AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wentylacja wybranych obiektów podziemnych

Wykład 3

Wentylacja tuneli w fazie eksploatacji

Prof. dr hab. inż. Stanisław Nawrat
Mgr inż. Sebastian Napieraj
Mgr inż. Natalia Schmidt - Polończyk

rok akademicki: 2015/2016, semestr zimowy

Wymagania prawne

Podstawowe regulacje prawne dotyczące wentylacji i zwalczania zagrożenia pożarowego w tunelach drogowych zawarte są w :

- Dyrektywie 2004/54/EG Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej z dnia 29 kwietnia 2004 r.,
- Prawie Budowlanym z dnia 7 lipca 1994,
- Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz. U. z dnia 3 sierpnia 2000 r.),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie.

Zalecenia projektowe

- **Centre D'études des Tunnels - CETU** (francuskie zalecenia projektowe)
- **Technical Committee on Road Tunnel Operation- PIARC** ("międzynarodowe" zalecenia projektowe)
- **Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln - RABT** (niemieckie zalecenia projektowe)
- **National Fire Protection Association - NFPA** (amerykańskie zalecenia projektowe)
- **brak polskich zaleceń projektowych**

Szczegółowe wymagania prawne

Po uzyskaniu w tunelu połączenia umożliwiającego jego przewietrzania prądami przepływowymi mają zastosowanie przepisy prawne określone Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.

§ 1. 1. Rozporządzenie określa warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie, zwane dalej „obiektami inżynierskimi”, oraz ich usytuowanie.

2. Do obiektów inżynierskich zalicza się:

1) obiekty mostowe,

2) tunele,

3) przepusty,

4) konstrukcje oporowe.

Szczegółowe wymagania prawne

§ 290. W tunelach, w zależności od ich długości, powinna być przewidziana wentylacja dla odprowadzenia spalin.

§ 291. Instalacje wentylacyjne tuneli drogowych powinny zapewnić:

1) **wymianę powietrza** - aby nie zostały przekroczone stężenia zanieczyszczeń zagrażające przebywającym w tunelu użytkownikom dróg,

2) **bezpieczeństwo i komfort jazdy** - poprzez usuwanie dymów ograniczających widoczność oraz regulowanie temperatury i ruchu powietrza.

§ 292. 1. Wentylacja tuneli drogowych powinna być ustalona na podstawie stężenia określonego ułamkiem molowym tlenku węgla i tlenku azotu w powietrzu tunelu oraz emisji dymów ograniczających widoczność.

2. Dopuszczalne stężenie określone ułamkiem molowym tlenku węgla w powietrzu tunelu określa tabela:

Szczegółowe wymagania prawne

Rodzaj tunelu/rodzaj ruchu	Dopuszczalne stężenie określone ułamkiem molowym tlenku węgla	
	Ruch pojazdów płynny, %	Ruch pojazdów utrudniony lub zatrzymywany, %
W ciągu ulic miejskich	0,015	0,015
W ciągu dróg klas A i S	0,015	0,025
Górski	0,015	0,025
Na wyjściu z tunelu przy wentylacji podłużnej	0,025	0,025
Przebywanie w tunelu personelu wykonującego pracę	0,005	

Szczegółowe wymagania prawne

3. Dopuszczalne stężenie, określone ułamkiem molowym tlenku azotu w powietrzu tunelu, wynosi 0,0025%.

4. Dopuszczalne stężenie dymu w powietrzu tunelu, określone współczynnikiem widoczności i komfortu jazdy, podaje tabela na kolejnym slajdzie:

Szczegółowe wymagania prawne

Rodzaj tunelu rodzaj ruchu	Współczynnik widoczności i komfortu jazdy	
	Ruch pojazdów płynny (m^{-1})	Ruch pojazdów utrudniony lub zatrzymywany (m^{-1})
W ciągu ulic miejskich	0,005	0,0075
Pozamiejski przy prędkości pojazdów		
60-80 km/h	0,0075	0,009
100 km/h	0,005	0,009
Przebywanie w tunelu personelu wykonującego pracę	0,003	
Konieczność zamknięcia ruchu w tunelu	0,012	

Szczegółowe wymagania prawne

3. Dopuszczalne stężenie masowe sadzy w powietrzu tunelu wynosi 2 mg/m3.

§ 293. Wentylacja tuneli drogowych może być wykonana w szczególności jako:

1) naturalna,

2) mechaniczna:

a) wzdłużna,

b) poprzeczna,

c) mieszana.

Szczegółowe wymagania prawne

§ 294. 1. Wentylację naturalną, o której mowa w § 293 pkt. 1, działającą dzięki różnicy ciśnień między głowicami tunelu oraz w wyniku ruchu pojazdów, dopuszcza się, z zastrzeżeniem ust. 2, w tunelach o długości:

1) w ciągu dróg z ruchem jednokierunkowym, bez zatorów, gdy droga przebiega poza tunelem:

a) w poziomie terenu lub na nasypie - nie większej niż 600 m,

b) w wykopie - nie większej niż 400 m,

2) w ciągu dróg o dużym natężeniu ruchu, z zatorami - nie większej niż 200 m.

2. W przypadku korzystnych warunków topograficznych i klimatycznych dopuszcza się wentylację naturalną w tunelach dłuższych, niż podano w ust. 1, pod warunkiem zastosowania rezerwowej wentylacji mechanicznej.

Szczegółowe wymagania prawne

§ 295. 1. Wentylację mechaniczną, o której mowa w § 293 pkt. 2, działającą dzięki wymuszaniu przepływu powietrza wzdłuż lub w poprzek osi tunelu, dopuszcza się, gdy długość tunelu przy wentylacji:

1) wzdłużnej - jest nie większa niż 1000 m,

2) poprzecznej - jest większa niż 1000 m.

Wentylacja mechaniczna wzdłużna wymaga:

1) przy wentylatorach umieszczonych wzdłuż stropu tunelu:

a) zachowania odległości od ściany - dla ograniczenia wpływu tarcia powietrza o ścianę,

b) grupowania wentylatorów - aby odległości między grupami były nie mniejsze niż 60 m i nie większe niż 120 m,

c) odpowiedniej liczby wentylatorów w grupach - dla zapewnienia równomiernego ciśnienia powietrza,

Szczegółowe wymagania prawne

2) przy zastosowaniu szybów wentylacyjnych - rozmieszczenia czerpni w pobliżu głowic tuneli oraz w środkowej ich części w przypadku nieparzystej liczby czerpni.

Wentylacja mechaniczna poprzeczna, z poprzecznym ruchem powietrza na całej długości tunelu, działająca w wyniku różnicy ciśnień w kanałach umieszczanych wzdłuż tunelu, wymaga umieszczenia otworów:

1) do doprowadzenia powietrza - w dolnej części tunelu na wysokości kół pojazdów,

2) do odprowadzenia powietrza - w części stropowej, z zastrzeżeniem ust. 4.

