

KONSPEKT WYKŁADY Z PRZEDMIOTU

WENTYLACJA WYBRANYCH OBIEKTÓW PODZIEMNYCH

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

WYKŁAD 6/WOP

Z PRZEDMIOTU WENTYLACJA WYBRANYCH OBIEKTÓW PODZIEMNYCH

TEMAT: Wentylacja i środki bezpieczeństwa przeciwpożarowego w wybranych tuneli komunikacyjnych:

Eurotunelu,

Tunel Mont Blanc,

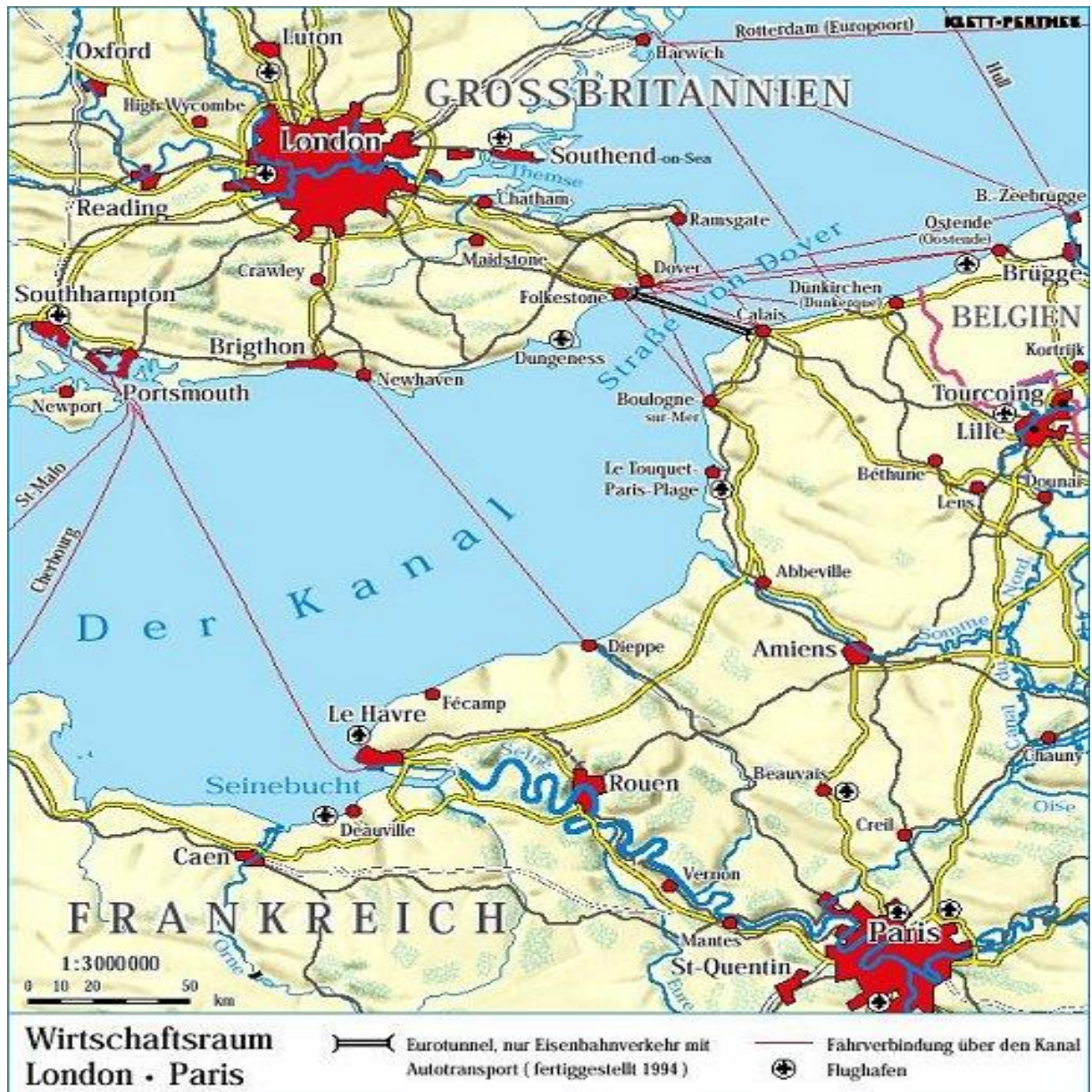
Tunel Leardal

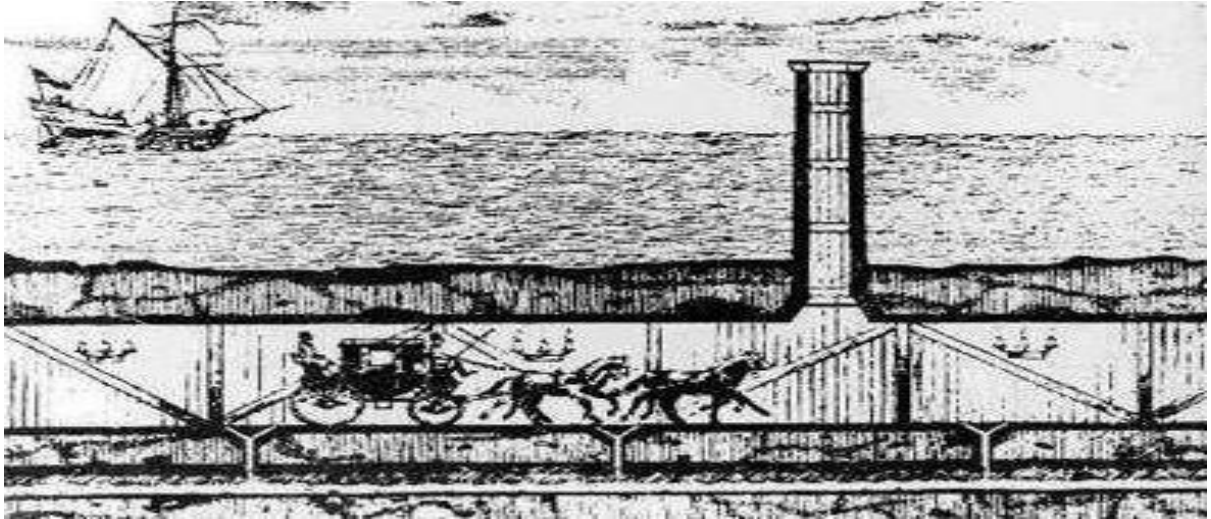
EUROTUNEL

10 grudnia 1993 roku brytyjsko – francuskie konsorcjum budowlane Trans Manche Link (TML), właściciel tunelu i posiadacz koncesji na ruch szynowo – osobowo - towarowy, oddało do użytku po siedmiu latach budowy długi na około 50 km.

6 maja 1994 roku na swoich stacjach załadunkowych na terminalach w Calais (Francja) i Folkestone (Wielka Brytania) został uroczyście otwarty przez francuskiego prezydenta Francois Mitteranda i brytyjską królową Elżbietę II tunel, któremu nadano nazwę EUROTUNEL.

Wydarzenie to było historyczne z powodu tego, że po raz pierwszy od czasu epoki lodowcowej powstało połączenie lądowe pomiędzy brytyjską wyspą i europejskim kontynentem.













