

KONSPEKT WYKŁADY Z PRZEDMIOTU

**WENTYLACJA WYBRANYCH OBIEKTÓW
PODZIEMNYCH**

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

WYKŁAD 4 WOP

TEMAT: Wentylacja tuneli komunikacyjnych: systemy wentylacji, zagrożenie klimatyczne, rozprowadzenie powietrza, dobór urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, prewencja przeciwpożarowa i przeciwwybuchowa

SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA w TUNELACH

Systemy bezpieczeństwa w tunelach komunikacyjnych są najważniejszymi elementami wpływającymi zarówno na ochronę życia ludzi, jak i na sprawność ruchu, co w konsekwencji rzutuje na bezpieczeństwo i rentowność transportu w tunelach.

W zależności od przeznaczenia tunelu, warunków lokalizacyjnych, występujących zagrożeń: pożarowego, trzęsieniami ziemi i wodnego stosowane są różne systemy bezpieczeństwa. W ostatnich latach daje się zauważyć tendencja do wyposażania tuneli w nowoczesne systemy bezpieczeństwa obejmujące:

- urządzenia monitorujące stan ruch pojazdów, parametry wentylacji, parametry zagrożenia pożarowego oraz zawartości zanieczyszczeń stałych i gazowych w powietrzu,
- a także w systemy zarządzania transportowego i awaryjnego.

Unia Europejska wprowadziła mocą Dyrektywy 2004/54/EC z dnia 29 kwietnia 2004 regulacje prawne odnoszące się do wyposażenia tuneli drogowych wchodzących w skład sieci komunikacyjnej Europy TEN (Trans European Network). Przy ustalaniu wymagań dotyczących bezpieczeństwa w tunelach, brane są pod uwagę następujące czynniki:

- długość tunelu,
- liczba kanałów tunelowych,
- liczba pasów ruchu,
- geometria przekroju poprzecznego,
- pionowe i poziome usytuowanie tunelu,
- typ konstrukcji,
- rodzaj ruchu (ruch dwukierunkowy lub jednokierunkowy),

- natężenie ruchu w tunelu, włączając czasowe jego zwiększenie (zatory itp.),
- ryzyko zatorów (czasowe, sezonowe)
- czas reakcji służb ratowniczych,
- udział procentowy samochodów ciężarowych w ruchu,
- rodzaje transportowanych ładunków niebezpiecznych,
- cechy dróg dojazdowych,
- szerokość jezdni,
- prędkość jazdy,
- środowisko geograficzne i meteorologiczne.

W tabeli 4.1 przedstawiono wymagania konstrukcyjne wyposażenia tuneli, a w tabeli 4.2 techniczne środki wyposażenia tuneli i w tabeli 4.3 znaki drogowe obowiązujące w tunelach wchodzących w skład TEN.

Tabela 0.1

Konstrukcyjne środki bezpieczeństwa tuneli

	Ruch samochodowy ≤ 2000 sam/pas ruchu/dobę		Ruch samochodowy > 2000 sam/pas ruchu/dobę			Dodatkowe warunki obowiązkowe do wprowadzenia
	500 – 1000 m	> 1000 m	500 – 1000 m	1000 – 3000m	> 3000 m	
Tunel podwójny albo więcej tuneli	–	–	–	–	–	Obowiązkowe, tam gdzie prognozowany ruch samochodowy w przeciągu 15 lat wyniesie pow. 10000 samochodów/pas ruchu/dobę.
Nachylenie $\leq 5\%$	☀	☀	☀	☀	☀	Obowiązkowe, chyba, że warunki geograficzne uniemożliwiają takie rozwiązanie.
Przejścia uciezkowe	☀	☀	☀	☀	☀	Obowiązkowe tam gdzie nie ma awaryjnych pasów ruchu. W tunelach jednokierunkowych można zrezygnować z przejść uciezkowych, jeżeli tunel jest zaopatrzony w instalację pozwalającą zamknąć ruch w tunelu w przypadku awarii, lub gdy koszt przebudowy jest niewspółmiernie duży, konstrukcja tunelu na to nie pozwala. W istniejących tunelach można zrezygnować z przejść uciezkowych, pod warunkiem zastosowania dodatkowych środków bezpieczeństwa.