Szczegółowe wymagania prawne

4. W wentylacji, o której mowa w ust. 3, dopuszcza się rezygnację z kanałów odprowadzających i usuwanie zużytego powietrza przez głowice tuneli lub pośrednie szyby wywiewne.

5. Prędkość przepływu powietrza w tunelu z wentylacją mechaniczną nie powinna być większa niż 10 m/s.

§ 296. Jeśli zanieczyszczenia powietrza usuwanego z tuneli przekraczają dopuszczalne stężenia z uwagi na ochronę środowiska, powinny być zastosowane specjalne urządzenia oczyszczające przed wyemitowaniem do atmosfery.

Wentylacja tuneli drogowych

Prawidłowa wentylacja jest podstawą bezpiecznej eksploatacji tuneli komunikacyjnych i powinna zapewniać przede wszystkim:

- wymianę powietrza w stopniu powodującym obniżenie stopnia koncentracji szkodliwych zanieczyszczeń gazowych, pyłowych oraz dymów w powietrzu w tunelach do poziomu dopuszczonego przez odpowiednie przepisy lub inne wymagania np. medyczne,





Wentylacja tuneli drogowych

- dobrą widoczność,
- korzystne warunki klimatyczne w tunelach poprzez między innymi regulację prędkości, temperatury powietrza,
- możliwości sprawnej ewakuacji użytkowników z tuneli w przypadkach wystąpienia pożarów,
- możliwość sprawnego ugaszenia pożarów,
- system wentylacji powinien spełniać specyficzne kryteria dla stanów normalnych i awaryjnych oraz być możliwie najtańszym rozwiązaniem technicznym zapewniającym maksymalne bezpieczeństwo ludzi korzystających z tunelu,





Wentylacja tuneli

Przepływ powietrza w tunelach może następować pod wpływem depresji:

- **naturalnej,**
- **mechanicznej**.

Na ruch powietrza w tunelach ma także wpływ "tłokowe" oddziaływanie poruszających pojazdów zależne od relacji pomiędzy przekrojem tunelu i sumy przekrojów poprzecznych pojazdów oraz od kierunku i prędkości ich jazdy.

Systemy wentylacji tuneli

Uwzględniając stan techniki i wymagania przepisów można wyróżnić następujące systemy wentylacji tuneli:

1. **wzdłużny :**
- wentylacja naturalna,
- wentylacja naturalna z szybem,
- wentylacja naturalna z wentylatorami,
- wentylacja mechaniczna,
- system Saccardo Nozzle,

2. **poprzeczny:**
- wentylacja mechaniczna półpoprzeczna,
- wentylacja mechaniczne półpoprzeczna odwrócona,
- pełna mechaniczna wentylacja poprzeczna,

3. **mieszany,**
4. **specjalny.**

Systemy wentylacji wzdłużnej

Tunele komunikacyjne są przewietrzane przy zastosowaniu różnych systemów w zależności od warunków technicznych, natężenia ruchu oraz stopnia zagrożenia pożarowego i zanieczyszczeniami powietrza.

W systemach wentylacji wzdłużnej powietrze płynie od portalu wlotowego w kierunku zgodnym z osią tunelu w stronę portalu wylotowego, głównie pod wpływem działania depresji naturalnej i mechanicznej, przy czym mogą wystąpić modyfikacje w przypadkach wykonania innych połączeń np. szybów skracających poszczególne odcinki z wentylacją wzdłużną.

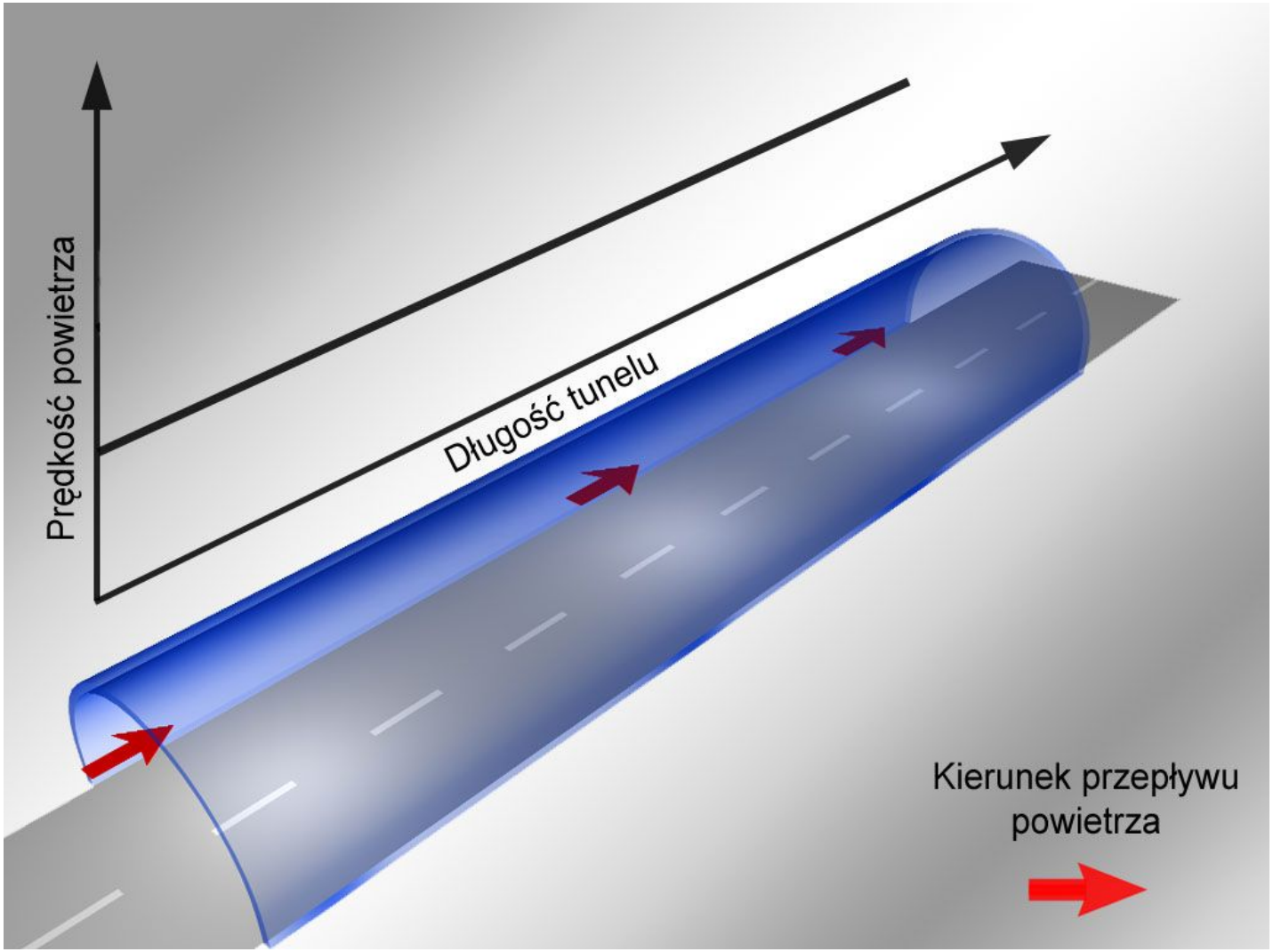
Systemy wentylacji wzdłużnej

W systemie wentylacji naturalnej wzdłużnej przepływ powietrza jest wywołany depresją naturalną powstająca w wyniku różnicy gęstości powietrza występującej na portalu wlotowym i wylotowym tunelu. Wielkość wydatku strumienia powietrza w tunelu jest zależna także od warunków atmosferycznych (intensywności oraz kierunku wiatru) i „tłokowego" działania przejeżdżających pojazdów.