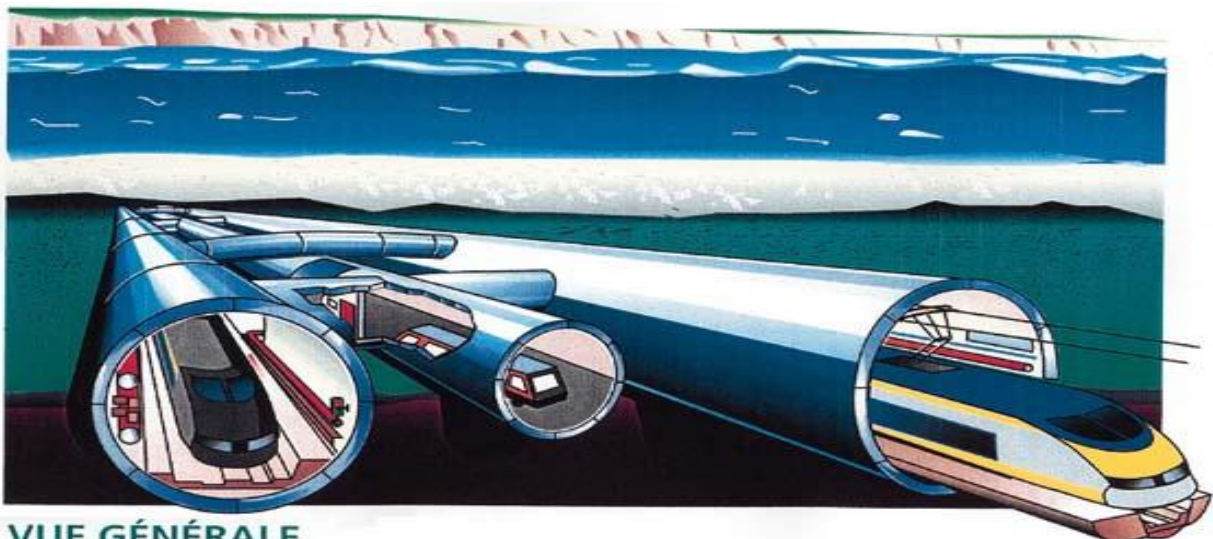






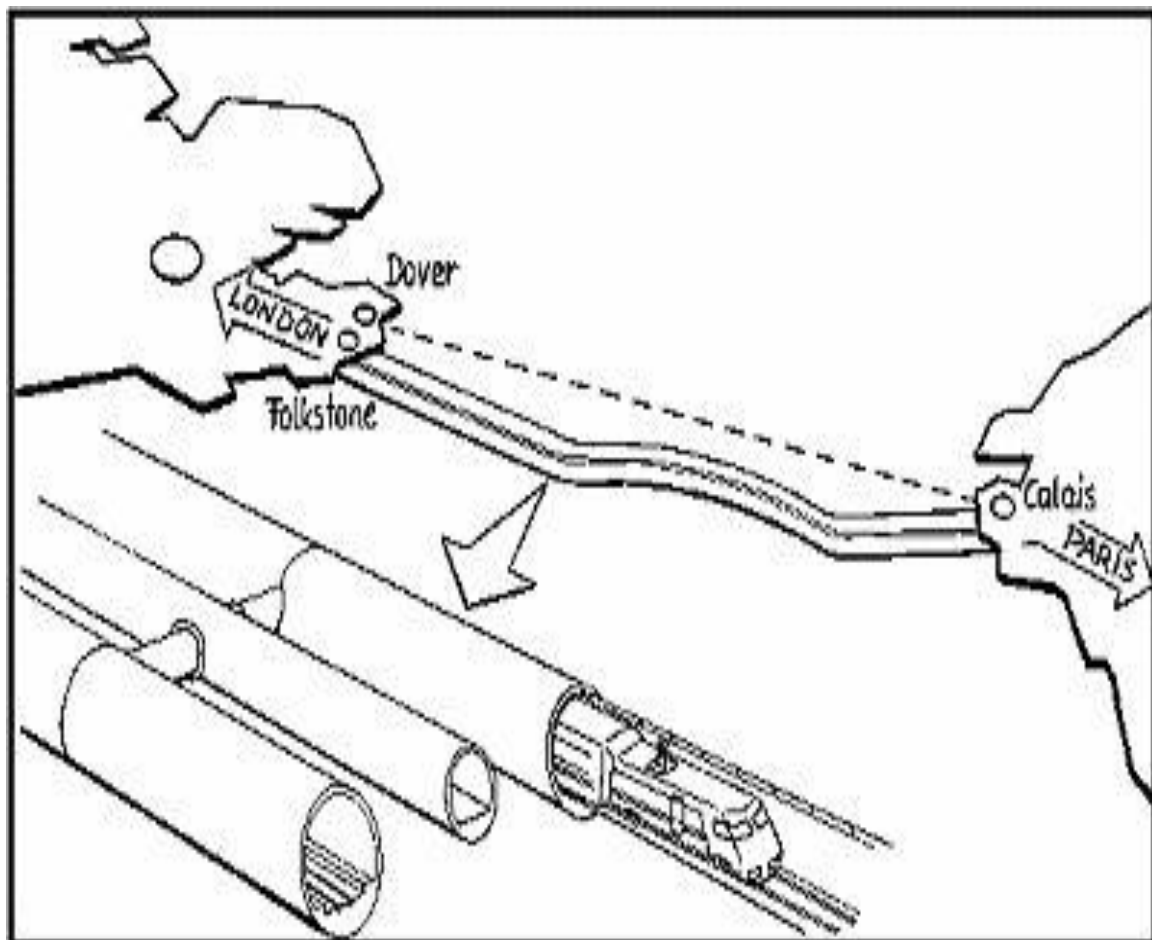
Wprowadzenie

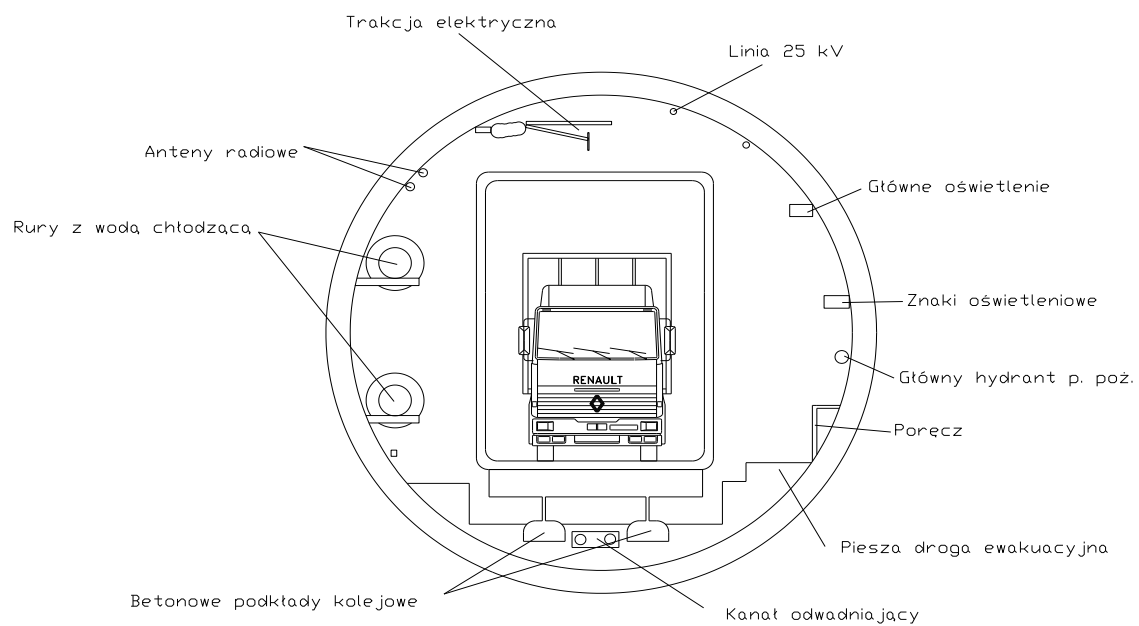
Eurotunnel jest tunelem przeznaczonym do komunikacji kolejowej. Tunnel pod kanałem La Manche składa się z trzech równolegle biegnących rur. Odstęp pomiędzy portalami tunelu po stronach brytyjskiej i francuskiej wynosi 50,5 km . Odcinek tunelu będący pod wodą ma długość około 38 km i leży od 25 do 38 metrów pod dnem morskim. Obydwie zewnętrzne rury tunelu są jednotorowymi tunelami kolejowymi (rys. 6.1 i rys. 6.2.) z 30 metrową odległością pomiędzy rurami.



VUE GÉNÉRALE
GENERAL VIEW

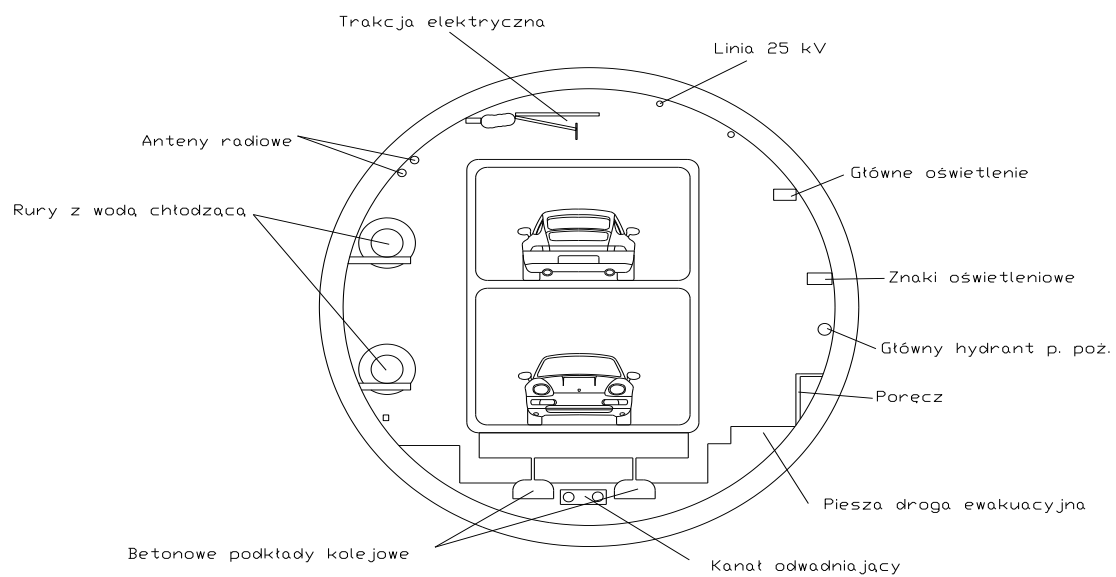
FIGURE 1





Rys. 0.1. Jeden z dwóch tuneli przeznaczony do komunikacji kolejowej, samochodów ciężarowych, o średnicy 7.6 m

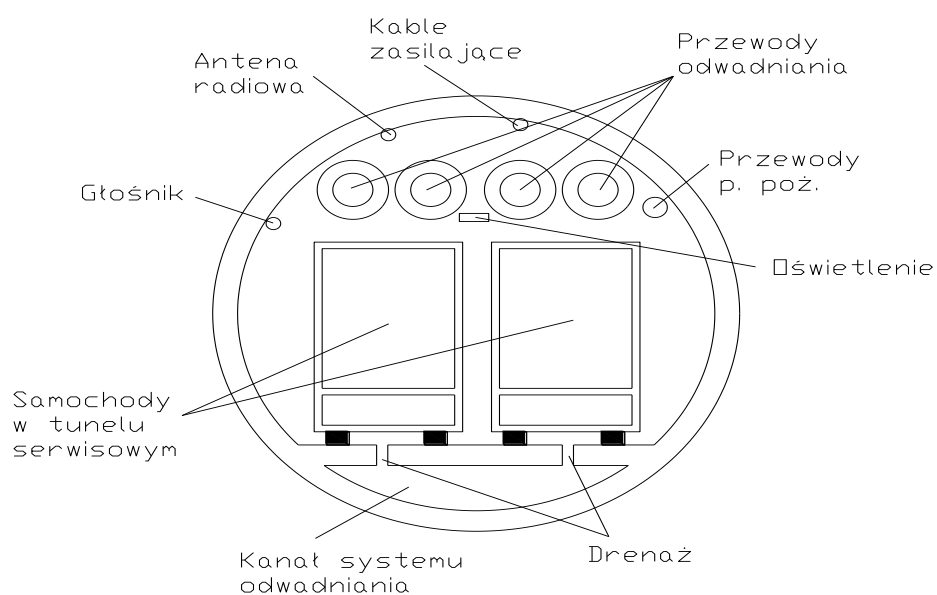




Rys. 0.2. Jeden z dwóch tuneli przeznaczony do komunikacji kolejowej, samochodów osobowych, o średnicy 7.6 m



Leżąca pośrodku rura tunelu ma 4,8 m średnicy wewnętrznej i służy jako tunel konserwacyjny jak i tunel ratunkowy dla obu tunel kolejowych (rys. 6.3)

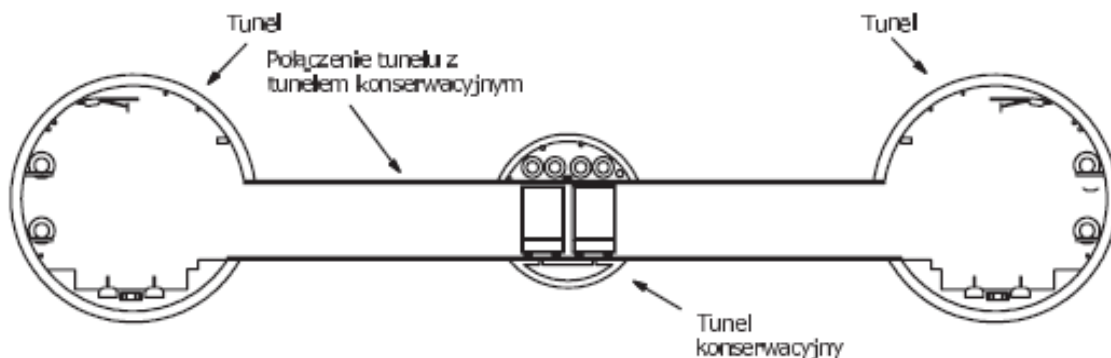


Rys. 0.3. Tunel konserwacyjny o średnicy 4.8m z obudową tubingową, służący jako tunel ratunkowy dla obydwu tuneli komunikacyjnych

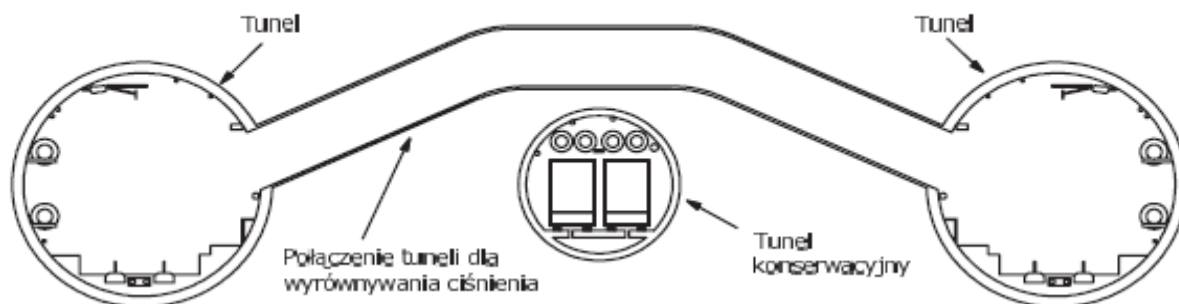


Pomiędzy trzema rurami tunelu istnieje wiele wzajemnych połączeń poprzecznych (tab. 6.1.) i są to:

- połączenia tuneli komunikacyjnych z tunelem konserwacyjny – rys.6.4.
- połączenia pomiędzy tunelami komunikacyjnymi wyrównujące ciśnienie powietrza – rys.6.5.



Rys. 0.4. Przekrój przez połączenie tunelu z tunelem konserwacyjnym przeznaczone jako drogą ucieczkową dla obydwu tuneli komunikacyjnych



Rys. 0.5. Połączenia poprzeczne pomiędzy dwoma tunelami komunikacyjnymi dla wyrównywania ciśnienia

Tabela 0.1
Przekroje pomiędzy trzema tunelami kanału

Część połączenia tunelu	liczba	średnica wewnętrzna	odstęp	pojedyncza długość
połączenia tuneli komunikacyjnych z tunelem konserwacyjnym	130	3,30 [m]	375 [m]	17,60 [m]
połączenia pomiędzy tunelami komunikacyjnymi wyrównujące ciśnienie powietrza	150	2,00 [m]	250 [m]	23,40 [m]

Przewóz ludzi i pojazdów odbywa się w specjalnie urządzonych wagonach. W jednej trzeciej długości tunelu, zarówno od strony brytyjskiej jak i francuskiej istnieją punkty skrzyżowania torów. Podobne punkty są jeszcze umieszczone przed wjazdem do tunelu na francuskim brzegu i w tunelu po brytyjskiej stronie. Skrzyżowania te umożliwiają zmianę organizacji

transportu w tunelach w przypadkach prowadzenia robót remontowych i akcji ratunkowych (przeciwpożarowych).