Wyjścia uciezkowe co najmniej co 500 m	▲	▲	☀	☀	☀	Wyjścia awaryjne pozwalają opuścić tunel piechotą, a także grupom ratowniczym dostać się do miejsca wypadku. Przykładami takich dróg mogą być: bezpośrednie wyjście z tunelu na zewnątrz, połączenie pomiędzy tunelami wejścia do schronów, Schrony z połączeniem do oddzielnego tunelu ewakuacyjnego.
Przecinki łączące tunele na odcinku co 1500 m	▲	▲/●	▲	▲/●	●	Obowiązkowe w tunelach podwójnych o długości powyżej 1500 m. Przecinki powinny posiadać odpowiedni prześwit dla dostępu służb ratowniczych.
Połączenia z tunelem uciezkowy m na końcu każdego portalu	●	●	●	●	●	Obowiązkowy dla tuneli podwójnych lub o większej liczbie kanałów tunelowych, niezależnie od położenia geograficznego. Połączenie powinno być dostosowane do wjazdu służb ratowniczych z każdego portalu.
Zatoki parkingowe co najmniej co 1000m	▲	▲	▲	▲/●	▲/●	Obowiązkowe w nowych tunelach o długości powyżej 1500 m z ruchem dwukierunkowym bez pasów awaryjnych. W istniejących tunelach dwukierunkowych o długości powyżej 1500 m zależne od analizy bezpieczeństwa. Dla nowych i istniejących tuneli zależne od przekroju użytecznego tunelu.
Drenaż w celu odprowadzenia palnych płynów	☀	☀	☀	☀	☀	Obowiązkowy dla tuneli w których dozwolony jest transport materiałów niebezpiecznych. W przypadku istniejących tuneli, gdy koszt budowy byłby duży, należy przeprowadzić analizę bezpieczeństwa, oraz wyeliminować ruch towarów niebezpiecznych.

Obudowa tunelu odporna ogniowo	●	●	●	●	●	Obowiązkowe dla tuneli w których lokalne naruszenie struktury może prowadzić do tragicznych skutków jak np. tunele podwodne, tunele sąsiadujące z ważnymi obiektami itp.
--------------------------------	---	---	---	---	---	--

- obowiązkowy dla wszystkich tuneli
- ☀ obowiązkowy z zastrzeżeniem
- ▲ nie obowiązkowy
- zalecany

Tabela 0.2

Techniczne środki bezpieczeństwa w tunelach

		Ruch samochodowy < 2000 sam/pas ruchu/dobę		Ruch samochodowy > 2000 sam/pas ruchu/dobę			Dodatkowe warunki obowiązkowe do wprowadzenia
		500 – 1000m	> 1000m	500 – 1000m	1000 – 3000m	>3000m	
Oświetlenie	Normalne oświetlenie	●	●	●	●	●	Oświetlenie powinno zapewnić dostateczną widoczność w tunelu w dzień jak i w nocy, przy wjeździe do tunelu jak i w środku.
–	Oświetlenie awaryjne	●	●	●	●	●	Powinno zapewnić minimalną widoczność w tunelu dla celów ewakuacji w przypadku awarii zasilania.

—	Oświetlenie ewakuacyjne	•	•	•	•	•	W skład oświetlenia ewakuacyjnego wchodzi znak podświetlany informujący o drogach ucieczkowych, umieszczone na wysokości nie większej niż 1,5m.
---	-------------------------	---	---	---	---	---	---

Wentylacja	Wentylacja mechaniczna						Przy projektowaniu wentylacji mechanicznej, należy brać pod uwagę następujące czynniki: - kontrola zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy podczas normalnego ruchu i zatorów, - kontrola zanieczyszczeń powietrza w tunelu podczas zatrzymania ruchu, gdy wydarzył się wypadek, - kontrola temperatury dymów podczas pożaru. Wentylacja mechaniczna powinna być zastosowana w każdym tunelu o długości powyżej 1000m i natężeniu ruchu powyżej 2000 samochodów/pas ruchu/dobę. W tunelach z dwukierunkowym ruchem, lub jednokierunkowym ruchem i zatorami, dopuszcza się wentylację wzdłużną, jeżeli przeprowadzona analiza ryzyka pozwala na takie rozwiązanie. W takim przypadku należy zmniejszyć odstęp pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi i umieścić system oddymiania w odpowiednich odstępach.
------------	------------------------	--	--	--	--	--	---

