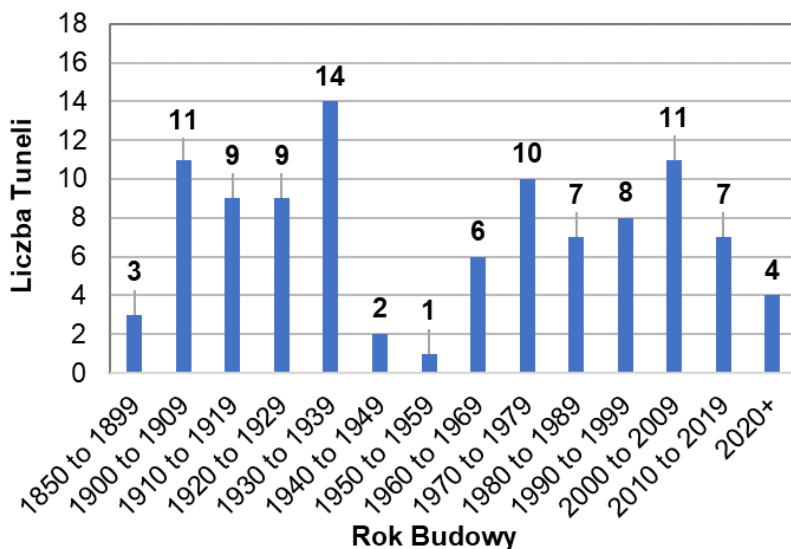
Słowa kluczowe: inspekcja tuneli, inwentaryzacja tuneli, konserwacja tuneli, protokoły z inspekcji, tunele komunikacji miejskiej (metro), utrzymanie tuneli

1. Wprowadzenie

Tunele komunikacji miejskiej (metro) są integralną częścią branży transportu kolejowego i mają kluczowe znaczenie dla komunikacji pasażerów przez miasta w Stanach Zjednoczonych. Stanowią alternatywę dla budowy mostów w przypadku przeszkody wodnej lub pokonywania przeszkód fizycznych, takich jak góry, istniejące drogi, tory kolejowe lub inne obiekty. Tunele są realnym sposobem zminimalizowania potencjalnego wpływu na środowisko wynikającego z natężenia ruchu, takiego jak jakość powietrza i zanieczyszczenie hałasem. Ponadto tunele umożliwiają dopuszczenie alternatyw dla ruchu pieszego; ochronę obszarów o szczególnej wartości kulturowej lub historycznej, takich jak konserwacja dzielnic, budynków lub własności prywatnej; lub z innych powodów zrównoważenia, takich jak uniknięcie wpływu na siedlisko przyrodnicze lub ograniczenie zakłóceń na powierzchni ziemi. Jednak inwentaryzacja infrastruktury tunelowej wskazuje, że wiele tuneli, których wiek przekracza 100 lat, stanowi „wąskie gardło”, które może powodować poważne zakłócenia mobilności pasażerów w przypadku pożaru lub incydentu związanego z bezpieczeństwem [1].

*Autor do korespondencji: anna.rakoczy@pw.edu.pl

Rysunek 1 przedstawia zestawienie tuneli komunikacji miejskiej w Stanach Zjednoczonych ze względu na rok ukończenia ich budowy [2]. Około połowa tuneli została zbudowana ponad 50 lat temu, a około 15% tuneli powstało ponad 100 lat temu. To ilustruje prawie równomierny podział na nowsze tunele (mniej niż 50 lat) i starsze tunele (powyżej 50 lat).