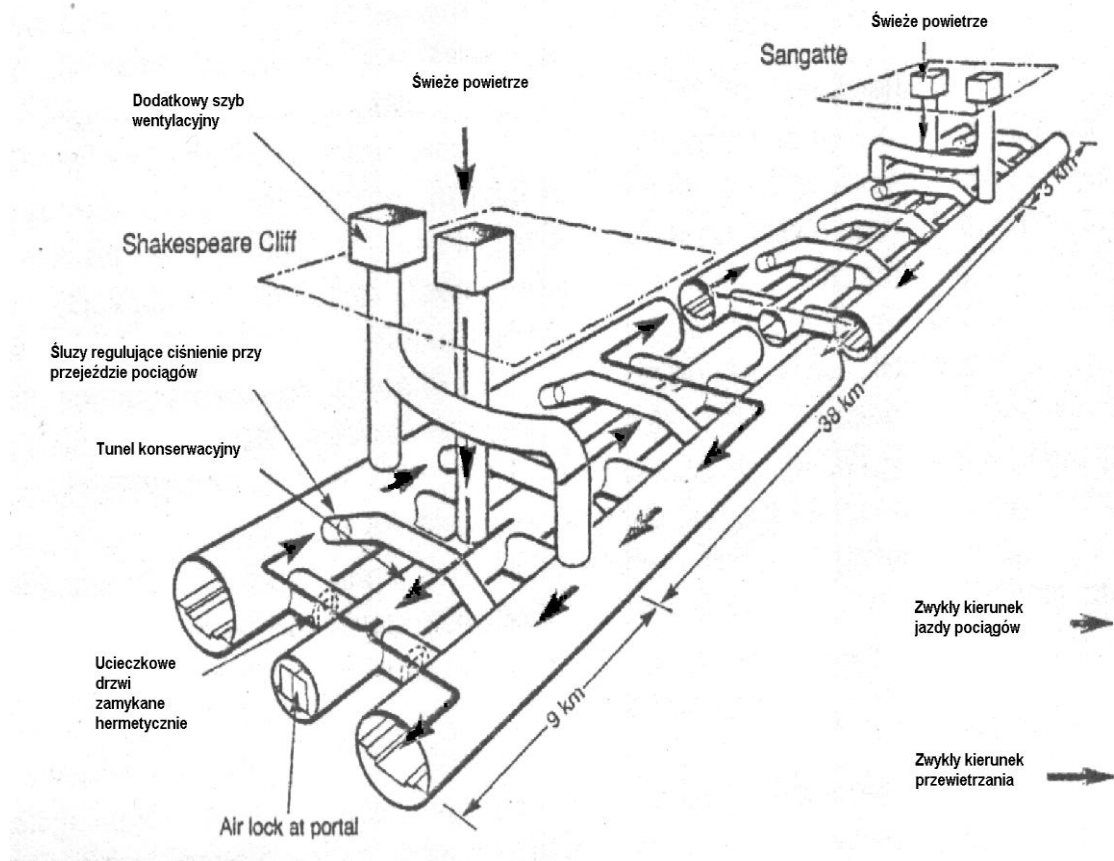
Załadunek pojazdów samochodowych na pociągami wahadłowe odbywa się w specjalnie urządzonych terminale po stronach francuskiej i brytyjskiej połączonych z sieciami autostrad.

Komunikacja w tunelu

Pojazdy i pasażerowie transportowani są przez pociągi wahadłowe pomiędzy terminalami w Calais i Folkestone, a przejeżdżające pociągi osobowe i towarowe poszczególnych przedsiębiorstw kolejowych korzystają z tych samych torów. Przy pełnym wykorzystaniu może jednocześnie przejeżdżać przez kanał 12 pociągów.

Wentylacja tunelu

Eurotunnel przewietrzany jest systemem mieszanym wzdłużnym (rys. 6.6.) charakteryzującym się tym, że powietrze dopływa tunelem (1 rurą) konserwacyjnym i odprowadzane jest w tunelach (2 rurach) kolejowych w stronę portali francuskiego i angielskiego. Kolejowe tunele połączone są 194 tunelami wyrównawczymi, zlokalizowanymi w odstępach co 250 m, które służą wyrównywaniu ciśnienia powietrza w tunelach i są wyposażone w tamy regulacyjne. Tunele kolejowe są połączone 135 tunelami ucieczkowymi z tunelem remontowym, zlokalizowanymi w odstępach co 375 m, które służą do ewakuacji ludzi i dojścia służb ratowniczych. Wszystkie tunele są zamknięte tamami natomiast 38 z nich jest otwartych w celu doprowadzenia powietrza z tunelu remontowego do tuneli kolejowych. Strumienie powietrza o wydatku $160 \text{ m}^3/\text{s}$ są wtłaczane za pomocą 2 stacji wentylatorów zabudowanych w rejonie każdego portalu.



Rys. 0.6. System wentylacji z nadciśnieniem w tunelu konserwacyjnym

Zasady bezpieczeństwa w Eurotunelu

Wszystkie środki bezpieczeństwa [5] stosowane w Eurotunelu muszą być zatwierdzone przez komisję brytyjskiego i francuskiego rządu (Intergovernmental Commission IGC). Komisja IGC kieruje się opinią doradców z odpowiednich urzędów bezpieczeństwa

Podstawowe zasady bezpieczeństwa założone w fazie projektowania

Głównym założeniem komunikacji w Eurotunelu jest bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa oraz niezawodność systemu pociągu wahadłowego (Le Shuttle) i eksploatowanych przez poszczególne państwowe przedsiębiorstwa kolejowe pociągów towarowych i osobowych. Dla całego systemu opracowano kompleksową strategię bezpieczeństwa. W fazie projektowania analizowano i badano prawdopodobieństwo wystąpienia wszystkich możliwych zagrożeń. Uwzględniono ryzyko trzęsienia ziemi, powódź przy braku zasilania, zderzenie się pociągów, wykolejenie, pożary i kombinację tych zagrożeń.

Wypadki kolejowe

Zagrożenie wystąpienia wypadku wskutek zderzenia się pociągów zostało w sposób zasadniczo ograniczone Eurotunelu poprzez budowę dwóch jednokierunkowych tuneli, z jednokierunkowym ruchem pociągów. Wewnątrz tunelu, z obydwóch stron, zostały wybudowane betonowe zabezpieczenia na obrzeżach tory, które uniemożliwiają przewrócenie się wykolejonych wagonów.

Ludzka zawodność jest najczęstszą przyczyną zderzenia się pociągów. Dlatego też w obydwóch tunelach kolejowych pracuje automatyczny nadzór pociągów (ATP).

Zagrożenie pożarowe

W celu ograniczenia ryzyka powstania pożaru do transportu samochodów osobowych, autobusów, motocykli i tego typu pojazdów zastosowano specjalny typ pociągów wahadłowych, które zostały wykonane z materiałów ogniotrwałych nie wydzielających dymu i związków toksycznych w czasie palenia.

Zapobieganie ryzyku pożaru

Pierwszym krokiem prewencji przeciwpożarowej jest oczywiście zapobieganie możliwości powstania pożaru. Z tego powodu palenie tytoniu jak i otwieranie maski silnika w pociągu jest zabronione. Transport stwarzających niebezpieczeństwo towarów takich jak paliwa, trujące lub zapalne gazy lub chemikalia, które w zamkniętym systemie tunelu stwarzają zbyt duże ryzyko jest zabroniony.

Detekcja pożaru

Drugim krokiem jest możliwe jak najwcześniejsze wykrycie ognia. Do tego celu zastosowano automatyczne detektory niebezpiecznych związków węglowodoru, dymu i płomienia wyzwalają sygnały alarmowe i wzywają pasażerów i personel do ewakuacji z zagrożonych wagonów

Pożar w samochodzie ciężarowym jest wykrywany natychmiast przez detektory umieszczone na pokładzie pociągu.

Ponadto ulatniający się dym powinien zostać wykryty przez detektory znajdujące się w regularnych odstępach w tunelu. W przypadku wykrycia dymu centrum kontroli może nakazać natychmiastowe zwolnienie biegu lub zatrzymać ruch pociągów jadące w obydwóch kierunkach, a także uruchomienie urządzeń zamykających przewodów wentylacyjnych zainstalowanych w tunelu w celu uniemożliwienia rozprzestrzeniania się dymu.

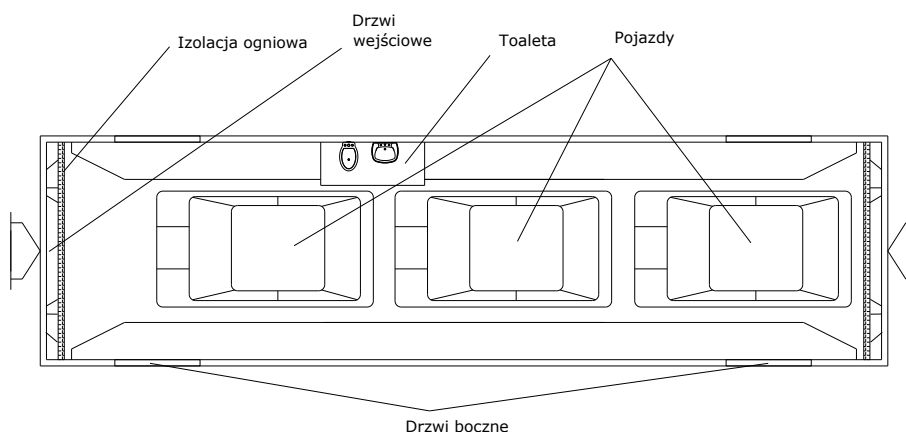
Gaszenie pożaru

Trzecim krokiem jest gaszenie pożaru. Samochody osobowe i autobusy stoją w płaskim zagłębieniu w wagonie z kanałem odpływowym dla wypływającej benzyny. W przypadku zapłonu paliwa automatycznie są uruchamiane pianowe urządzenia gaśnicze. Oprócz tego zamontowane są ręczne gaśnice do użytku pasażerów i personelu pociągu. Tylko w przypadku pożaru zagrażającego życiu stosowany jest system automatycznego gaszenia pożaru za pomocą Halonu 1301 o małym stężeniu, które nie stanowi niebezpieczeństwa dla ludzi.

Pociągi towarowe z płonącym wagonem albo częścią pociągu nie powinny być zasadniczo zatrzymywane w tunelu ze względu na to, że zwalczenie pożaru lepiej przeprowadza się na zewnątrz tunelu. W przypadku, kiedy płonący wagon jest niezdolny do dalszej jazdy pozostałe wagony towarowe są odczepiane i usuwane z terminalu. Powstały pożar jest gaszony w zależności od rodzaju ładunku przy pomocy gaśnic i wody z hydrantów.

Ograniczenie pożaru

Czwartym krokiem jest ograniczenie zasięgu pożaru: Zaraz po zakończeniu załadunku pojazdów osobowych w terminalu na końcu każdego z wagonów opuszczana jest przegroda z zamontowanymi przejściami dla pasażerów odgradzająca i chroniąca przed ogniem (rys. 6.7.).



Rys. 0.7. Wagon transportowy z przegrodą przeciwpożarową

Ewakuacja

Piątym krokiem jest ewakuacja - wszyscy podróżni i pracownicy w przypadku dużego zagrożenia pożarowego lub innego muszą zostać wyewakuowani z tunelu w ciągu 90 minut. Wszystkie systemy bezpieczeństwa są ze względu na ten warunek w dużym stopniu zaprojektowane.