Depresja naturalna może powodować przepływ powietrza w różnych kierunkach w tunelu:

- od przekroju portalu wlotowego do przekroju portalu wylotowego,
- od przekrojów portali wlotowych do szybu,
- od szybu do przekrojów portali wylotowych.

Systemy wentylacji wzdłużnej



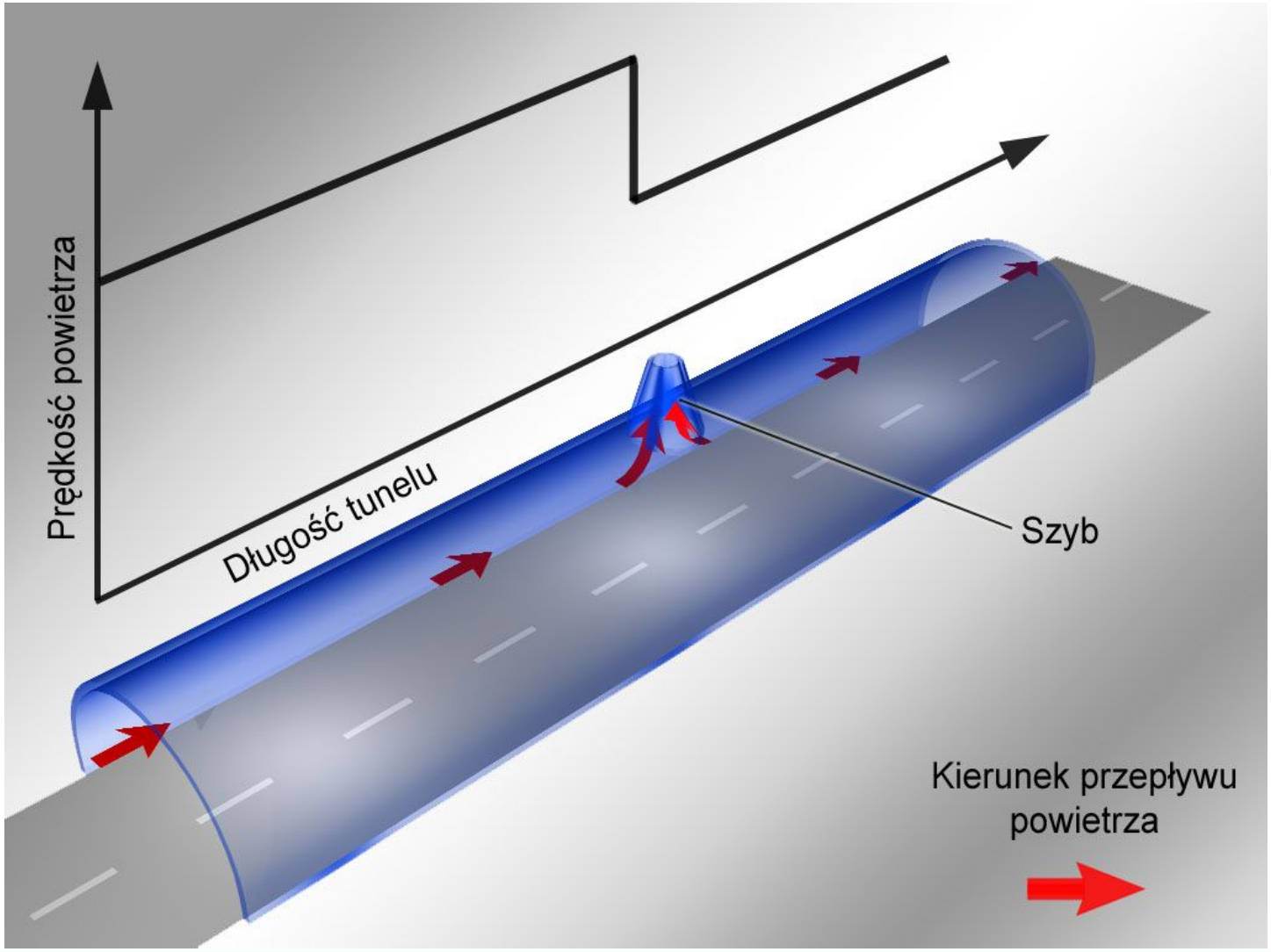
Systemy wentylacji wzdłużnej

W przypadkach długich tuneli i znacznego natężenia ruchu pojazdów w celu zwiększenia wielkości strumienia powietrza, a także umożliwienia usuwania zanieczyszczeń powietrza, stosuje się połączenia tunelu jednym lub kilkoma dodatkowymi połączeniami z powierzchnią, najczęściej w formie szybu.

Wielkość generowanej w szybie i tunelu depresji naturalnej (efekt „kominowy”) jest uzależniona od:

- wysokości szybu,
- różnicy gęstości powietrza w tunelu i na zewnątrz tunelu,
- kierunku i intensywności wiatru.