Rys. 1. Wiek tuneli komunikacji miejskiej w USA

Koszt utrzymania i konserwacji systemów tuneli komunikacji miejskiej musi być zbilansowany z ilością dostępnych funduszy. Zasoby na dokonywanie napraw i ulepszeń są ograniczone, dlatego naprawy muszą być oceniane pod kątem ważności, aby móc podejmować świadome decyzje inwestycyjne. Opiniowanie jest zwykle wykonywane po otrzymaniu danych z inspekcji. Do oceny konsekwencji awarii systemu tunelowego lub jego elementów pod względem ogólnego bezpieczeństwa, poziomu usług i kosztów stosuje się rzetelną ocenę inżynierską. W niektórych przypadkach, na przykład braku danych projektowych, mogą być potrzebne dodatkowe inspekcje i badania. Techniki oceny ryzyka powinny obejmować strategię rozmieszczania, obsługi, konserwacji, modernizacji i utylizacji elementów systemu tunelowego w sposób efektywny kosztowo.

W USA jest kilka ogólnie dostępnych norm i przewodników, które zawierają informacje na temat utrzymania, inspekcji i rehabilitacji tuneli, między innymi:

- FHWA-NHI-10-034 [3] - Obszerny dokument zawiera szczegóły dotyczące projektowania i renowacji. Norma przeznaczona jest dla tuneli drogowych. Większość tematów dotyczy również tuneli kolejowych, ale brakuje niektórych aspektów eksploatacji kolei,
- AREMA Bridge Inspection Handbook [4] - Dokument zawiera ogólne wytyczne, ale brak szczegółów,
- FHWA-HIF-15-005 (TOMIE Manual) [5] - Obszerny dokument zawiera szczegóły dotyczące projektu. Norma przeznaczona jest dla tuneli drogowych i kolejowych. Jednakże, brakuje niektórych aspektów dotyczących eksploatacji kolei,
- 23 CFR Part 650 (2015) [6] - Minimalne wymagania dla tuneli autostradowych. Większość tematów dotyczy również tuneli kolejowych, ale brakuje niektórych aspektów eksploatacji kolei.

Dostępne dokumenty często dotyczą tuneli drogowych, dlatego niektóre agencje opracowują własne standardy, aby uzupełnić niezbędne informacje.

2. Historia Tuneli Kolejowych w USA

Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) świadczy usługi transportu ciężkiego, lekkiego i autobusowego w obszarze metropolitalnym Bostonu, łącznie określane jako szybka komunikacja miejska i posiada jedną z najstarszych sieci tuneli komunikacji miejskiej. Otwarty we wrześniu 1897 roku czterotorowy odcinek tunelu Green Line między stacjami Park Street i Boylston był pierwszym metrem w Stanach Zjednoczonych i został uznany za Narodowy Punkt Zabytkowy. Śródmiejskie części systemu komunikacji miejskiej czyli obecnie tunele na liniach: zielonej, pomarańczowej, niebieskiej i czerwonej, były już w użytku od 1912 roku. Rozbudowa szybkiej sieci komunikacji miejskiej miała miejsce w większości dziesięcioleci XX wieku i trwała również w 2000 roku wraz z dodaniem Silver Line, szybkiej komunikacji miejskiej autobusowej, i planowaniem rozbudowy zielonej linii. Wszystkie linie, z wyjątkiem linii Ashmont-Mattapan, biegną w tunelach w centrum miasta, ale żadna trasa nie jest całkowicie podziemna. Tylko 31 ze 133 stacji systemu to stacje podziemne.

Jedną z ciekawostek dotyczących sieci tuneli komunikacji miejskiej w Bostonie, jest opuszczony tunel MBTA, który liczy sobie ponad 120 lat (Rys. 2). Tunel o długości 200 stóp znajduje się pod City Hall Plaza. Kiedyś łączył dwie nieistniejące już stacje MBTA: Scollay Square, obecnie część stacji Government Center, i Adams Square, który działał dokładnie tam, gdzie obecnie stoi ratusz. Stacja Adams Square została otwarta w 1898 i zamknięta około 1963, kiedy rozpoczęła się budowa Centrum Rządowego. Wtedy też ten kawałek tunelu został zamknięty. Tunel okazjonalnie można zwiedzać, ale dostępność biletów jest zawsze ograniczona.