—	Wymagania dla wentylacji półpoprzecznej i poprzecznej	▲	▲	▲	▲	●	Dla tuneli z ruchem dwukierunkowym oraz natężeniem ruchu większym niż 2000 samochodów/pas ruchu dłuższych niż 3000 m z kontrolą wentylacji istnieją następujące wymagania: Wentylatory tłoczące i ssące będą zainstalowane z możliwością kontroli ich pracy zarówno grupowej, jak i indywidualnej. Wzdłużna prędkość powietrza w tunelu będzie monitorowana ciągle, wentylacja będzie sterowana dla zapewnienia odpowiednich prędkości.
Stacja ratownicza	Co 150m	☀	☀	☀	☀	☀	W stacjach będą zainstalowane telefony alarmowe, dwie gaśnice i inne środki służące do walki z pożarem, lecz nie chronią one użytkowników tunelu przed skutkami pożaru. Odległość pomiędzy stacjami może być zwiększona do 250m dla istniejących tuneli.

Hydrant z wodą	Co 250m	•	•	•	•	•	Hydranty z wodą rozmieszczone nie rzadziej jak co 250 m. W przypadku braku hydrantów, należy dostarczyć wodę w inny sposób.
Znaki drogowe	–	•	•	•	•	•	Obowiązkowe dla wszystkich tuneli.
Centrum kontroli	–	▲	▲	▲	▲	•	Tunele o długości powyżej 3000 m i natężeniu ruchu powyżej 2000 samochodów/pas ruchu/dobę powinny posiadać centrum kontroli ruchu.
Monitoring	Video	–	–	–	–	•	System monitoringu za pomocą kamer, pozwalający kontrolować wypadki w tunelu, pożary powinien być zainstalowany w każdym tunelu z centrum kontroli.
–	Automatyczne wykrywanie pożarów	•	•	•	•	•	Automatyczna detekcja pożaru powinna być zainstalowana w tych tunelach które nie posiadają centrum kontroli oraz wentylacja nie jest sterowana automatycznie.

Wypożaenie do zablokowania wjazdu do tunelu	Sygnały świetlne przed wjazdem do tunelu	▲	●	▲	●	●	Każdy tunel o długości większej niż 1000 m powinien posiadać znaki pozwalające zatrzymać ruch pojazdów do tunelu w przypadku pożaru lub innego niebezpieczeństwa.
—	Sygnały drogowe w tunelu w odstępach co najmniej 1000m	▲	▲	▲	▲	■	We wszystkich tunelach o długości powyżej 3000 m i natężeniu ruchu powyżej 2000 samochodów/pas ruchu/dobę ruch zainstalowane będzie wyposażenie do zatrzymywania ruchu wewnątrz tunelu za pomocą sygnałów świetlnych, szlabanów, systemów głośnomówiących.
Systemy komunikacji	System transmisji radiowej	▲	▲	▲	●	●	System będzie instalowany w tunelach dłuższych niż 1000m z natężeniem ruchu powyżej 2000 samochodów/pas ruchu/dobę.

–	System transmisji radiowej do użytkowników tunelu	●	●	●	●	●	W tunelach z centrum kontroli należy zainstalować system pozwalający przekazywać użytkownikom informacje za pomocą radia
–	System głośnomówiący	●	●	●	●	●	System powinien być użyty podczas oczekiwania na pomoc w celu instruowania użytkowników.
Zasilanie awaryjne	–	●	●	●	●	●	Każdy tunel powinien posiadać dodatkowe źródło zasilania pozwalające na utrzymanie oświetlenia, wentylatorów na czas ewakuacji.
Wyposażenie odporne ogniowo	–	●	●	●	●	●	Wyposażenie tunelu powinno być możliwie odporne ogniowo.