W przypadku, kiedy całkowita ewakuacja jest konieczna, na początku zostają wycofane wszystkie nadjeżdżające pociągi. Dlatego lokomotywa na końcu pociągów wahałowych i przejeżdżających pociągów osobowych – także tylna głowica napędowa Eurostar – ciągle obsadzona przez motorniczego.

Urządzenia sygnałowe w tunelach kolejowych są zaprojektowane na taką zmianę kierunku ruchu. Przejeżdżające pociągi towarowe opuszczają tunel zgodnie z kierunkiem ruchu jazdy. Podróżni są ewakuowani do drugiego tunelu kolejowego, w którym są przejmowani przez pociąg. W przypadku, kiedy jest to niemożliwe opuszczają oni tunel poprzez tunel konserwacyjny.

Przy ewakuacji pociągu postępowania jest następujące:

pociąg jest albo wyprowadzany z tunelu na specjalny tor zapasowy przed terminalem, albo pociąg zatrzymuje się na wysokości połączenia poprzecznego pomiędzy tunelami w celu ewakuacji pasażerów do tunelu konserwacyjnego, w przypadku koniecznym można odzepić platformy służące do przewożenia samochodów ciężarowych i wagon w którym przybywają pasażerowie wraz z lokomotywą może opuścić tunel, w przypadku niezdolności pociągu do dalszej jazdy pasażerowie i personel mogą być ewakuowani przez połączenia poprzeczne pomiędzy tunelami.

Środki przeciwpożarowe

W tunelu kolejowym w celu zwalczania pożaru znajdują się w odstępach co 25 metrów hydranty z wodą. System przewodów ze względów bezpieczeństwa prowadzony jest w tunelu konserwacyjnym. Oprócz tego pociągi wahałowe wyposażone są w gaśnice.



Transport w tunelu konserwacyjnym

Tunel konserwacyjny jest wyposażony w systemem torów, po których poruszają się niezależne od zewnętrznego systemu zasilania pojazdy transportowe (na bezdętkowych kołach). Dzięki nim służba ratownicza lub personel osiągnąć miejsce wypadku z prędkością około 80 km/h. Są to umieszczone na obu końcach tunelu jednolite pojazdy remontowe, ambulanse i pojazdy straży pożarnej napędzane przy pomocy silników dieslowskich.

Nadciśnienie w tunelu remontowym

Wentylatory tłoczą ciągle powietrze do tunelu remontowego, skąd kierowane są przez otwory wylotowe do tuneli kolejowych (rys. 6.6.). Na obu końcach tunelu remontowego są zamknięte tamy wentylacyjne, które umożliwiają, że brama, ciśnienie powietrza jest zawsze wyższe niż w tunelach kolejowych. W przypadku pożaru tunel konserwacyjny pozostaje wolny od dymów i dostępny dla ewakuacji pasażerów i pracowników.



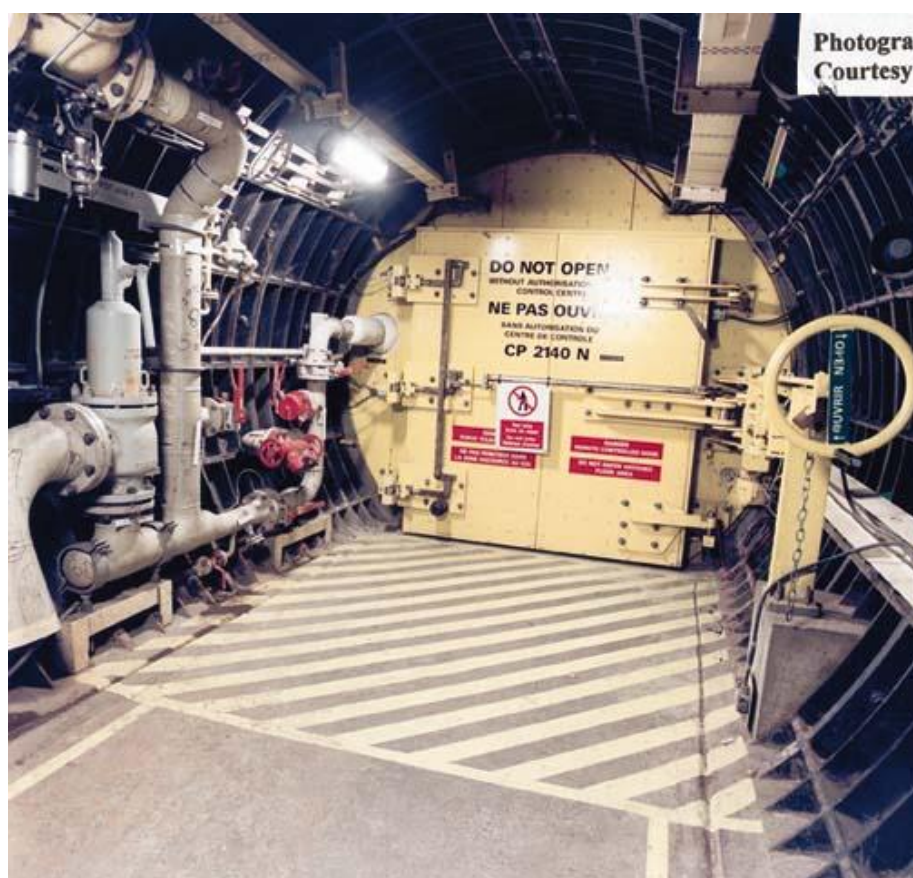
Rys. 0.8. Każdy odcinek Eurotunelu, przebiegającego pod kanałem La Manche, jest kontrolowany przez centra monitoringu w Folkestone i Calais.

Zasilanie elektryczne

Zasilanie elektryczne jest zapewnione poprzez podwójne połączenie do francuskiej i brytyjskiej sieci elektrycznej. Nawet przy braku prądu po jednej stronie kanału pociągi mogą dalej jechać. W przypadku braku prądu elektrycznego po obu stronach kanału zasilanie zapewniają:

generatory spalinowe (dieslowskie) po obu stronach kanału dla utrzymania ważnych funkcji kanału, takich jak oświetlenie i komunikacja,

lokomotywy spalinowe (dieslowskie) w obydwóch terminalach tuneli dla odholowania pociągów z tuneli kolejowych.



Rys. 0.9. Widok kanału pomiędzy dwoma tunelami kolejowymi, wraz z hermetycznie zamykanymi drzwiami do tunelu konserwacyjnego

Komunikacja

Pomiędzy centrami kontroli w obydwóch terminalach i pomiędzy pracownikami w tunelu i w pociągu istnieją wydajne połączenia komunikacyjne. Te częściowo bezprzewodowe i częściowo przewodowe systemy są tak zaprojektowane, że w przypadku awarii jednego z systemu natychmiast dostępny jest inny.

Dyspozytornie (sztab kryzysowy)

W każdym z terminali znajduje dyspozytornia (rys.6.8.) i urządzone pomieszczenie sztabu kryzysowego, które w przypadku wypadku jest obsadzone przez pracowników służby ratowniczej jak i personel Eurotunełu.

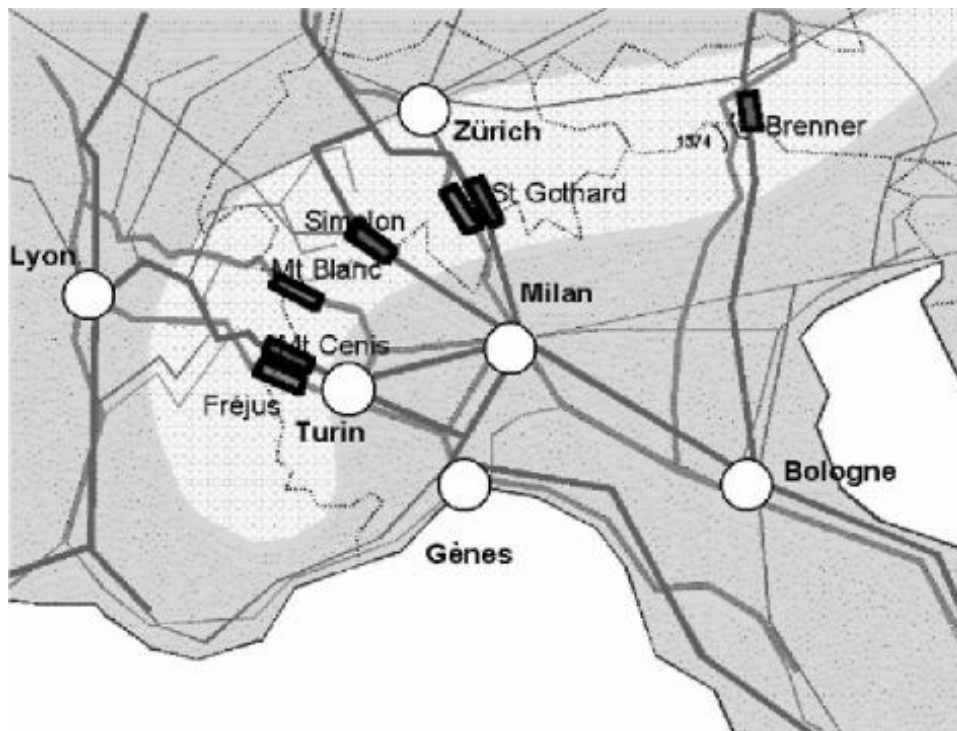
TUNEL MONT BLANC

Charakterystyka tunelu

Tunel Mont Blanc został zbudowany w latach 1956 – 1964 jako tunel dwukierunkowy z jednym pasem jezdni w każdą stronę. Przez tunel prowadzi najkrótsza droga z Paryża do Rzymu łącząc Chamonix (Francja) i Courmayeur Włochy (rys. 7.1.). Z tego względu obsługuje on około 50 % transportu kołowego między Francją i Włochami. Wielkość ruchu: 5000 sam/dzień (208 sam/h) w tym 50% ciężarowych.

Główne cechy geometryczne tunelu Mont Blanc:

- Długość 11600m
- Nachylenie (Włochy → Francja) +0.25‰ 0-5800m
-1.2% 5800-8700m
-2.4% 8700-11600m
- Przekrój poprzeczny 46 m²

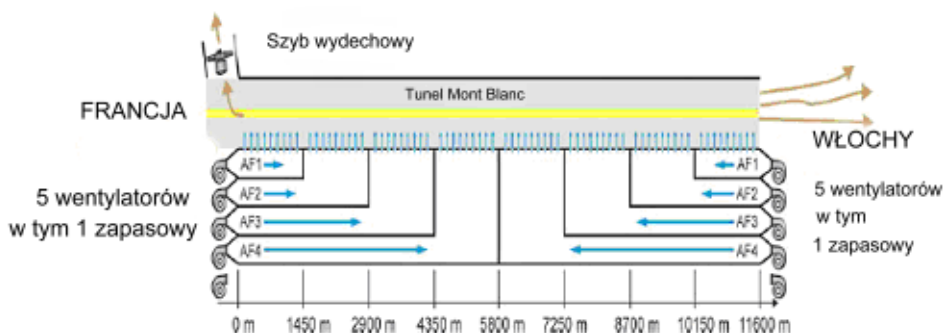


Rys. 0.1. Mapa obrazującą lokalizację tunelu Mont Blanc

Wentylacja tunelu

Tunel Mont Blanc jest pojedynczym tunelem z dwoma pasami ruchu i stosunkowo małym przekrojem poprzecznym (46 m²). Mały przekrój poprzeczny jest wynikiem trudności przy projektowaniu tunelu z uwzględnieniem nadkładu (powodującego duże ciśnienie górotworu). Świeże powietrze wentylacyjne musi zostać, więc dotłoczone poprzez dwa portale tunelu, liczącego 11600m długości. W przypadku pożaru dymy pożarowe usuwane mogą być tylko

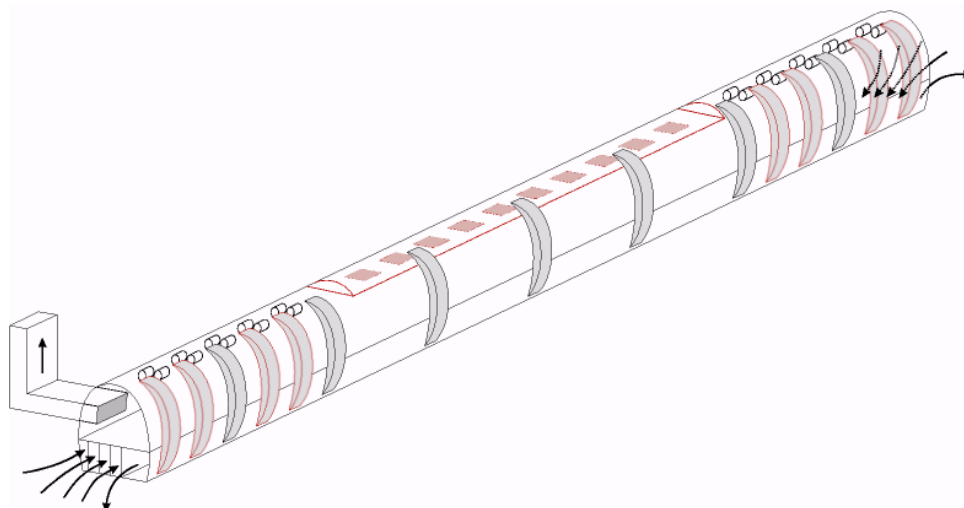
przez dwa portale tunelu do atmosfery. Kanały doprowadzające świeże powietrze do tunelu, jak i kanały odprowadzające spaliny, umieszczone są pod powierzchnią jezdni.