Rys. 2. Opuszczony MBTA Tunnel.

Nowojorskie metro (New York City Subway) to system szybkiego transportu, którego właścicielem jest miasto Nowy Jork. Otwarte 27 października 1904 r. nowojorskie metro jest jednym z najstarszych na świecie systemów transportu publicznego i jednym z najczęściej używanych. Nowojorskie metro ma największą liczbą stacji - 472 działające stacje znajdujące się w dzielnicach Manhattanu, Brooklynu, Queens i Bronxu.

Przez większość swojej historii metro – czyli New York City Subway działało 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, z wyjątkiem sytuacji awaryjnych i katastrof. Pod względem corocznych przejazdów nowojorskie metro jest najbardziej obciążonym ruchem pasażerskim

systemem szybkiej komunikacji zarówno na półkuli zachodniej, jak i w świecie zachodnim, a także siódmym najbardziej obciążonym systemem szybkiej kolei na świecie.

New York City Subway jest również jednym z najdłuższych systemów metra na świecie. Ogólnie metro liczy 248 mil (399 km) tras, co przekłada się na 665 mil (1070 km) toru użytkowego (ang. „revenue track”) a łącznie 850 mil (1370 km), w tym tras dojazdowych (ang. „non-revenue trackage”). Spośród 28 tras lub „usług” systemu (które zwykle dzielą tor lub „linie” z innymi usługami) 25 przejeżdża przez Manhattan, z wyjątkiem pociągu G, Franklin Avenue Shuttle i Rockaway Park Shuttle. Duża część metra poza Manhattanem jest na nasypach lub w otwartych wykopach, a kilka odcinków torów biegnie na poziomie terenu. Tylko 40% torów znajduje się nad ziemią. Istnieje dziewięć stacji zamkniętych na stałe, w tym wspaniały przystanek City Hall (rys. 3).



Rys. 3. Opuszczona stacja City Hall, NYC

NYCT przeprowadza inspekcje tuneli w odstępach rocznych. Obejmuje to cztery grupy, które przeprowadzają inspekcję konstrukcji tunelu każdej nocy w godzinach nieoperacyjnych. Kilka różnych grup inspektorów sprawdza różne elementy tunelu, takie jak oświetlenie, torowisko, odwodnienie toru, moc trakcji oraz sygnalizację. Inspekcje wizualne są zwykle wykonywane na piechotę, ale w określonych okolicznościach stosuje się również bardziej zaawansowane techniki. Podczas inspekcji i rehabilitacji tunelu Montague, po huraganie Sandy, wykorzystano z różnym skutkiem skanowanie GPR i podczerwienią, aby zlokalizować puste przestrzenie i wodę uwięzioną w obudowie tunelu.

Metro w Waszyngtonie, formalnie Metrorail, to szybki system komunikacji miejskiej obsługujący obszar metropolitalny Waszyngtonu. Jest administrowane przez Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA), która również obsługuje usługi Metrobus i Metrorail pod nazwą Metro. Otwarta w 1976 r. sieć obejmuje obecnie sześć linii, 91 stacji i 17 mil (188 km) trasy.

Metro jest drugim najbardziej obciążonym systemem transportu pasażerskiego w Stanach Zjednoczonych pod względem liczby podróży pasażerskich, po metrze nowojorskim, i piątym w Ameryce Północnej.

Około 80 km torów metra znajduje się pod ziemią, podobnie jak 47 z 91 stacji. Podziemne stacje metra zostały zbudowane z betonowych łuków przypominających katedrę, podkreślonych miękkim, pośrednim oświetleniem (Rys. 4). Metro biegnie pod ziemią głównie w obrębie

centrum D.C. i gęsto zaludnionych przedmieść. Odcinek toru na nasypach stanowi około 46 mil (74 km), a część wyniesiona na wiaduktach to 9 mil (14 km). System działa na unikalnej szerokości toru 4 ft 8 + 1/4 cala (1429 mm). Jest to 1/4 cala (6,4 mm) węższe niż 4 stopy 8+1/2 cala (1435 mm) standardowego rozstawu szyn.