- obowiązkowy dla wszystkich tuneli
- ☀ obowiązkowy z zastrzeżeniem
- ▲ nie obowiązkowy
- zalecany

Tabela 0.3
Znaki drogowe w tunelach

 Jeden z dwóch znaków umieszczanych przy każdym portalu, określający długość tunelu.	 Zatoka bezpieczeństwa
 Lokalizacja telefonu alarmowego	 Lokalizacja gaśnic pożarowych.
 Wyjście ewakuacyjne,	 Wyjście ewakuacyjne,
 Wyjście ewakuacyjne,	 Wyjście ewakuacyjne,
 Wielkość zatoki bezpieczeństwa.	 Znaki służące do kierowania ruchem

Przedstawione wymagania w zakresie bezpieczeństwa w tunelach TEN mogą być zastosowane w innych systemach komunikacji tunelowej, a zakres środków powinien być uzależniony od analizy ryzyka uwzględniającej szereg

parametrów technicznych i eksploatacyjnych, a także od uwarunkowań lokalnych.

Monitoring i controlling w tunelach komunikacyjnych

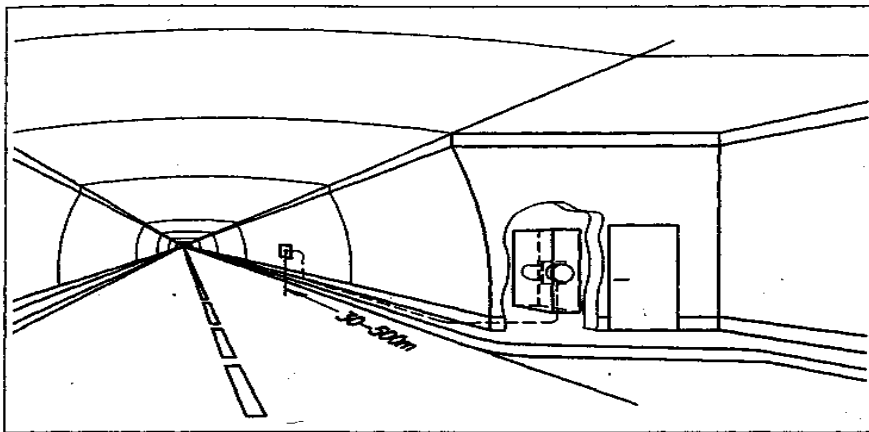
Widoczność i koncentracja tlenku węgla są miarodajnymi kryteriami do oceny jakości powietrza i ruchu w tunelach drogowych. Szczególnie ważne dla bezpieczeństwa użytkowników jest przestrzeganie ustalonych wartości granicznych: koncentracji tlenku z powodu jego toksyczności a widoczności z powodu ryzyka wypadku.

W poprzednich latach najczęściej krytyczną wielkością była koncentracja tlenku węgla, lecz w związku z wprowadzeniem katalizatorów i rosnącym ruchem ulicznym wzrosło znaczenie widoczności. Obie wartości służą do sterowania przewietrzaniem i mają wpływ nie tylko na bezpieczeństwo, lecz także na ekonomicznie optymalną eksploatację.

Monitoring widoczności w tunelu

Pod pojęciem widoczności rozumie się maksymalną odległość przy której ludzkie oko przy panujących określonych warunkach jest w stanie jeszcze rozpoznać obiekt z tła. Stosowane w tunelach urządzenia pomiarowe bazują na określaniu:

1. współczynnika gęstości optycznej K , który odtwarza straty widoczności spowodowane zanieczyszczeniem powietrza.
2. wykrywaniu światła rozproszonego polegające na zdalnym pobieraniu prób powietrza w wyznaczonych miejscach tunelu i analizie w urządzeniu pomiarowym (rys. 4.1.).