Rys. 0.2. Schemat wentylacji tunelu Mont Blanc

Świeże powietrze jest wtłaczane do tunelu za pomocą 10 odśrodkowych wentylatorów (dwa wentylatory jako zapasowe) umieszczonych przy obydwu portalach tunelu (po stronie francuskiej i włoskiej). Świeże powietrze jest rozprowadzane równomiernie w tunelu przez kanały wentylacyjne (1450 m każdy).

W przypadku pożaru dym jest zasysany z tunelu przez 6 wentylatorów odśrodkowych (dwa pracują jako zapasowe) umieszczonych przy portalach tunelu, oraz 4 wentylatory osiowe (wzmacniające) zainstalowane wzdłuż tunelu (rys. 7.4.). W tunelu zainstalowano system kanałów odprowadzających zużyte powietrze, oraz dymy spalinowe w przypadku zaistnienia pożaru. Kanały są rozmieszczone wzdłuż tunelu w odstępach 100m. Wentylacja jest uzupełniona o 76 wentylatorów zainstalowanych przy stropie tunelu, których zadaniem jest kontrola prędkości wzdłużnej powietrza w tunelu. Moc zainstalowanego systemu jest równa 18,5 MW, co jest wzrostem o 230% w stosunku do systemu zainstalowanego przed 24 marca 1999r.

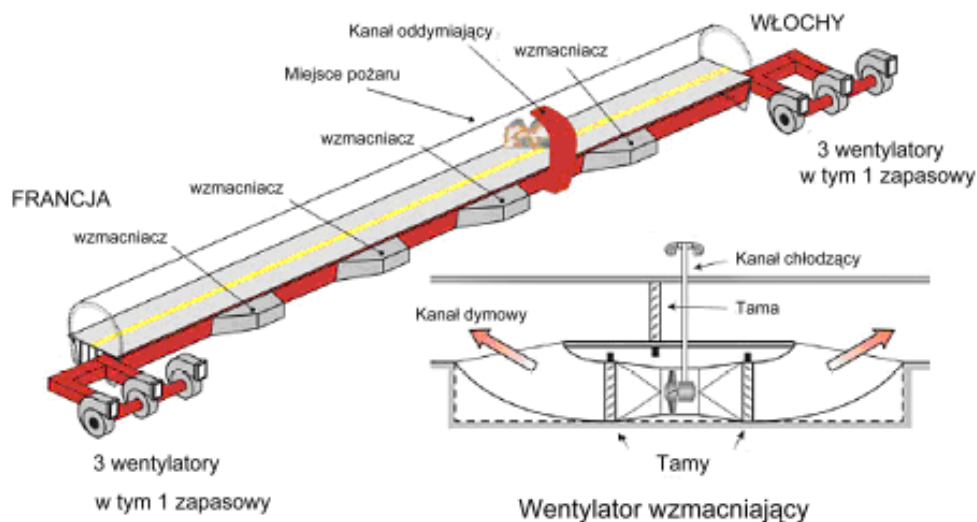


Rys. 0.3. Sposób przewietrzania tunelu Mont Blanc

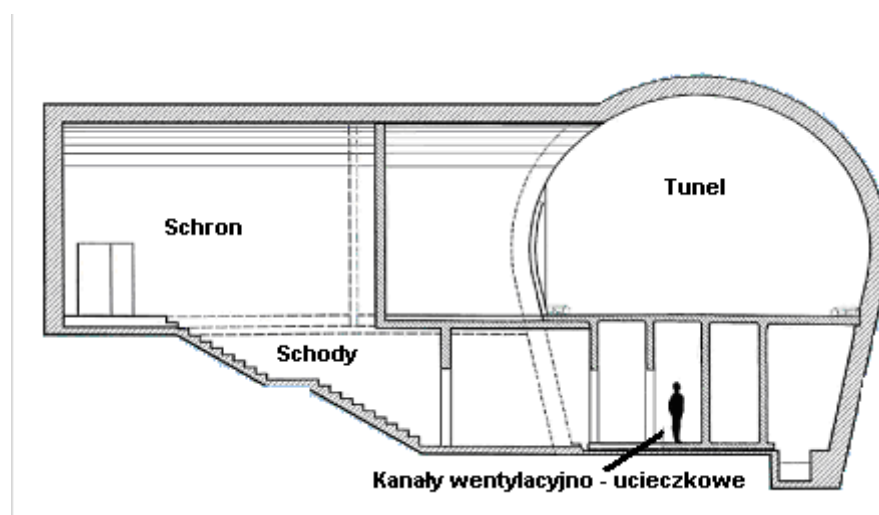
Główne skutki oddziałujące na wzdłużną szybkość w tunelu Mont Blanc to:

- meteorologiczna różnica ciśnienia między portalami,
- aero-termalne z powodu wyższej temperatury wewnątrz tunelu.

Różnica ciśnienia między dwoma portalami jest zilustrowana w rys. 7.7. Ciśnienie powietrza jest wyższe po stronie francuskiej, a różnica ciśnienia przy szczególnych warunkach może sięgać nawet 1000 Pa.

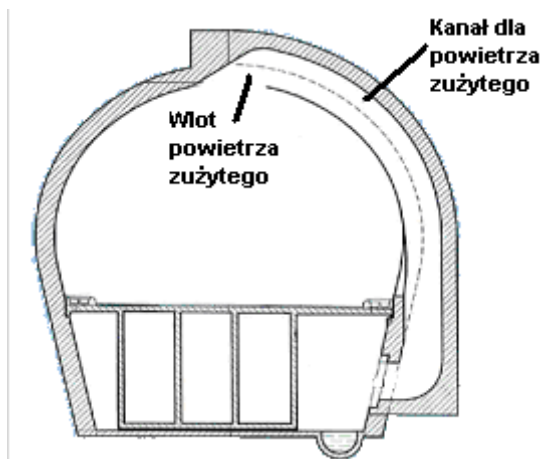


Rys. 0.4. Schemat instalacji oddymiającej



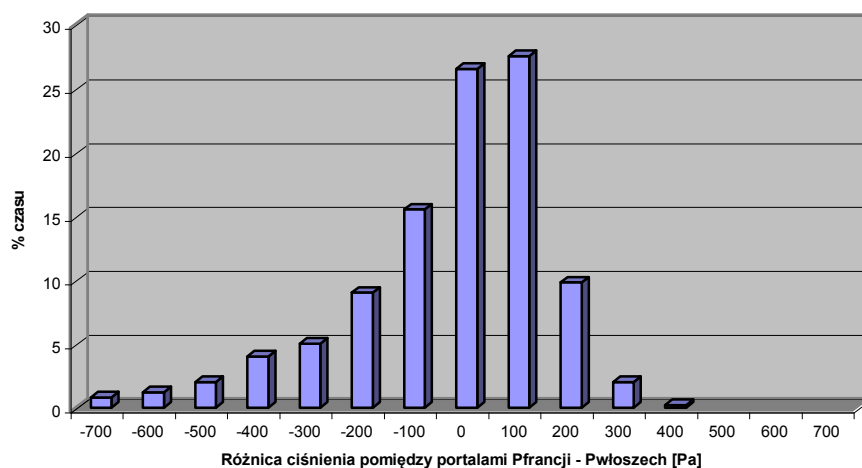
Rys. 0.5. Przekrój poprzeczny przez tunel , schron oraz kanały wentylacyjno-ucieczkowe

Przy normalnej eksploatacji oraz średniej różnicy temperatur, do obliczeń należy przyjmować różnicę ciśnień rzędu ± 300 Pa. W przypadku pożaru, należy wziąć pod uwagę powstający „efekt komina” który wytwarza depresja pożaru.



Rys. 0.6. Przekrój poprzeczny przez tunel z zaznaczeniem kanałów wentylacyjnych

W przypadku normalnej eksploatacji wzdłużna szybkość znika w centralnej części tunelu i rośnie linearnie do wejścia gdzie wartość prędkości 6-7 m/s zwykle jest przekroczona. W przeszłości wartości prędkości dochodziły aż do 15 m/s. W przypadku pożaru ta szybkość musi zostać zmniejszona bardzo szybko do wartości niższych niż 1-2 m/s, aby uniknąć rozchodzenia się dymów pożarowych i ulepszyć skuteczność systemu oddymiania. Przy zastosowaniu obecnego systemu wentylacji, wzdłużną prędkość można zmniejszyć do ok. 1.5 m/s w miejscu pożaru w ciągu 5 minut.



Rys. 0.7.

Rys.7.7.Różnica ciśnień pomiędzy portalami (Pa Francja – Pa Włochy)

System wentylacyjny jest sterowany komputerowo, w związku z czym zaszła potrzeba dostarczenia danych, dzięki którym komputer mógłby określić parametry wentylacyjne. Urządzenia zainstalowane w tunelu, służące zbieraniu danych dla systemu kontroli wentylacji to:

- anemometry mierzące wzdłużną prędkość powietrza rozmieszczone w 20 punktach tunelu (dane pochodzące z anemometrów są kluczowymi danymi dla systemu wentylacji, pozwalają na szybką i relatywnie dokładną kontrolę prędkości wzdłużnej podczas pożaru),
- sensory zanieczyszczenia (widoczność, tlenek węgla i tlenek azotu),
- przepływomierze dostarczające informacji o prędkości powietrza dotłaczanego, oraz wylotowego (rurki Pitotta zainstalowane na wlocie każdego kanału wentylacyjnego

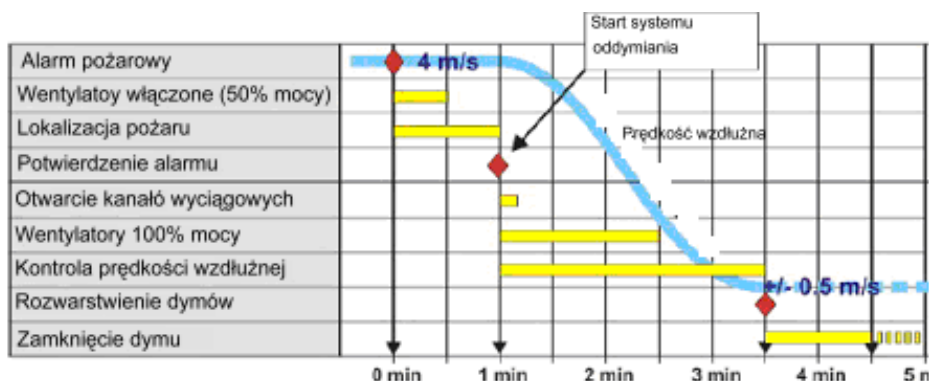
ze świeżym powietrzem, przy wlocie każdego kanału z powietrzem zużytym, oraz w miejscu instalowania wentylatorów osiowych dla powietrza zużytego,

- precyzyjne barometry dostarczające informacji o aktualnym ciśnieniu przy portalach tunelu, do obliczeń wentylacyjnych.