Rys. 4. Podziemna stacja metra WMATA z betonowych łuków przypominających katedrę.

WMATA posiada grupę wykwalifikowanych inspektorów, którzy sprawdzają tunele w każdy weekend, aby upewnić się, że każdy tunel w ich systemie przeszedł coroczną inspekcję. WMATA stosuje wytyczne inspekcji określone w podręczniku TOMIE. Inspekcje wizualne są zwykle wykonywane przez personel przechodzący przez tunele, ale niektóre zaawansowane techniki są również stosowane, gdy w określonych lokalizacjach pojawiają się bardziej złożone problemy.

3. Utrzymanie tuneli

Starsza infrastruktura tunelowa wymaga odpowiednich działań związanych z utrzymaniem, inspekcją i konserwacją, aby zapewnić kontynuację bezpiecznego użytkowania. Skuteczny program konserwacji pomaga obniżyć koszty utrzymania, zmniejszyć liczbę zamknięć tuneli, zwiększyć bezpieczeństwo publiczne i zapewnić odpowiedni poziom użytkowania. Czynności konserwacyjne obejmują zarówno proste zadania, jak i złożone przedsięwzięcia, jak wskazano w poniższej hierarchii:

- usuwanie gruzu, śniegu i lodu,
- mycie konstrukcji tuneli, płukanie odpływów, dokręcanie śrub i wymiana żarówek,
- serwisowanie sprzętu, osprzętu do malowania i renowacja nawierzchni,
- testy, weryfikacje, pomiary i kalibracje,
- planowane interwencje,
- nieplanowane interwencje,
- gruntowny remont (ang. „rehabilitation”) - wdrażane są naprawy i modernizacje na dużą skalę.

Podczas eksploatacji tuneli można wydzielić dwa przypadki: warunki normalne i reagowanie w sytuacjach awaryjnych. Normalne procedury użytkowania obejmują:

- utrzymanie ciągłości ruchu,
- czasowe zamknięcia tuneli,
- badanie warunków pogodowych,
- usuwanie zagrożeń na jezdni/torach,
- inspekcje obszarów krytycznych,
- sprawdzanie systemów funkcjonalnych, sprzętu serwisowego,
- czyszczenie obiektu tunelowego,
- konserwacja pojazdów i sprzętu,
- wypełnianie dzienników i list kontrolnych,
- prace obróbkowe zamówienia,
- sprawdzanie informacji, ocena czujników i mierników.

Natomiast, reagowanie kryzysowe obejmuje takie sytuacje jak:

- uderzenia i kolizje: usunięcie pojazdu, usunięcie gruzu, naprawa chodnika, sprawdzenie uszkodzenia tunelu;
- pożary: wentylacja awaryjna, szybkie wykrywanie,
- powódzie: uruchomienie systemu pomp,
- trzęsienia ziemi: uszkodzenia konstrukcji, przecieki.

Skuteczny program konserwacji tuneli zmniejsza koszty utrzymania, zmniejsza liczbę zamknięć i zwiększa bezpieczeństwo. W idealnym przypadku strategii konserwacji obiektu tunelowego powinny zapewniać równowagę między konserwacją zapobiegawczą a konserwacją na żądanie. Jeżeli w trakcie wykonywania zadań konserwacyjnych zostaną zidentyfikowane problemy związane z bezpieczeństwem ruchu lub konstrukcją, należy zająć się tymi usterekami niezwłocznie.