Rys. 0.1. Sposób pomiaru światła rozproszonego [12]

Monitorowanie koncentracji tlenku węgla w tunelu

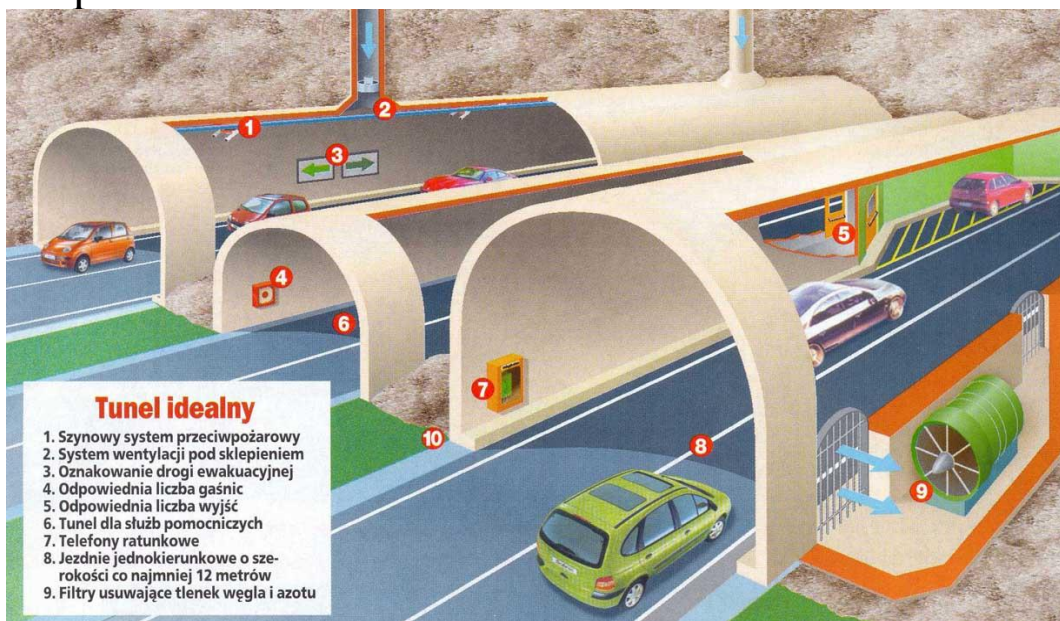
Kontrola stężenia tlenku węgla w powietrzu przepływającym przez tunele prowadzona może być wieloma urządzeniami i metodami pomiarowymi, przy czym najczęściej stosowane są urządzenia wykonujące pomiary w sposób automatyczny i przekazujące do dyspozytorni bezpieczeństwa informacje, które są analizowane i archiwizowane. Systemy te wyposażone są w układy transmisji, alarmowania i wspomagania komputerowego.

Kierunki poprawy bezpieczeństwa w tunelach

Ważność zagadnień bezpieczeństwa w tunelach rośnie zwłaszcza w aspekcie budowy sieci transeuropejskie połączeń drogowych i kolejowych. Kilka ważnych połączeń transgranicznych drogowych i kolejowych, będących w fazie projektu lub budowy, zawiera ważne odcinki tunelowe, osiągające czasami 50 km. Wśród tych projektów – które już otrzymały lub otrzymają wspólnotową pomoc finansową, można wymienić tunel Somport o długości 8 km pomiędzy Francją i Hiszpanią, połączenie kolejowo–drogowe pomiędzy Danią i Szwecją (Øresund), przyszłe kolejowe połączenie transalpejskie Lyon – Turyn, projekt Brenner lub jeszcze linię

dużych prędkości w budowie Bolonia – Florencja, której sześćdziesiąt kilometrów na 90 będzie umieszczonych w tunelu.

W związku z tym nowe projekty tuneli będą musiały uwzględniać wymagania zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa i komfortu dla użytkowników. Na rys. 4.2. przedstawiono wizję tunelu idealnego, spełniającego wymogi transportowe i przede wszystkim wysoki poziom bezpieczeństwa.



Rys. 0.2. Tunel idealny pod kątem bezpieczeństwa [23]

Badania stanu bezpieczeństwa w tunelach

W celu sprawdzenia i oceny stanu bezpieczeństwa w tunelach komunikacyjnych przeprowadzane są audyty przez specjalistyczne jednostki nadzoru budowlanego, przeciwpożarowego i technicznego. Badania takie prowadzone są też przez inne organizacje zajmujące się komunikacją.