System komputerowego [17] sterowania wentylacją w tunelu Mont Blanc, dzięki urządzeniom przesyłającym dane wentylacyjne on-line pozwala na kontrolę parametrów wentylacyjnych w czasie rzeczywistym. Oczywiście w razie sytuacji awaryjnych kontroler obsługujący system wentylacji może przełączyć sterowanie na ręczne i samodzielnie podejmować decyzje. Czas reakcji urządzeń działających automatycznie został skrócony do minimum. System jest oparty na scentralizowanej bazie danych wentylacyjnych, co może być traktowane jako jego wada. Awaryjność urządzeń komputerowych jest relatywnie duża, co może wpływać bezpośrednio na stan bezpieczeństwa w tunelu. Dlatego zostały zainstalowane dwa komputery po obydwu stronach tunelu, aby w razie awarii jednego z nich, kontrolę mógł przejąć drugi. Czas przełączenia pomiędzy jednym a drugim komputerem wynosi około dwóch minut, a w tym czasie kontrolę przejmują odpowiednie osoby w ręcznym trybie pracy. System komputerowy z założenia ma działać bez pomocy ludzkiej, całkowicie automatycznie. Oznacza to, że system musi zlokalizować źródło ognia i odpowiednio na nie zareagować. W tym celu zakłada się że:

Jakiegokolwiek zdarzenie stwarzające niebezpieczeństwo zaistnienia pożaru, traktowane jest jako pożar

Operator w każdej chwili może ręcznie wywołać odpowiednie procedury



Rys. 0.8. Kolejność i typowa synchronizacja kroków przy automatycznie działającym systemie oddymiania.

Kroki wykonywane przez system automatycznie po detekcji pożaru

Wszystkie działania są wykonane bez znajomości dokładnej pozycji pożaru.

- wyłączenie wszystkich wentylatorów wzdluznych umieszczonych pod stropem tunelu, aby nie zaburzać przepływu dymu
- zamykanie wszystkich kanałów pożarowych
- podwyższanie mocy wszystkich wentylatorów do 50% wydajności w celu ustalenia wydobywania dymu poniżej depresji pożaru.
- redukcja dotłaczania świeżego powietrza do $25 \text{ m}^3/\text{s}$;
- podwyższanie ciśnienia w schronach przeciwpożarowych
- ustawianie wszystkich urządzeń w pozycji „pożar”

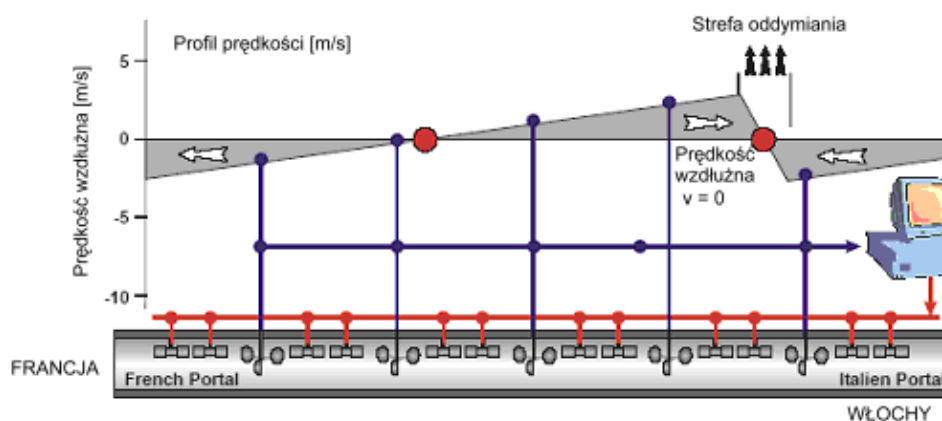
Cała operacja trwa około 1 minuty, i daje gwarancję gotowości systemu do opanowania ewentualnego pożaru, oraz dymów pożarowych.

Lokalizacja pożaru

Miejsce pożaru wykrywane jest za pomocą światłowodowych detektorów temperatury, rozmieszczonych wzdłuż stropu tunelu. Podwyższenie temperatury w danym miejscu wskazuje miejsce pożaru.

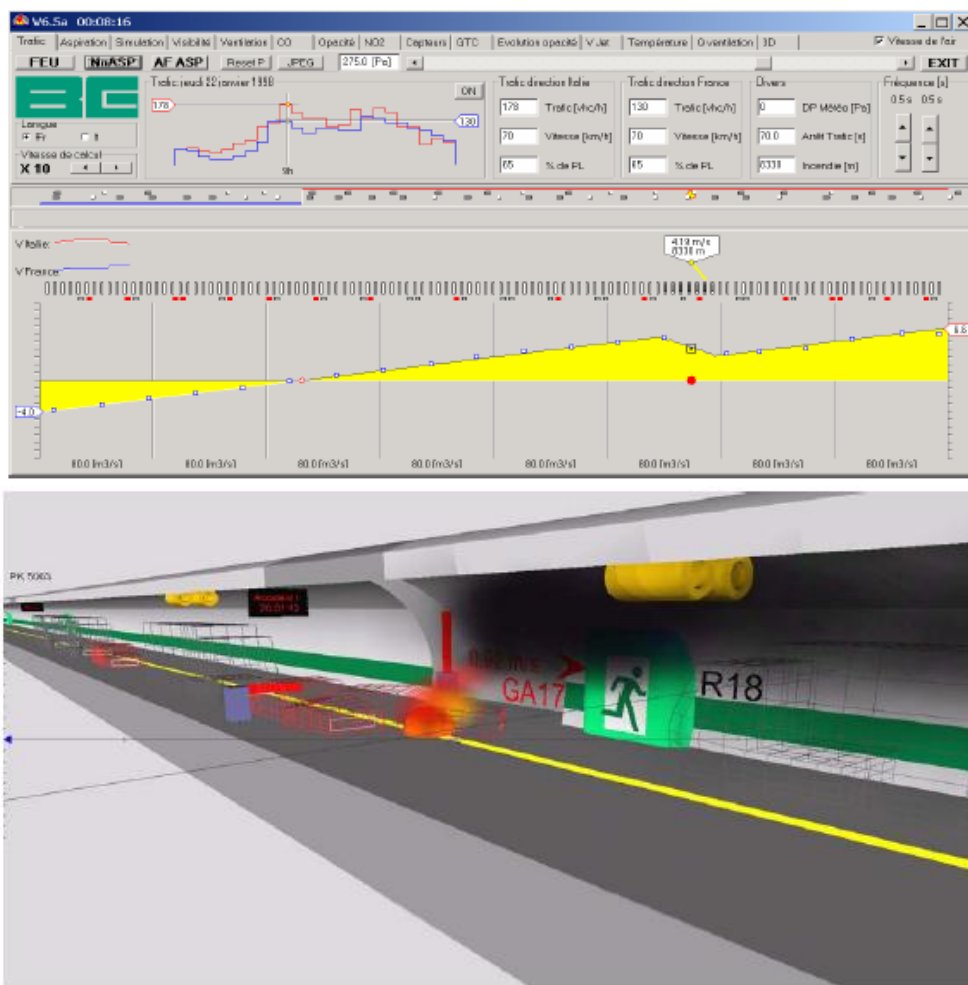
Gdy operator dostaje informację o zmianie parametrów wentylacyjnych mogących świadczyć o zaistnieniu pożaru, ma możliwość:

- rozmowy telefonicznej z użytkownikiem tunelu
- bezpośredniej obserwacji przez kamery wideo;
- obserwacji zatrzymania się pojazdu (automatyczna detekcja pojazdów zatrzymujących się)
- określenia czy alarm był spowodowany złą widocznością powietrza
- Wydobyć dym i kontrola wzdłużnej prędkości
- Gdy miejsce pożaru zostanie zlokalizowane, system zaczyna następującą procedurę:
- siedem kanałów pożarowych zostaje otworzonych otaczając tym samym miejsce pożaru,
- wentylatory wzdłużne mające możliwość pracy rewersyjnej, zatrzymują prędkość wzdłużną w tunelu,
- wentylacja wyciągowa pracuje z wydajnością $150 \text{ m}^3/\text{s}$,



Rys. 0.9. Schematyczny opis pętli sterowania wzdłużnej prędkości powietrza w tunelu

Wszystkie procedury wykonywane są automatycznie przez system i są w stanie reagować bez ingerencji człowieka. Wydajność wentylatorów jest kontrolowana przez rurki Pitotta-Prandtla co pozwala na pełną kontrolę procesu. Aby porównać wyniki symulacji komputerowych z rzeczywistym pożarem, 30 stycznia 2002 wykonano próbę pożaru o mocy 8 MW. W tym czasie system był sterowany automatycznie, oraz testowany. Wyniki jakie zostały otrzymane potwierdziły przydatność systemu automatycznego sterowania wentylacją.



Rys. 0.10. Widok symulatora 1D & 3D zainstalowanego w tunelu Mont Blanc

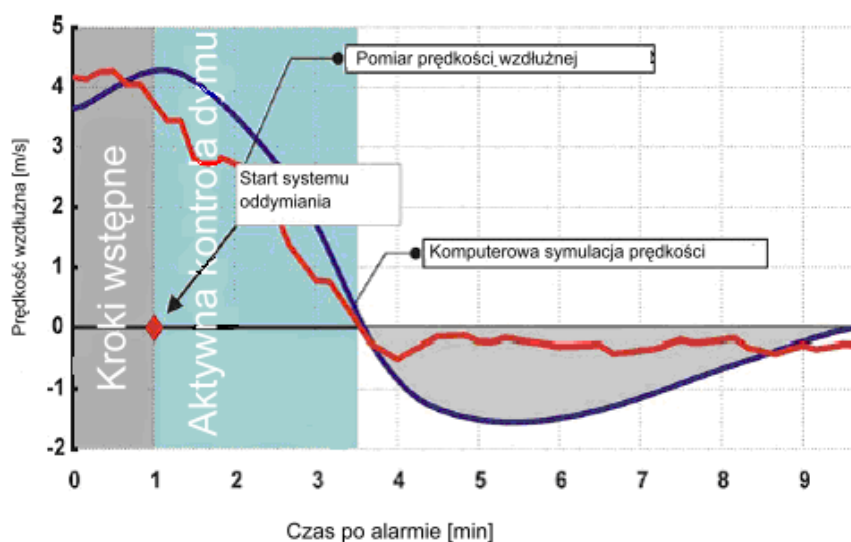
Ewakuacja tunelu

System bezpieczeństwa w tunelu Mont Blanc zawiera wszystkie elementy zabezpieczeń jakie powinny posiadać tunele, dzięki czemu może posłużyć jako przykład budowli tego typu. Do wyposażenia tunelu należą następujące środki:

- Zatoki parkingowe o długości 30 m rozmieszczone co 300 m pozwalające na zatrzymanie pojazdu w razie awarii, lub zawrócenie,
- Informacje radiowe przekazywane kierowcom w razie awarii, za pomocą specjalnego systemu komunikacji radiowej. Częstotliwość na której odbiera radio podana jest przy wjeździe do tunelu, oraz na tablicach rozmieszczonych co 600 m
- Oświetlenie (czerwone lampy) nakazujące zatrzymanie pojazdu w razie awarii w tunelu, rozmieszczone co 300 m.
- Szlabany opuszczane automatycznie w przypadku wypadku, pozwalające zatrzymać ruch w tunelu, oraz nie dopuszczać do zderzeń kolejnych pojazdów
- Oznaczenia świetlne rozmieszczone co 600 m, pozwalające na kierowanie ruchem. Oznaczenia te zawierają informacje o zmianie dopuszczalnej prędkości, zablokowaniu pasa ruchu, wypadku w tunelu, korkach itp.
- Schrony rozmieszczone co 300 m. Powierzchnia schronów wynosi 37,5 m² Maksymalna ilość osób mogących korzystać z jednego schronu – 50. W schronach

znajdują się urządzenia łączności jak wideotelefon, oraz połączenia z kanałami wentylacyjno – uciezkowymi.