Systemy wentylacji wzdłużnej

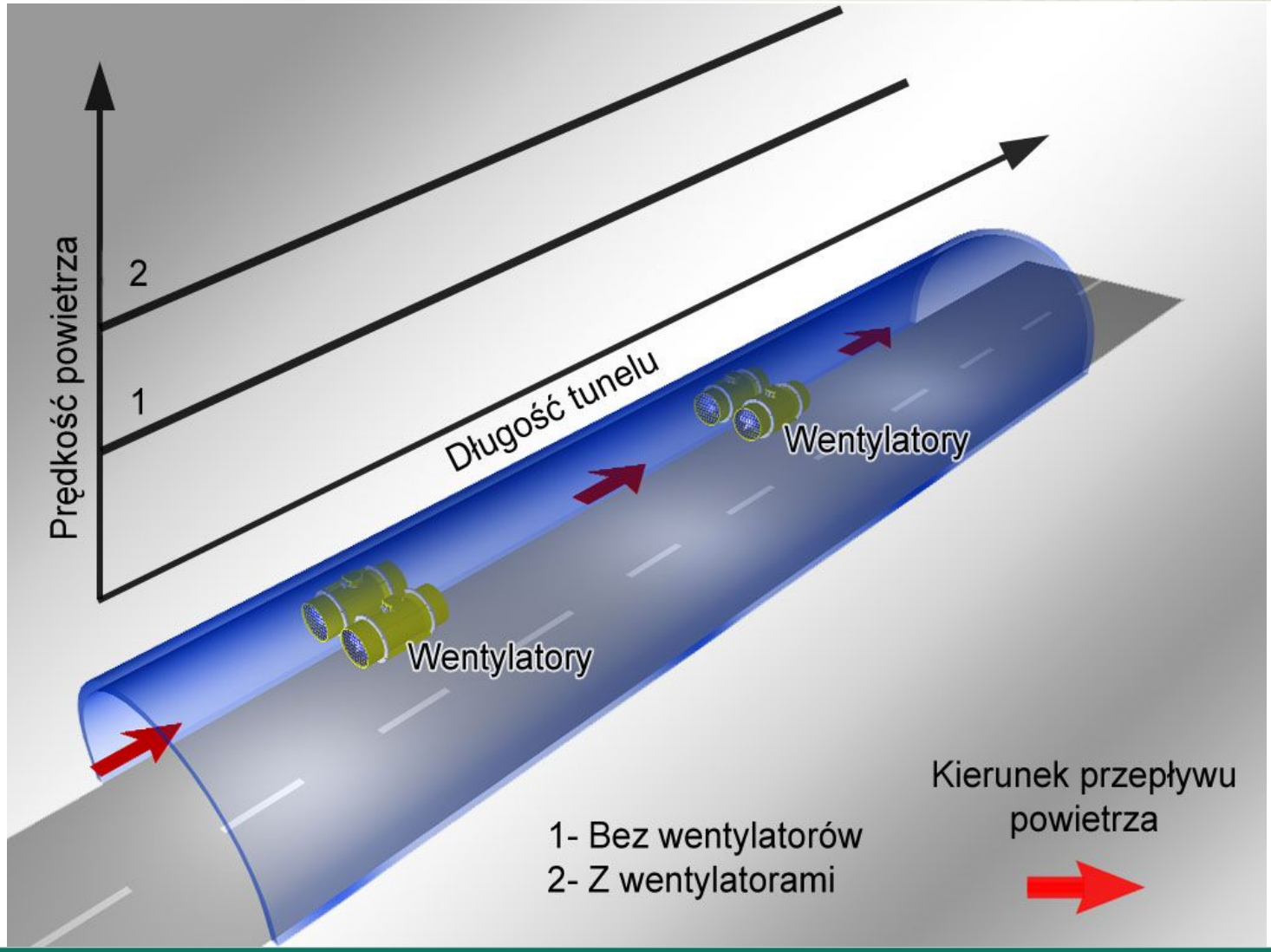


Systemy wentylacji wzdłużnej

Wentylacja wzdłużna naturalna z wentylatorami jest stosowana głównie w tunelach o małych i średnich długościach oraz w przypadku występowania dużych koncentracji zanieczyszczeń powietrza.

Najczęściej wentylatory są umieszczane w grupach po dwa do czterech i w odstępach około 50 – 120 m w zależności od mocy.

Systemy wentylacji wzdłużnej

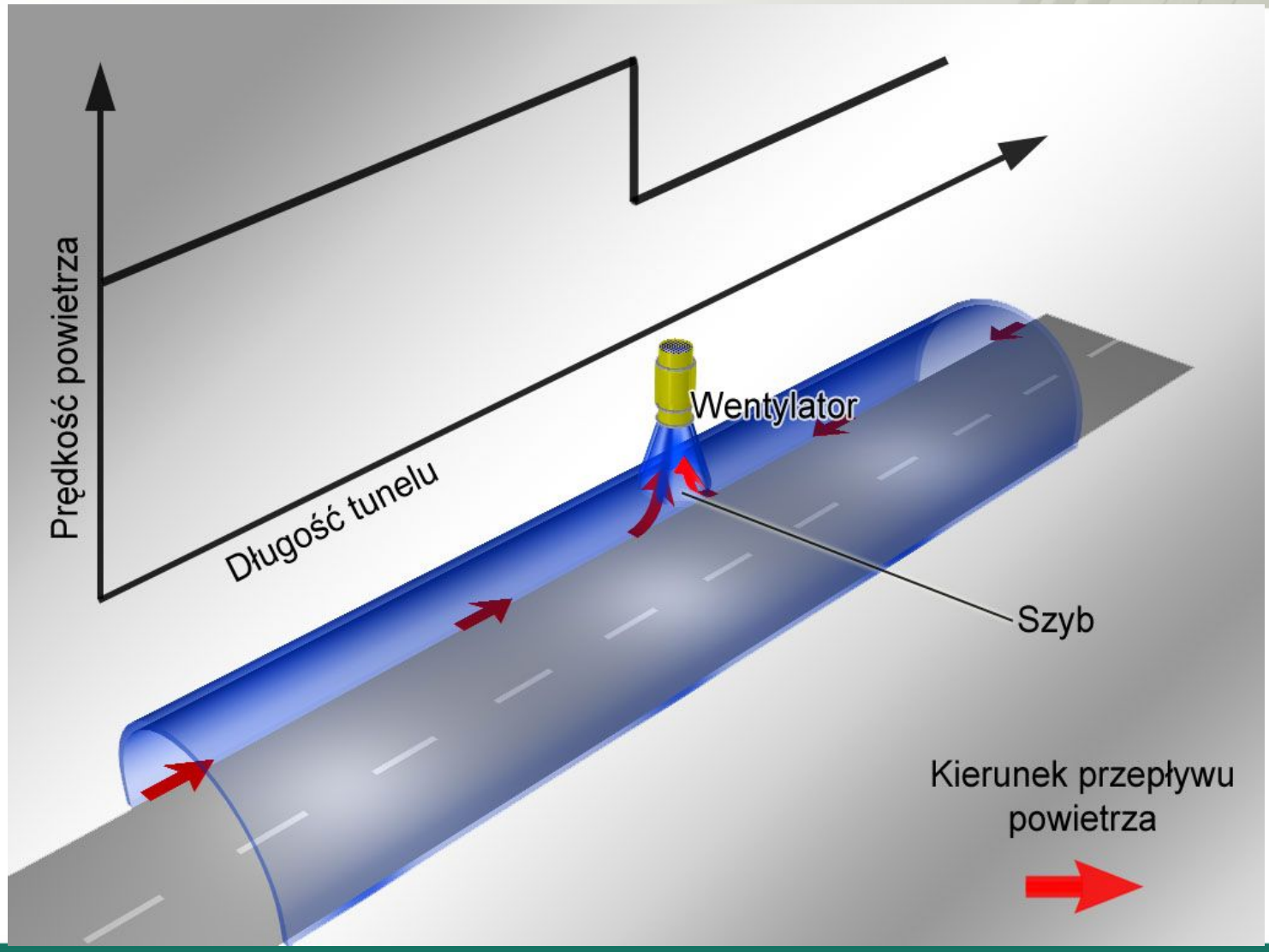


Systemy wentylacji wzdłużnej

Wentylacja naturalna w wielu przypadkach nie zapewnia uzyskania wymaganego wydatku strumienia powietrza w tunelu dlatego też, jest nieraz wspomagana depresją mechaniczną wentylatorów umieszczonych zazwyczaj w szybie lub szybach odprowadzających powietrze z tunelu.