Kompleksowa ocena poziomu bezpieczeństwa jest bardzo trudna z uwagi na dużą ilość czynników bardzo często

współzależnych od siebie, a także na zależności nie tylko ilościowe, ale również jakościowe.

Badania poziomu bezpieczeństwa prowadzone są corocznie przez ADAC -Powszechny Niemiecki Automobilklub (Allgemainer Deutscher Automobil – Club), który do oceny tuneli wytypował czynniki wraz z odpowiednimi wagami – tabela 4.4.

Tabela 0.4
Czynniki oceny bezpieczeństwa w tunelach wg ADAC

System tunelu – waga 10% —liczba tuneli, —przebieg drogi, —szerokość pasów ruchu oraz dróg ucieczkowych, —rozmieszczenie zatok postojowych.	Stan tunelu – waga 9% —nawierzchnia, —oświetlenie, —oznaczenie.
Ruch i nadzór – waga 19% —ruch (jedno lub dwukierunkowy), —obciążenie tunelu (zatory w ruchu), —ograniczenia w szczególnym przypadku meldowanie o przewożonych ładunkach niebezpiecznych, —szczególne środki bezpieczeństwa dla samochodów ciężarowych, —kontrola odstępu pomiędzy samochodami oraz	Wentylacja pożarowa – waga 10% —specjalna wentylacja na wypadek pożaru, —kontrola prędkości wzdłużnej powietrza w tunelu, —sterowanie kierunkiem przewietrzania, —możliwość rewersyjnej pracy wentylatorów, —wentylacja poprzeczna: kontrola wielkości przepływu w kanałach wylotowych, wpływ

prędkości ruchu, —ograniczenie dopuszczalnej prędkości, —budynek kontroli, —sterowanie ruchem (oświetlenie, tablice informacyjne, znaki informacyjne, i inne), —video rejestracja, —automatyczna detekcja zatorów, —systemy automatycznego wykrywania materiałów niebezpiecznych, —mechaniczne bariery dla zamknięcia ruchu (np. szlabany), —kontrola wysokości pojazdów, —informacja o objazdach w przypadku zatorów, lub zamknięcia tunelu.	wzdłużnej prędkości, otwarcie i zamknięcie kanału wylotowego, —wyposażenie tunelu odporne na temperaturę, —wykaz urządzeń kontrolujących parametry pożaru.
Komunikacja – waga 10% —głośniki, radio dla kierowców, —informacje w różnych językach, —telefony alarmowe (oznaczenie, odstęp, ochrona przed hałasem).	Organizacja akcji ratunkowej – waga 8% —plany alarmowe, —automatyczne powiązanie systemów ratunkowo-sterujących, —regularne ćwiczenia ratunkowe, —regularna kontrola

	systemów bezpieczeństwa (wewnętrznych oraz zewnętrznych).
Zagrożenie pożarowe – waga 21% —ochrona przeciwpożarowa budowli, oraz kabli w tunelu, —systemy detekcji pożaru (automatyczne/ręczne), —systemy gaśnicze (oznaczenie, konserwacja), —system rurociągów, —określenie wjazdu straży pożarnej, oraz czasu dojazdu, —kwalifikacje i wyposażenie straży pożarnej.	Drogi uciezkowe i ratunkowe – waga 13% —odstęp dróg uciezkowych, —oznaczenie dróg uciezkowych, —oświetlenie awaryjne oraz świetlne oznaczenie dróg uciezkowych w tunelu, —ograniczanie rozprzestrzeniania się dymu, alternatywne drogi ucieczki, —materiały ognioodporne, przewietrzanie —specjalne zarządzanie, —możliwość dojazdu pomocy (straż pożarna, karetki pogotowia itp.).