4. Inspekcje tuneli

Inspekcja tunelu wymaga wielodyscyplinarnego personelu znającego różne aspekty funkcjonalne tunelu, w tym elementy konstrukcyjne, mechaniczne, elektryczne, odwadniające i wentylacyjne, a także niektóre aspekty operacyjne, takie jak sygnalizacja, komunikacja, bezpieczeństwo pożarowe i elementy ochrony. Inspektorzy powinni być certyfikowani i znać obowiązki inspektorów. [5]

FHWA opracowała Krajowe Standardy Kontroli Tuneli (NTIS), [7] Podręcznik TOMIE [5] oraz Specyfikacje dla Krajowej Inwentaryzacji Tuneli (SNTI) [8] aby pomóc chronić tunele i zapewnić niezawodny poziom usług na wszystkich drogach publicznych. NTIS zawierają wymagania prawne Narodowego Programu Kontroli Tuneli (NTIP) i powołują się na Podręcznik TOMIE i SNTI w celu rozszerzenia wymagań dotyczących inspekcji tuneli. Podręcznik TOMIE zapewnia jednolite i spójne wytyczne i jest podstawowym źródłem przy opracowywaniu programów eksploatacji, konserwacji, inspekcji i oceny tuneli. Natomiast SNTI zawiera instrukcje dotyczące przesyłania danych inwentaryzacyjnych i inspekcyjnych do FHWA, które są gromadzone w bazie danych National Tunnel Inventory (NTI) w celu śledzenia zmian stanu tuneli drogowych w całych Stanach Zjednoczonych. Ogólne wymagania programu można podsumować jako:

- przeprowadzanie regularnych, zaplanowanych inspekcji tuneli,
- prowadzenie ewidencji i inwentaryzacji tuneli,
- przesyłanie danych inwentaryzacyjnych tuneli i danych z inspekcji do FHWA,
- zgłaszanie krytycznych ustaleń i reagowanie na problemy dotyczące bezpieczeństwa i/lub konstrukcji,
- utrzymanie aktualnych wartości znamionowych we wszystkich obiektach tunelowych,
- opracowywanie i utrzymywanie programu kontroli i zapewniania jakości,

- ustalenie odpowiedzialności za organizację inspekcji tunelu oraz kwalifikacji personelu inspekcji tunelu,
- szkolenie i krajowa certyfikacja inspektorów tuneli.

Ponadto SNTI służy do gromadzenia danych z inwentaryzacji tuneli, takich jak rodzaj tunelu, wiek i poziom eksploatacji, klasyfikację, dane geometryczne, inspekcje, ocena obciążenia i nośności, nawigacja i typ konstrukcji. Dane NTI zawierają ponadto opis wszystkich tuneli autostradowych w tym wstępne informacje inwentaryzacyjne, odzwierciedlające wyniki ostatniej przeprowadzonej inspekcji.

Rodzaje inspekcji, którym podlegają tunele można podzielić na podstawie priorytetu: wstępne, rutynowe, uszkodzenia, dogłębne i specjalne:

- **Wstępny** - Ustalenie zakresu inspekcji oraz warunków bazowych dla tunelu.
- **Rutynowe** – Kompleksowe obserwacje i pomiary wykonywane w regularnych odstępach czasu.
- **Uszkodzenia** – Ocena uszkodzeń spowodowana zdarzeniami, takimi jak uderzenie, pożar, powódź, wstrząsy sejsmiczne i wybuchy.
- **Dogłębne** – Zidentyfikowanie trudnych do wykrycia braków przy użyciu technik inspekcji z bliska.
- **Specjalne** – monitorowanie wad i braków związanych z bezpieczeństwem lub krytycznymi ustaleniami.

Wymagania inspekcji można przedstawić za pomocą schematu jak na rys. 5.