- Oznaczenia dróg uciezkowych rozmieszczone co 50 m
- Pomieszczenia o wymiarach 1,5 x 1,2 x 2,2 zawierające telefon alarmowy, oraz gaśnicę. Pomieszczenia te znajdują się co 100 m
- Trzy stacje pomocy medycznej rozmieszczone przy portalach tunelu, oraz w środku rys.
- Przekroje dróg uciezkowych zmieniają się na długości tunelu.

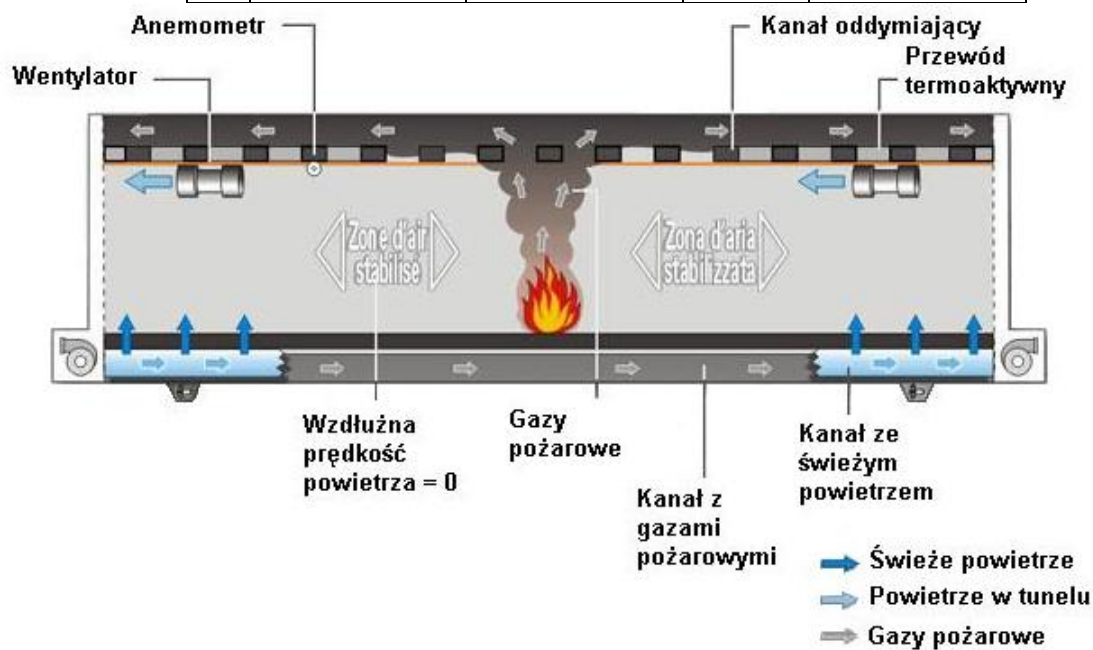


Rys. 0.11. Rozwój wzdłużnej prędkości powietrza podczas automatycznego procesu oddymiania tunelu.

Tabela 0.1
Przekroje charakterystyczne tunelu Mont Blanc

Lp.	Odległość od portalu Chamonix m	Wymiary kanału m	Liczba kanałów	Wygląd kanału
1	0 – 1450	3,3 x 1,3	2	
2	1450 – 2900	3,3 x 1,8	1	
3	2900 – 4350	2,5 x 1,9	1	

4	4350 – 5800	2 x 2	1	
5	5800 – 7250	1,9 x 2,5	1	
6	7250 – 8700	2,10 x 2,40	1	
7	8700 – 10150	3 x 1,90	1	
8	10150 – 11600	3 x 1,95	2	



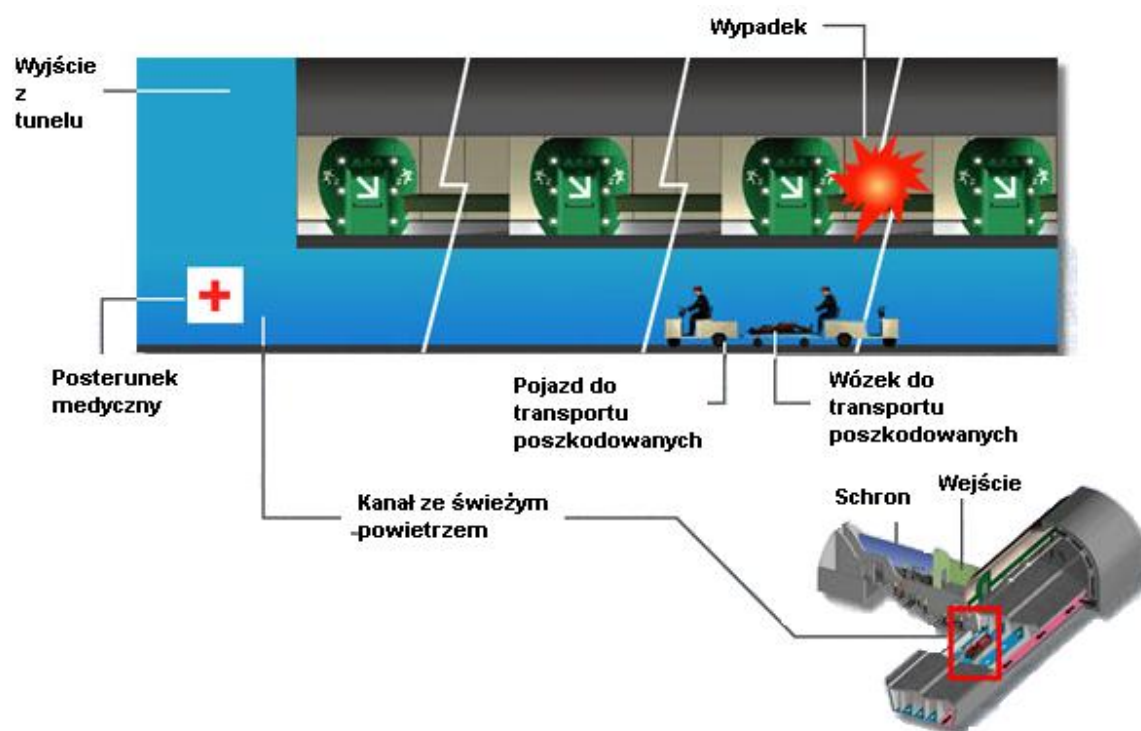
Rys. 0.12.. Zautomatyzowany system oddymiania w razie pożaru



Rys. 0.13. Przekrój podłużny tunelu Mont Blanc z zaznaczonymi stacjami pomocy medycznej



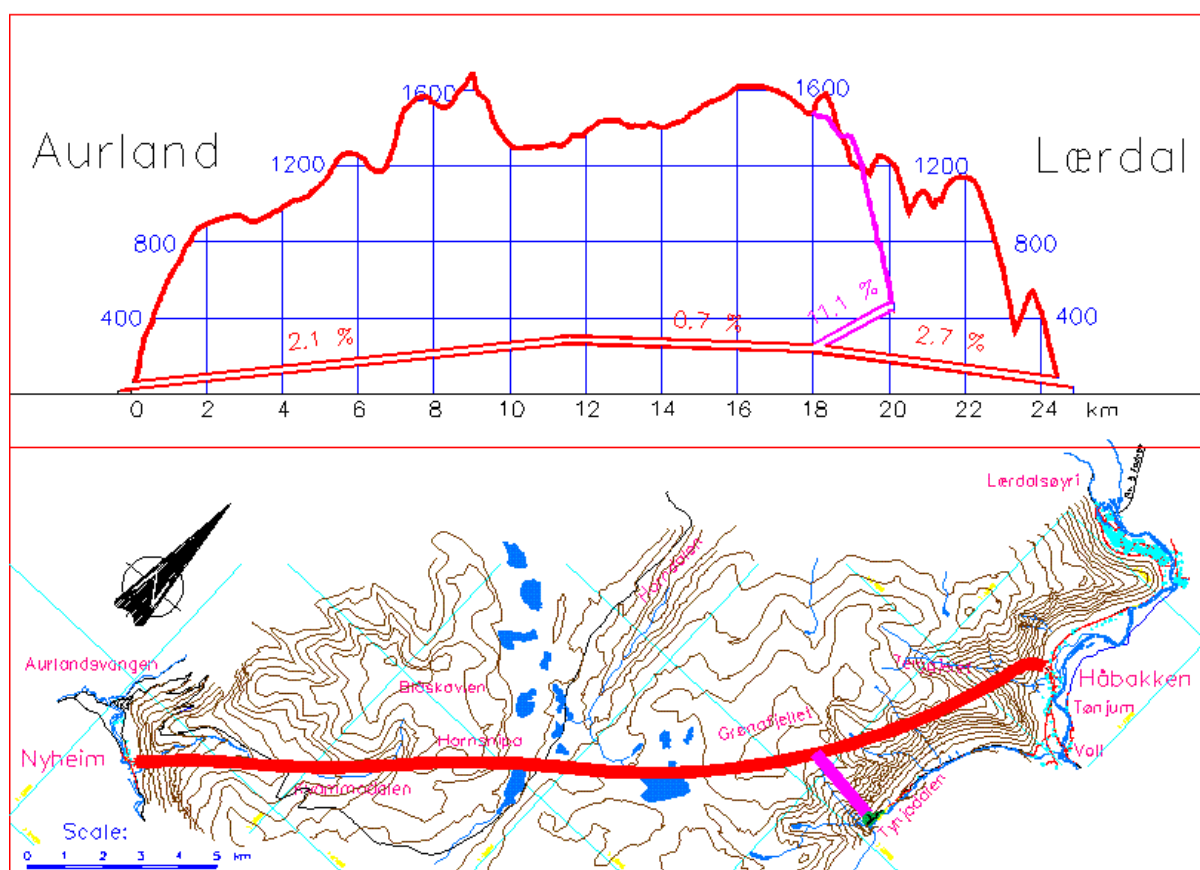
Rys. 0.14. Widok samochodu straży pożarnej, dostosowanego do jazdy w obydwu kierunkach