Ocena ADAC

-  bardzo dobry
-  dobry
-  wystarczający
-  zły
-  bardzo zły

Skala ocen:

Stopień: „bardzo dobrze” > 90 % z całkowitej ilości punktów

Stopień: „dobrze” > 80 % z całkowitej ilości punktów

Stopień: „wystarczająco” > 70 % z całkowitej ilości punktów

Stopień: „źle” > 60 % z całkowitej ilości punktów

Stopień: „bardzo źle” < 60 % z całkowitej ilości punktów

Tabela 0.5
Tunele testowane przez ADAC w 2003 roku [1]

	System tunelu	Stan tunelu	Ruch i nadzór	Komunikacja	Drogi ucieczkowe	Pożar	Wentylacja pożarowa	Organizacja akcji ratunkowej	
Waga	10%	9%	19%	10%	13%	21%	10%	8%	
Kraj									
Austria									
Gleinalm	++	+	-	O	--	++	++	+	o
Perjen	O	++	-	-	--	++	++	+	o
Pfander	O	++	--	+	--	+	++	+	o
Belgia									
Waasland	--	++	--	--	--	O	--	--	●●
Szwajcaria									
Porny	++	++	+	-	++	++	++	++	⊕⊕
Gorgier	-	O	--	O	++	+	++	++	⊕
Piumogna	+	-	--	-	--	O	--	O	●
Milchbuck	--	++	--	+	--	O	-	O	●
Niemcy									
Weserauen	++	++	++	++	++	++	++	++	⊕⊕
Elbtunnel (czwarty tunel)	++	O	-	++	-	++	++	++	⊕
Petuel tunnel	+	+	-	O	++	+	+	++	⊕
Hiszpania									
Somport	++	++	++	++	++	O	++	++	⊕⊕
Soller	-	-	--	--	--	--	--	--	●●
Francja									
Nogent-sur-Marne	+	O	-	--	O	--	--	-	●
Prado Carenage	+	+	++	-	++	+	+	O	⊕
Wielka Brytania									
Rotherhithe	--	++	-	--	--	+	++	+	●
Blackwall South	--	+	-	--	--	+	++	-	●
	System tunelu	Stan tunelu	Ruch i nadzór	Komunikacja	Drogi ucieczkowe	Pożar	Wentylacja pożarowa	Organizacja akcji ratunkowej	
Tyne	--	++	--	+	--	O	++	O	●
Blackwall Nord	--	+	-	--	--	O	++	-	●●
Włochy									

Fortezza	--	++	-	--	-	++	++	+	○
Norwegia									
Ekeberg	++	○	○	○	○	+	+	○	○
Festnings	○	○	--	○	○	-	+	-	○
Holandia									
IJ tunnel	--	+	○	++	+	--	--	--	●
Maastunnel	--	+	○	--	-	--	--	--	●●
Słowacja									
Karawanken	○	+	○	+	--	++	++	○	○

Przykład oceny tuneli przez ADAC w roku 2003

Do analizy czynników oceny stanu bezpieczeństwa wybrano tunel Waserauen, który otrzymał najlepszą ocenę oraz tunel Soller, który otrzymał najgorszą ocenę.

Dla tunelu Waserauen przedstawiono dane charakterystyczne w tabeli 4.8. oraz wykaz cech pozytywnych i negatywnych określony zgodnie z oceną według metody ADAC w tabeli 4.9.

Tabela 0.6
Charakterystyka tunelu Waserauen

Dane techniczne	Wielkość
Rok uruchomienia	2002
Długość	1730 m
Wysokość portali	40/42 m
Liczba tuneli – kanałów	2 (ruch jednokierunkowy)
Dopuszczalna prędkość	80 km/h
Ilość samochodów	30 000/dzień
Ilość samochodów ciężarowych	10%
Awaryje w 2002 roku	0
Wypadki w 2002 roku	3
Pożary w 2002 roku	0
Ryzyko	niskie

Tabela 0.7
Wykaz czynników decydujących o bezpieczeństwie w tunelu Wäserauen

Pozytywne czynniki	Negatywne czynniki
—tunel podwójny z połączeniami poprzecznymi oraz wyjściami, drogi ucieczkowe i ratunkowe w odstępach 150 m	—widoczność przy wjeździe do tunelu od strony mostu ograniczona ze względu na mur betonowy
—kierowanie ruchem przed wjazdem do tunelu	—telefony alarmowe nie są oddzielone od tunelu przegrodą dźwiękoszczelną
—zamknięty dla transportu materiałów niebezpiecznych	
—dostępne radio dla kierowców, oraz komunikaty w kilku językach	
—kamery rozmieszczone co 150m w systemie „bez luk”	
—automatyczna lokalizacja zatorów ruchu oraz wypadków	
—zatoki postojowe co 600 m	
—telefony alarmowe co 150 m	
—drogi ucieczkowe wystarczająco wyposażone	
—głośniki w tunelu oraz przy	