Rys. 5. Schemat realizacji inspekcji tunelu i wymagania w ich zakresie

Wszystkie ogólne notatki z inspekcji/napraw w terenie, układające się w chronologię zdarzeń, muszą być przechowywane w oprawionym dzienniku polowym. Informacje zawarte w dzienniku polowym powinny zawierać uwagi dotyczące kwestii bezpieczeństwa oraz rozmów z wykonawcami, personelem operacyjnym i innymi zainteresowanymi stronami. Wpisy do protokołu inspekcji (dziennika polowego) muszą być ułożone chronologicznie według dat i godzin oraz zawierać jasne, zwięzłe i rzeczowe powiadomienia o zdarzeniach oraz odpowiednie szkice. Wyniki inspekcji terenowej, notatki i baza danych inspekcji powinny być przechowywane w jednym miejscu. Trzy rodzaje notatek terenowych wymaganych do skutecznej inspekcji tuneli to:

- uwagi ogólne w protokole inspekcji konstrukcji,
- dokumentacja wad na formularzach danych lub protokołach inspekcji,

– dokumentacja wad za pomocą zdjęć/filmów.

Kodeks Przepisów Federalnych - 23 CFR Part 650, Subpart E - NTIS [8] określa minimalne wymagania dotyczące właściwej kontroli bezpieczeństwa i oceny wszystkich tuneli autostradowych (zgodnie z 23 USC 144(h)) oraz wymaganiami dotyczącymi przygotowania i prowadzenia inwentaryzacji (zgodnie z 23 USC 144(b)).

Częstotliwość inspekcji zależy od stanu konstrukcji i okresu jej eksploatacji. Nowe tunele podlegają wstępnej inspekcji przed otwarciem dla użytkowników ruchu. Następnie, odbywają się rutynowe inspekcje, które zazwyczaj przeprowadzane są w regularnym odstępie 24 miesięcy. W przypadku tuneli wymagających inspekcji częściej niż w odstępach 24-miesięcznych, ustala się kryteria w celu określenia poziomu i częstotliwości inspekcji. W oparciu o podejście do analizy ryzyka, które uwzględnia takie czynniki, jak wiek tunelu, charakterystyka ruchu, warunki geotechniczne i informacje o uszkodzeniach określa się nową częstotliwość inspekcji. Niektóre nowe tunele mogą być kontrolowane w regularnych odstępach czasu do 48 miesięcy, są to przypadki, kiedy obiekty są nowe i nie mają żadnych istotnych problemów ani oznak degradacji.

Uszkodzenia tunelu wymagają przeprowadzenia dogłębnej, specjalistycznej inspekcji, w której można wykorzystywać testy nieniszczące lub inne metody, które nie są stosowane podczas rutynowych inspekcji. Należy zaplanować szczegółowe inspekcje dla złożonych tuneli oraz niektórych elementów konstrukcyjnych i systemów funkcjonalnych, gdy jest to konieczne do pełnego ustalenia stanu technicznego krytycznego elementu lub całej konstrukcji; w niektórych lokalizacjach może być konieczna bardziej specjalistyczna kontrola.

Wytyczne dotyczące przeprowadzenia inspekcji można znaleźć w kilku raportach:

- raport NCHRP Projekt 20-07/Zadanie 261 [9] podsumowuje obecne praktyki kontrolne dla 32 właścicieli autostrad i 11 tuneli komunikacji miejskiej. W raporcie zebrano informacje o etapach kontroli, procedurach i kwalifikacjach inspektorów. Uwzględniono również najlepsze praktyki w zakresie testowania systemów bezpieczeństwa i reagowania w sytuacjach awaryjnych,
- wytyczne dotyczące projektu NCHRP 20-07/Zadanie 276 [10] zostały opublikowane w lipcu 2010 r. w celu ustalenia najlepszych praktyk w zakresie naprawy istniejących elementów tunelu. Raport koncentruje się na naprawach konstrukcyjnych i odwadniających oraz zawiera szczegółowe zalecenia dotyczące etapów procesu renowacji,
- podręcznik inspekcji mostu AREMA, rozdział 11 [4] – Inspekcja tunelu zawiera informacje o środkach ostrożności związanych z tunelami, takich jak brak światła w tunelu, dzikie zwierzęta oraz inspekcje awaryjne spowodowane pożarem, powodzią, trzęsieniem ziemi i wykojeniem. Zawiera również wykaz aspektów inspekcji tuneli, które należy uwzględnić w odniesieniu do środowiska zewnętrznego, bezpieczeństwa wewnętrznego tunelu, odwadniania, gazu ziemnego, portali i głównej konstrukcji tunelu (szyb tunelu). Protokół inspekcji konstrukcji tunelu obejmuje ocenę stabilności gruntu/skały, przepustowość, drenaż, spąg/plytę denną tunelu i stan elementów konstrukcyjnych.