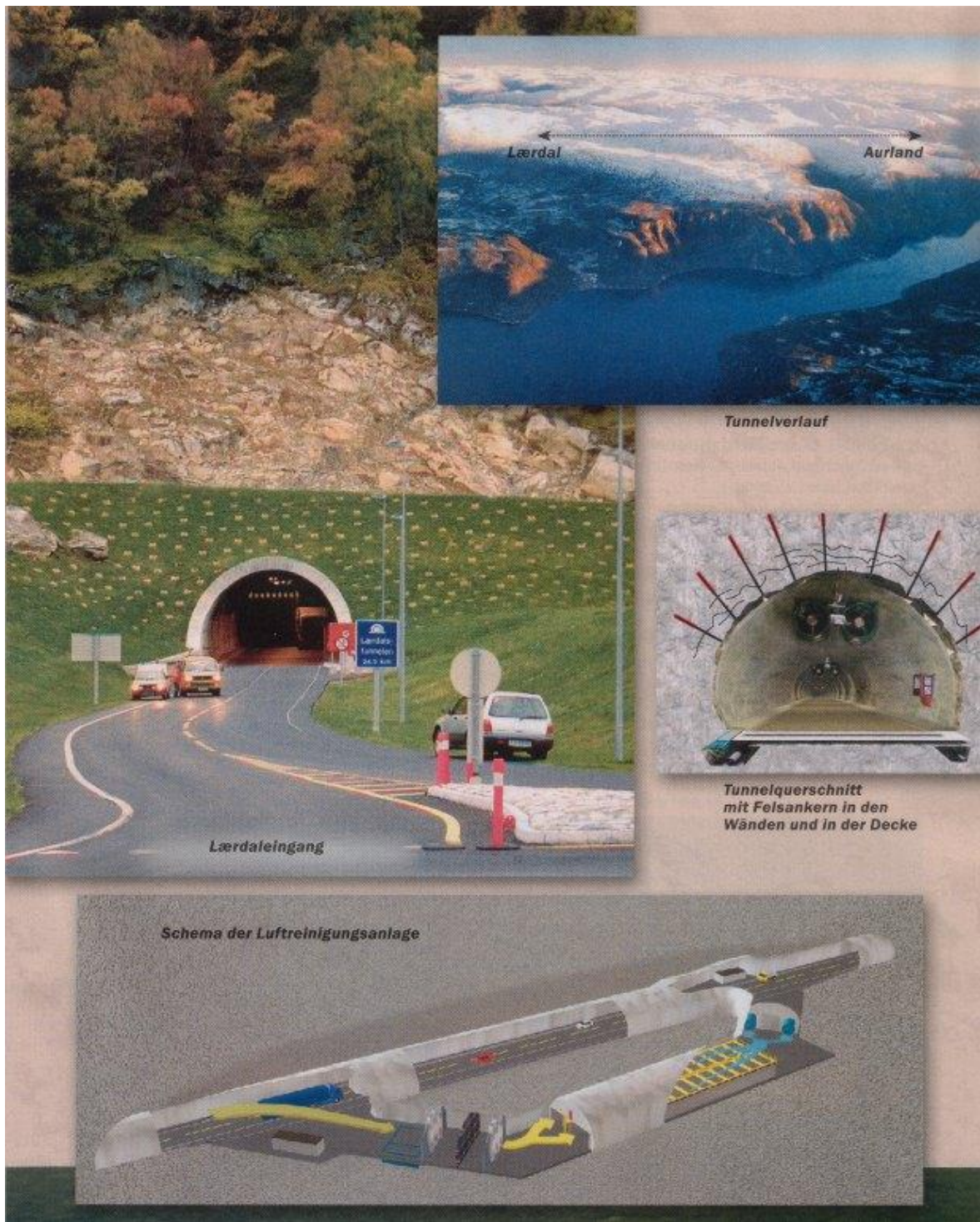
Rys. 0.15. Ewakuacja pasażerów w czasie pożaru

TUNEL – LEARSDAL

Tunel „Leardal” , wybudowany w latach 1995 a 2000, jest obecnie najdłuższym tunelem drogowym na świecie – 24 510 m (rys. 8.1). Jest to bardzo ważne połączenie pomiędzy obszarem Bergen, a północną Norwegią, Oslo, oraz posiada kluczowe znaczenie szczególnie w czasie zimy dla ruchu drogowego w Norwegii, gdyż większość dróg w tym czasie zostaje zamknięta z powodu śniegu. Góry nad tunelem sięgają 1800 m, droga poprzez te wzniesienia jest czynna tylko przez pięć miesięcy w roku, w czasie letnim.



Rys. 0.1. Mapa sytuacyjna i przekrój przez tunel Laersdal



Budowa tunelu

Prace prowadzone podczas budowy zostały zaplanowane, tak, aby możliwie skrócić czas drążenia tunelu. Najpierw wydrążono tunel technologiczny o długości 2,1 km prowadzący do środkowej części tunelu właściwego, tak, aby można było drążyć tunel jednocześnie z czterech stron. Tunel ten został następnie wykorzystany jako tunel wentylacyjny.

Wentylacja i oczyszczanie powietrza w tunelu

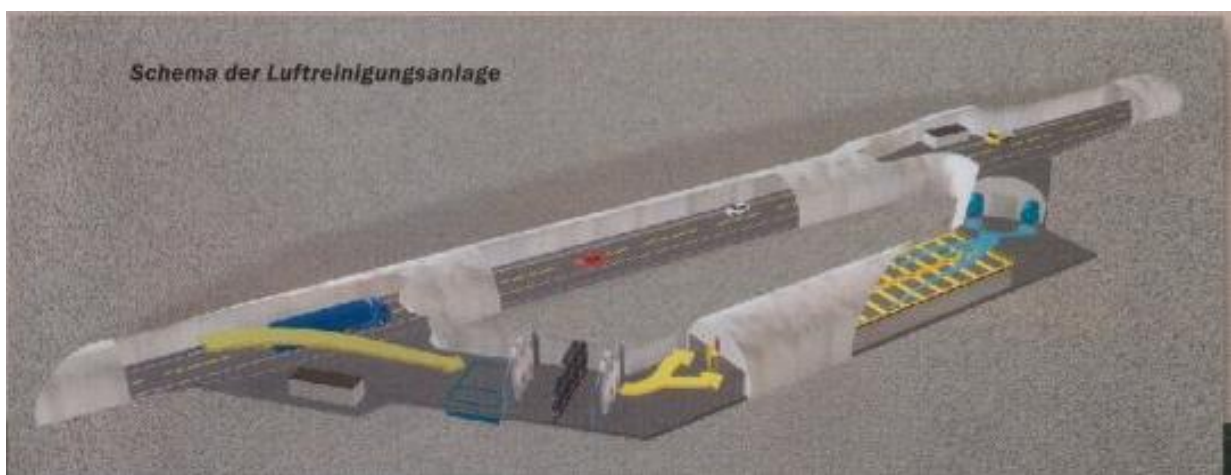
Tunel Learsdal przewietrzany jest systemem wzdłużnym, powietrze jest doprowadzane z obu portali do tunelu wentylacyjnego i dalej otworem pod wpływem działania ssących wentylatorów na powierzchnię góry w Tynjadalen. Główna stacja wentylatorów składa się z 2 pracujących wentylatorów typu Howden wytwarzających wydatek strumienia powietrza wynoszący 480 m³/sec i spiętrzenie 1300 Pa.

Dodatkowo zostały zainstalowane 32 wentylatory swobodne w 5 grupach pomiędzy portalem w Aurland a tunelem wentylacyjnym.

Jakość powietrza jest stymulowana poprzez dwa rozwiązania:

1. System wentylacyjny
2. System oczyszczający

Tunel Laersdal jest pierwszym na świecie tunelem, wykorzystującym specjalne kawerny (100m długości) do oczyszczania powietrza z tlenków azotu, oraz pyłu (rys.10.2.1). Za pomocą dwóch wentylatorów powietrze jest zaciągane przez filtr elektrostatyczny, na którym osadza się kurz. Następnie powietrze przepuszczane jest przez kolejny filtr oczyszczający je z dwutlenku azotu.



Rys. 0.2. Schemat stacji uzdatniania powietrza w tunelu



Rys. 0.3. Stacja uzdatniania powietrza w tunelu.

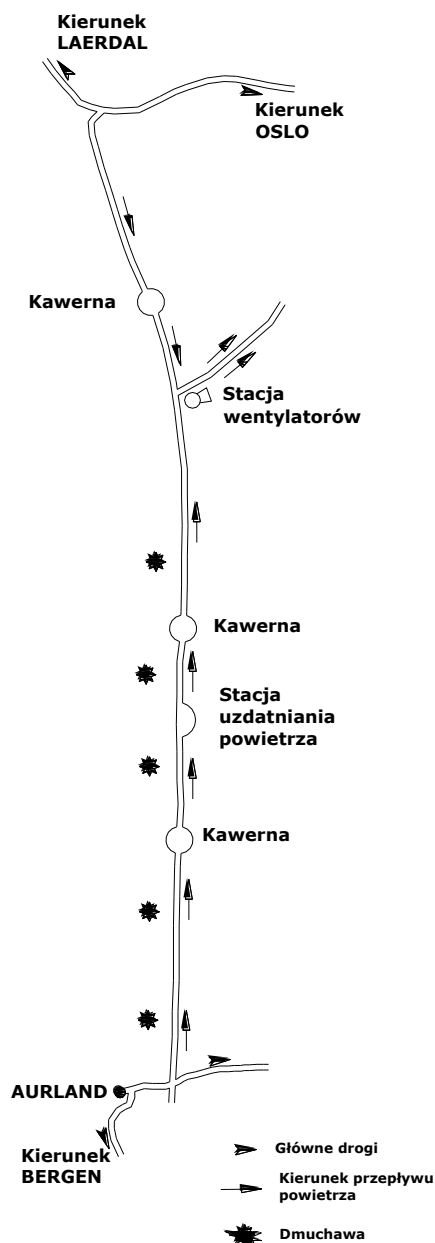
Środki bezpieczeństwa

W przypadku zaistnienia wypadku, także pożaru, zainstalowano następujące systemy bezpieczeństwa:

1. Telefony alarmowe rozmieszczone w odległości 250 m, oznaczone symbolem SOS.
2. Gaśnice przeciwpożarowe rozmieszczone w odległości 125 m, czyli bliżej niż w innych tunelach.
3. Światła „STOP” oraz „ZAWRÓĆ” włączane automatycznie, gdy używany jest jeden z telefonów alarmowych.
4. Zbudowano 15 zatok, służących do zawracania, także dla ciężarówek z naczepami.
5. Dodatkowo w górotworze zostały wydrążone trzy hale, oraz wybudowane co 500 m specjalne pomieszczenia ewakuacyjne.
6. Telefon alarmowy łączy z policją, strażą pożarną i szpitalem
7. Połączenie z centrum ochrony w Laersdal i Bergen, jest przez czynne całą dobę.
8. Urządzenia pozwalające komunikować się za pomocą radia samochodowego i telefonu komórkowego.
9. System liczenia wszystkich pojazdów wjeżdżających i wyjeżdżających do tunelu, za pomocą kamer.

10. Ograniczenie natężenia ruchu do 1000 pojazdów/dzień, co pozwala uzyskać – utrzymywać odpowiednio duże odległości pomiędzy pojazdami.

Dodatkowe wyposażenie tunelu



Aby zmniejszyć monotonię 20 minutowej jazdy w tunelu, wybudowano trzy duże kawerny, dzielące tunel na cztery części. Dużą uwagę zwrócono na oświetlenie, gdyż białe światło zostało użyte do oświetlenia tunelu, a niebieskie i żółte do oświetlenia kawern. Daje to iluzję wjeżdżania w światło dzienne, co 6 km (w odległości kawern) a żółte światło umieszczone przy spągu daje iluzję wschodu słońca!

Aby nie dopuścić do zderzeń czołowych oraz zasypiania kierowców, dwa pasy ruchu zostały oddzielone od siebie specjalnymi wypustkami powodującymi głośny huk podczas zmiany pasa ruchu.

Zagrożenie pożarowe

Możliwość wystąpienia pożaru istnieje realnie nawet w tak dobrze zabezpieczonych tunelach, o czym świadczy pożar powstały na kilka godzin przed formalnym otwarciem tunelu w dniu 27.11.2000r. Zapaleniu uległ wentylator w autobusie wiozącym 50 pasażerów z Voss do Learsdal.

Dymiący autobus został wywieziony poza tunel. Żaden z pasażerów nie uległ wypadkowi.

W roku 2001 tunel Laerdal został skontrolowany przez ADAC, oraz otrzymał ocenę „zły”. Ocena ta była wynikiem niedostatecznego zabezpieczenia tunelu w przypadku zagrożenia pożarem. Jako powody tej decyzji wymieniane były między

innymi:

- powierzchnia jezdni wykonana z materiału palnego (asfalt),
- brak zakazu transportu towarów niebezpiecznych,
- brak kontroli za pomocą kamer video,
- brak automatycznej detekcji zatorów,
- brak systemów głośników,
- telefony alarmowe nie chronione przed hałasem,
- brak dodatkowych dróg ucieczkowo – ratunkowych,
- brak systemu automatycznego powiadamiania o pożarze,

- brak systemu hydrantów z wodą,
- brak systemu odprowadzania płynnych materiałów palnych,
- duże odległości pomiędzy stacjami wentylatorów.



Rys. 0.5. Kawerna z niebieskim oświetleniem przy stropie, oraz żółtym przy spągu.