portalach	
—przy włączeniu telefonu alarmowego automatyczne ograniczenie prędkości oraz włączenie rejestracji video	
—gaśnice co 150m	
—przy pobraniu gaśnicy automatyczne włączenie rejestracji video	
—oświetlenie awaryjne i tablice pokazujące kierunek i odległość wyjść awaryjnych	
—automatyczny system meldunków o pożarach	
—podczas detekcji pożaru automatyczne włączanie systemu wentylacji pożarowej, informowanie straży pożarnej, oraz blokowanie wjazdu do tunelu	
—specjalny program wentylacji na wypadek pożaru z uwzględnieniem powstającego prądu wzdłużnego, testowany w tunelu	
—hydranty z wodą pod ciśnieniem rozmieszczone co 150 m	
—dobre wyposażenie straży	

pożarnej	
—regularne ćwiczenia pożarowe	
—aktualny plan ucieczkowy i alarmowy	
—tunel podwójny z połączeniami poprzecznymi oraz wyjściami, drogi ucieczkowe i ratunkowe w odstępie 150 m	

Dla tunelu Soller przedstawiono dane charakterystyczne w tabeli 4.10. oraz wykaz cech pozytywnych i negatywnych określony zgodnie z oceną według metody ADAC w tabeli 4.11.

Tabela 0.8
Charakterystyka tunelu Soller

Dane techniczne	Wielkości
Rok uruchomienia	1997
Długość	3023m
Różnica wysokości portali	4,5 m
Liczba tuneli – kanałów	1 (ruch dwukierunkowy)
Dopuszczalna prędkość	90 km/h
Ilość samochodów	6540/dzień
Ilość samochodów ciężarowych	6%
Awarie w 2002 roku	0
Wypadki w 2002 roku	0
Pożary w 2002 roku	0

Tabela 0.9
Wykaz czynników decydujących o bezpieczeństwie w tunelu
Soller

Pozytywne czynniki:	Negatywne czynniki:
—meldowanie ciężarówek z materiałami niebezpiecznymi przed wjazdem do tunelu	—tunel pojedynczy z ruchem dwukierunkowym
—automatyczne stwierdzenie zatorów	—brak kierowania ruchem przed wjazdem do tunelu
—zatoki postojowe co 600 m	—niedostatecznie widoczne znaki poziome na jezdni
—telefon alarmowy	—brak radia dla kierowców dostępnego w tunelu
—gaśnice	—brak nadzoru video
—regularne ćwiczenia pożarowe	—telefony alarmowe nie są oddzielone od tunelu przegrodą dźwiękoszczelną
—aktualny plan uciezkowy i alarmowy	—wąskie drogi uciezkowe (60 cm szerokości)
	—brak głośników
	—brak dodatkowych dróg ewakuacyjnych
	—brak oznaczenia kierunków ucieczki oraz oświetlenia awaryjnego
	—brak automatycznego systemu informowania o pożarze
	—brak automatycznej

	wentylacji pożarowej oraz zamknięcia tunelu dla samochodów wjeżdżających podczas pożaru
	—brak specjalnego programu wentylacji na wypadek pożaru oraz potwierdzonych badaniami symulacji pożaru
	—brak ochrony kabli w tunelu podczas pożaru
	—brak przystosowania wentylatorów do pracy podczas pożaru
	—brak doprowadzenia wody do tunelu, oraz hydrantów
	—brak odpowiedniego wyposażenia straży pożarnej

Przeprowadzone przez ADAC badania tunelu Soller wykazały, że występuje bardzo dużo czynników negatywnych (17) i niewiele pozytywnych (7) wpływających na bezpieczeństwo. W związku z tym tunel taki powinien być poddany w trybie pilnym modernizacji technicznej lub trzeba podjąć działania zmierzające do zmiany parametrów organizacyjnych (np. zmniejszenie obciążenia ruchem pojazdów) w tunelu.