5. Raporty z inspekcje tuneli

Raporty z inspekcji to formalne podsumowania wyników inspekcji dla każdego kontrolowanego elementu i systemu. Raport powinien być złożony zgodnie z pisemnymi procedurami ustalonymi przez organizację do spraw inspekcji tunelu i właściciela. Wypełniony raport należy przekazać właścicielowi tunelu wraz z zaleceniami naprawy.

Poniżej znajdują się przykłady notatek w raporcie z inspekcji:

- **Krytyczne usterka** – odnosi się do usterek, które wymagają „natychmiastowego” działania, w tym możliwego zamknięcia tunelu, w przypadku gdy problemy związane z bezpieczeństwem lub konstrukcją są identyfikowane przy użyciu kryteriów ustalonych w NTIS. Po wykryciu krytycznej usterki lider zespołu powinien natychmiast powiadomić kierownika programu i właściciela tunelu. W razie potrzeby w raporcie z inspekcji można zamieścić krótkie podsumowanie tych szczegółów.
- **Naprawa priorytetowa** – odnosi się do warunków, dla których dalsze badania, projektowanie i realizacja napraw tymczasowych lub długoterminowych powinny być podejmowane na zasadzie priorytetu, tj. mającej pierwszeństwo przed innymi zaplanowanymi pracami. Naprawy te poprawiają trwałość i estetykę konstrukcji lub elementu oraz zmniejszą przyszłe koszty utrzymania. Elementy, które nie są zgodne z wymaganiami kodu są również priorytetami do naprawy.
- **Rutynowa naprawa** – odnosi się do warunków wymagających dalszych badań lub prac naprawczych. Ta praca może być wykonywana w ramach zaplanowanego programu konserwacji, zaplanowanego projektu lub rutynowej konserwacji obiektu. Pozycje zidentyfikowane w programie konserwacji zapobiegawczej można umieścić w tej kategorii.
Należy dołączyć szczegółowy opis wyników inspekcji dla różnych elementów tunelu:
- **Konstrukcyjne** – W przypadku elementów konstrukcyjnych raport powinien zawierać opis różnych wykrytych defektów, ich lokalizacji i wagi. Wszelkie specjalne badania, takie jak wytrzymałość betonu, analiza zamrażania-rozmrażania lub analiza petrograficzna, powinny być dołączone do wyników protokołu.
- **Mechaniczne** – W przypadku przeglądów mechanicznych należy opisać ogólny stan i działanie wszystkich urządzeń i odnotować braki. Do ewidencji należy dołączyć specjalistyczne testy wymagane do skutecznego określenia stanu eksploatacyjnego sprzętu, takie jak testy wibracyjne i analizy oleju.
- **Elektryczne** – W przypadku kontroli elektrycznych należy opisać ogólny stan i działanie wszystkich urządzeń oraz odnotować braki. Wszelkie specjalistyczne testy potrzebne do skutecznego określenia stanu pracy sprzętu, takie jak dystrybucja mocy i zasilanie awaryjne, powinny być uwzględnione w protokole. Ponadto właścicielowi należy przedstawić porównania poziomów światła zmierzonych z zalecanymi. Należy uwzględnić prace naprawcze, które mogą towarzyszyć testom i inspekcji.

I wreszcie, należy określić zalecenia dotyczące naprawy lub renowacji elementów tunelu, które okazały się wadliwe lub nie spełniają aktualnych wymagań normowych. Gruntowny remont może wymagać porównania kosztów cyklu życia i opcji naprawczych. Zalecenia dotyczące naprawy i gruntownego remontu powinny być podzielone dla każdego z głównych systemów tunelowych na kategorie opisane wcześniej: odkrycie krytyczne, naprawa priorytetowa i naprawa rutynowa.

6. Podsumowanie

Koszt utrzymania i konserwacji systemów tuneli musi być zbilansowany z ilością dostępnych funduszy. Zasoby na dokonywanie napraw i konserwacji są ograniczone; dlatego naprawy muszą być oceniane i traktowane priorytetowo, aby podejmować świadome decyzje inwestycyjne. Oceny są zwykle wykonywane po otrzymaniu danych z inspekcji. Do oceny konsekwencji awarii systemu tunelowego lub jego elementów pod względem ogólnego bezpieczeństwa, poziomu usług i kosztów stosuje się rzetelną ocenę inżynierską. W niektórych przypadkach, w przypadku braku danych, mogą być potrzebne dodatkowe inspekcje i badania. Techniki oceny ryzyka powinny obejmować strategie rozmieszczania, eksploatacji,

konserwacji, modernizacji i użyciu elementów systemu tunelowego w sposób efektywny kosztowo.

Narzędzie takie jak SNTI (specyfikacje dla krajowej inwentaryzacji tuneli), które zawiera instrukcje dotyczące przesyłania danych inwentaryzacyjnych i inspekcyjnych do FHWA są dobrym przykładem jak działać w przypadku rozbudowanej sieci tuneli. Baza danych National Tunnel Inventory (NTI) zbiera i przechowuje informacje w celu śledzenia stanu tuneli w całych Stanach Zjednoczonych. To jest kierunek, który powinien zacząć być wdrażany w naszym kraju, gdzie liczba tuneli z roku na rok rośnie, a ich utrzymanie będzie stanowiło wyzwanie dla przyszłych pokoleń Inżynierów.

Literatura

1. Rakoczy, A.M, Wilk, S., Jones, MC., "Security and Safety of Rail Transit Tunnels", Transportation Research Record 2019, Vol. 2673(1) 92–101, National Academy of Sciences: Transportation Research Board 2019
2. Rakoczy, A., S. Wilk, and M. C. Jones, Review of Specifications and Guidelines for Rail Tunnel Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation. Report Prepared for FTA and CUTR, P-18-008. 2018.
3. Federal Highway Administration. FHWA-NHI-10-034, Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements. December 2009.
4. American Railway Engineering Maintenance-of-Way Association. AREMA Bridge Inspection Handbook, Chapter 11 – Tunnel Inspection. 2010 Edition.
5. Federal Highway Administration. FHWA-HIF-15-005, Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation TOMIE Manual, Washington D.C. 2015.
6. Code of Federal Regulations. 23 CFR Part 650 National Tunnel Inspection Standards, NTIS for highway tunnels. 2015.
7. Federal Highway Administration. FHWA, Rule: 80 FR 41349 "National Tunnel Inspection Standards," 2015.
8. Federal Highway Administration. FHWA-HIF-15-006, "Specifications for National Tunnel Inventory (SNTI)," 2015 edition, available in electronic format at <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/inspection/tunnel/>.
9. National Cooperative Highway Research Program, "Best Practices for Implementing Quality Control and Quality Assurance for Tunnel Inspection," Prepared for the AASHTO Technical Committee for Tunnels (T-20), NCHRP Project 20-07, Task 261 Final Report, October 2009.
10. National Cooperative Highway Research Program, "Best Practices for Implementing Quality Control and Quality Assurance for Tunnel Inspection," Prepared for the AASHTO Technical Committee for Tunnels (T-20), NCHRP Project 20-07, Task 276 Final Report, July 2010.

Maintenance and inspection of transit tunnels in the usa

Key words: Inspection Reports, Railway Tunnels, Transit Tunnels, Tunnel Inspection, Tunnel Inventory, Tunnel Maintenance