System ten jest stosowany głównie w tunelach drogowych.

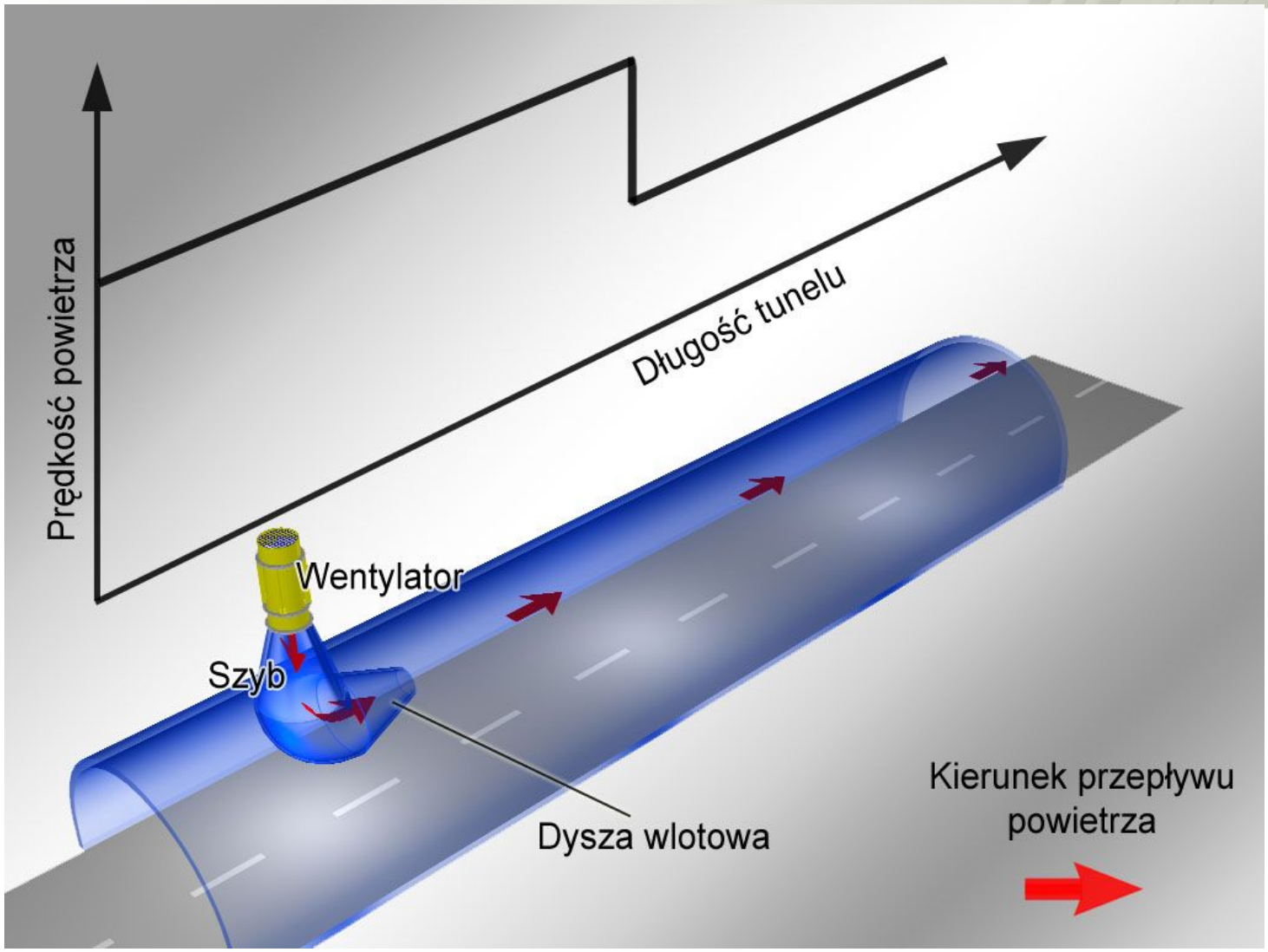
Systemy wentylacji wzdłużnej



Systemy wentylacji wzdłużnej

Saccardo Nozzle jest systemem stosowanym w tunelach o dużym natężeniu ruchu samochodowego. W tym rozwiązaniu powietrze jest wtłaczane do tunelu za pomocą wentylatora i specjalnego przewodu w formie dyszy intensyfikującej przepływ wzdłużny powietrza wytworzony przez depresję naturalną. Efektywność systemu zależy głównie od prędkości powietrza i wydatku strumienia powietrza wtłaczanego do tunelu oraz konstrukcji dyszy wylotowej. Systemy takie są niekorzystne przy ruchu dwukierunkowym.

Systemy wentylacji wzdłużnej



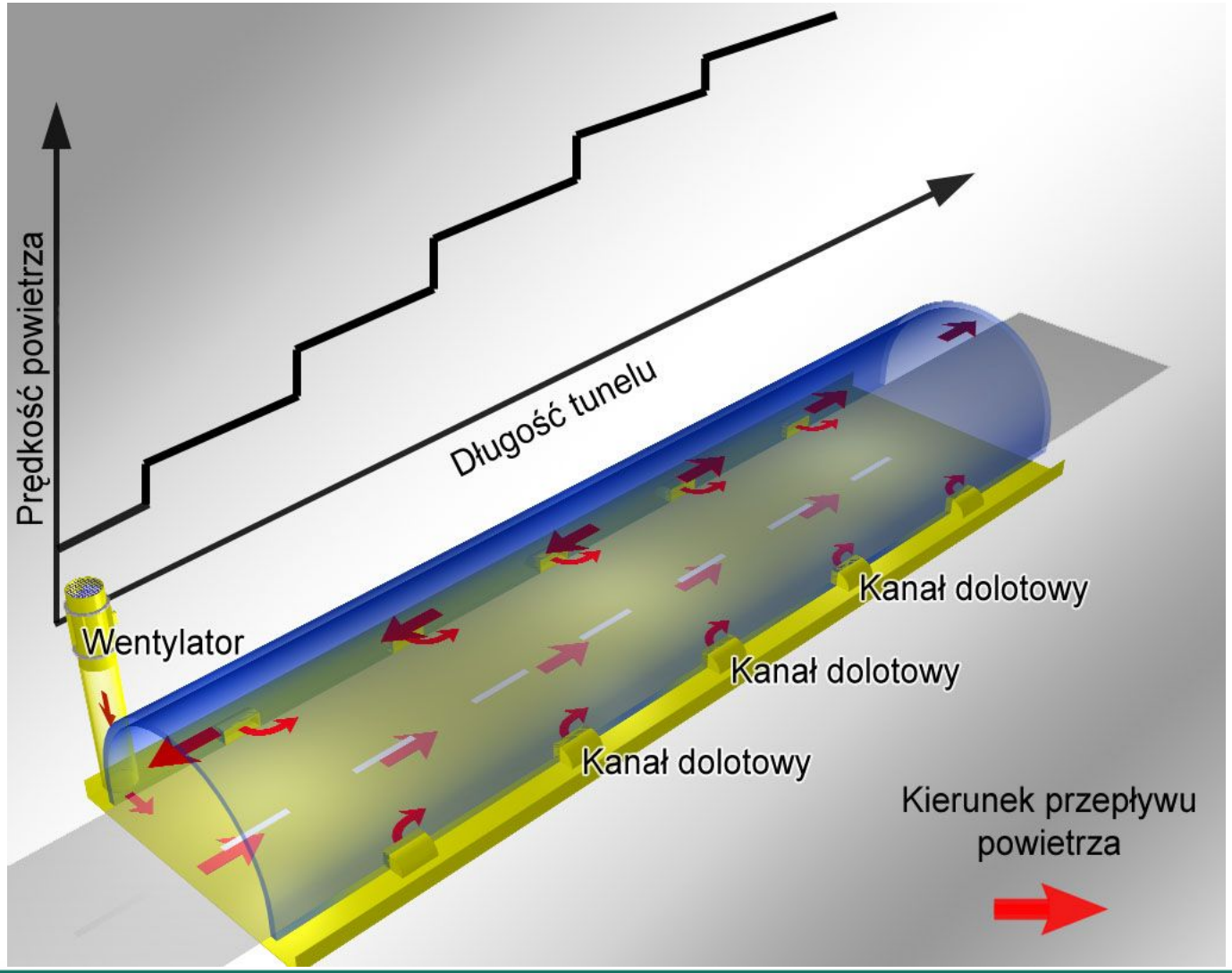
Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej

W systemach wentylacji poprzecznej działających głównie pod wpływem depresji mechanicznej powietrze w przekrojach wlotowych i wylotowych płynie w kierunku poprzecznym w stosunku do osi tunelu, natomiast pomiędzy tymi przekrojami przepływ powietrza jest wzdłużny, przy czym mogą wystąpić różnorodne modyfikacje systemu wynikające z uwarunkowań lokalnych.

W systemie wentylacji mechanicznej półpoprzecznej przyspągowej powietrze jest doprowadzane do wnętrza tunelu kanałami przyspągowymi i rozdzielane odpowiednio na całej długości tunelu za pomocą regulowanych otworów wentylacyjnych umieszczonych w niewielkiej wysokości od poziomu jezdni lub toru. Wentylacja półpoprzeczna przyspągowa zapewnia jednolity rozdział powietrza na całej długości tunelu.

Usytuowanie wylotów powietrza do tunelu w pobliżu jezdni tunelu umożliwia szybkie mieszanie się spalin z powietrzem od razu po wydostaniu się z układu wydechowego pojazdów.

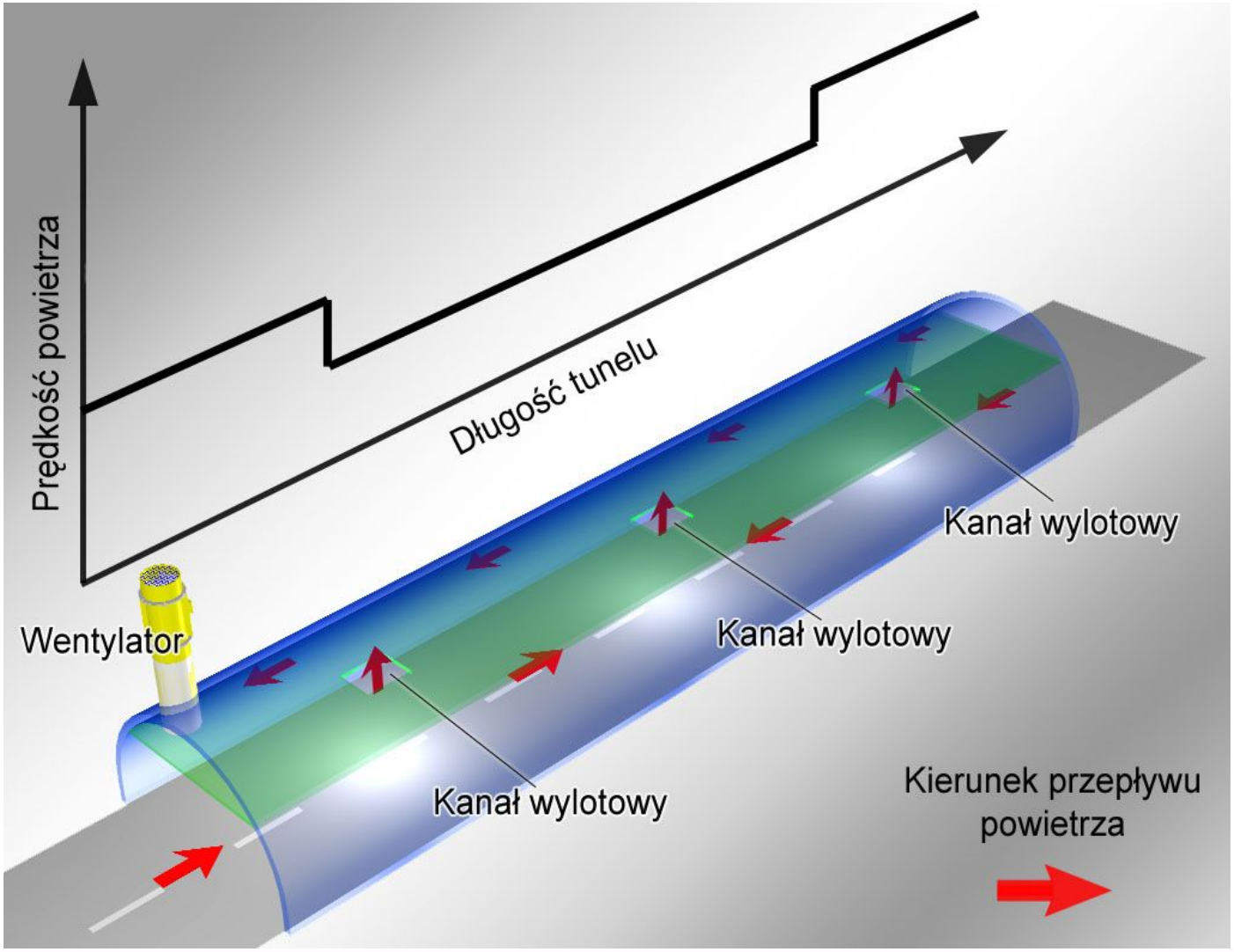
Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej



Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej

Cechą charakterystyczną wentylacji mechanicznej półpoprzecznej przystropowej jest to, że czyste powietrze wpływa do tunelu przez portale, a zanieczyszczone jest odprowadzane regulacyjnymi otworami do kanału lub kanałów wentylacyjnych znajdujących się w przystropowej części tunelu.

Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej

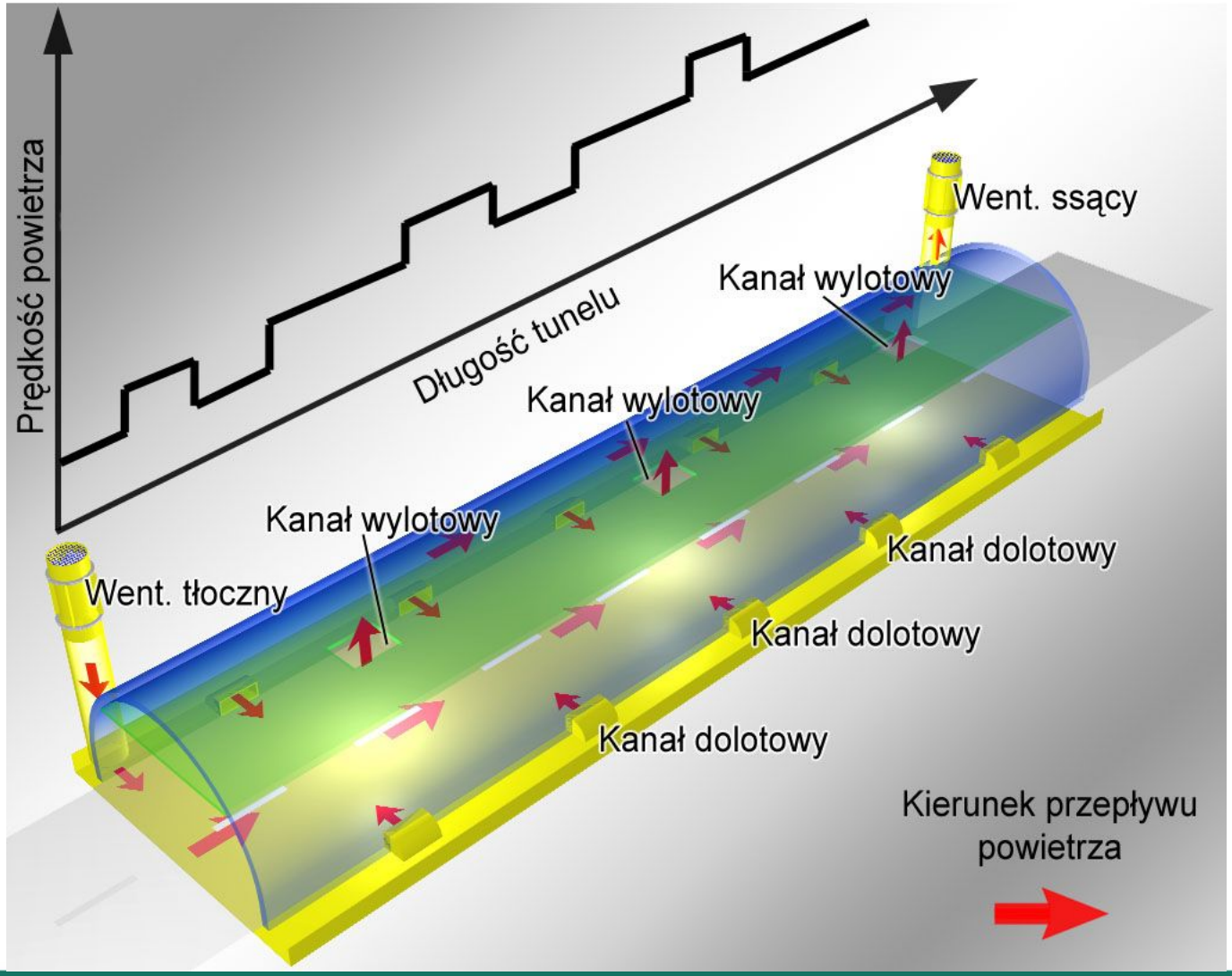


Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej

System wentylacji mechanicznej poprzecznej pełnej jest połączeniem wentylacji półpoprzecznej przyspągowej i wentylacji półpoprzecznej przystropowej. Powietrze zawierające zanieczyszczania stałe i gazowe jest odprowadzane przez kanały wylotowe znajdujące się przy stropie, a powietrze świeże jest doprowadzane przez kanały wlotowe rozmieszczone przy spągu.

Wentylacja mechaniczna poprzeczna pełna zazwyczaj jest stosowana dla przewietrzania długich tuneli i zagrożonych dużymi ilościami zanieczyszczeń stałych i gazowych. System ten zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa, szczególnie w przypadkach wystąpienia zagrożenia pożarowego.

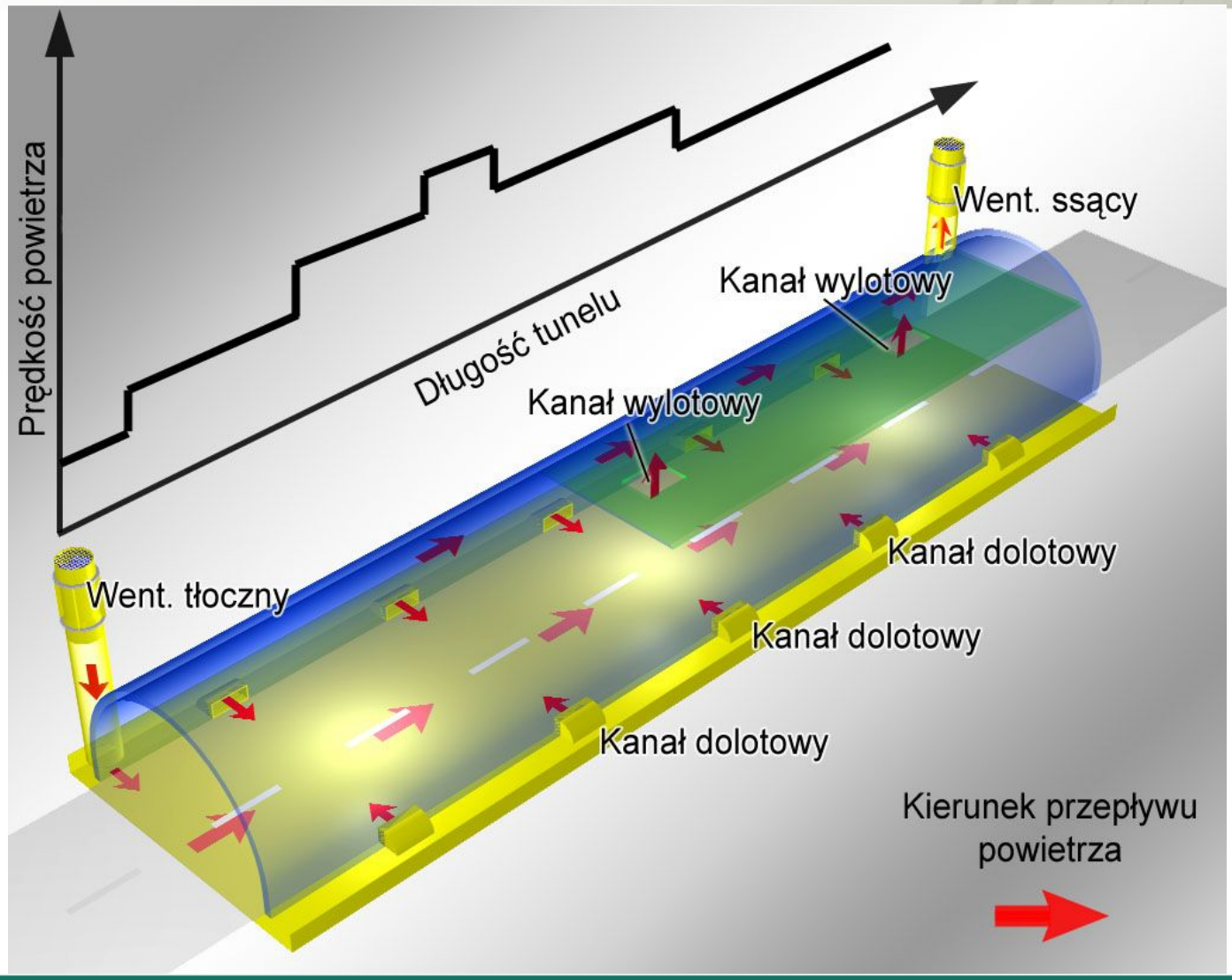
Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej



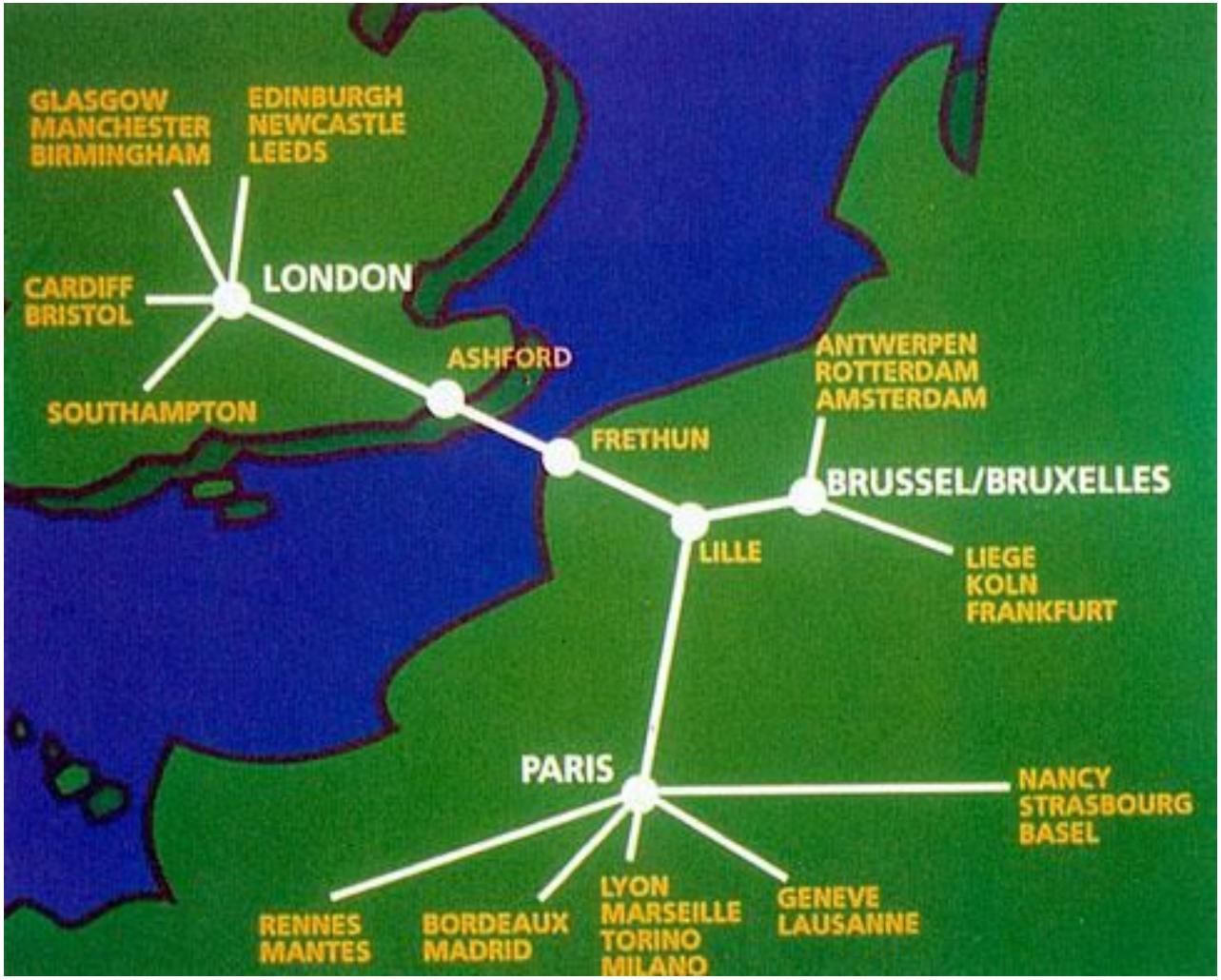
Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej

Stosowane są także mieszane systemy wentylacji tuneli, łączące systemy wentylacji półpoprzecznej przyspągowej i wentylacji półpoprzecznej przystropowej.

Systemy wentylacji mechanicznej poprzecznej



Wentylacja EUROTUNELU




Rotterdam (Europoort)
Harwich
Hull
GROSSBRITANNIEN
Oxford
Luton
High Wycombe
London
Southend-on-Sea
Thames
Reading
Chatham
Ramsgate
B. Zeebrugge
Ostende
(Oostende)
Brügge
Maidstone
Crawley
Dover
Straße von Dover
Southhampton
Folkestone
Dünkirchen
(Dunkerque)
Calais
BELGIEN
Brigthon
Dungeness
Kortrijk
Newhaven
Portsmouth
Newport
Boulogne
sur-Mer
Tourcoing
Lille
Le Touquet-
Paris-Plage
Béthune
Douai
Lens
St-Malo
Cherbourg
Der Kanal
Abbeville
Somme
Nord
Dieppe
Amiens
Le Havre
Fécamp
Canal du
Chauny
Seine
Rouen
Beauvais
Seinebucht
Oise
Deauville
Creil
Caen
Vernon
FRANKREICH
Mantes
Paris
St-Quentin
Orne
Aisne
1:3000000
0 10 20 50
km
Wirtschaftsraum
Eurotunnel, nur Eisenbahnverkehr mit
Fährverbindung über den Kanal

Wentylacja EUROTUNELU

Eurotunel jest tunelem przeznaczonym do komunikacji kolejowej. Tunel 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 z 30 metrową odległością pomiędzy rurami.

EUROTUNEL

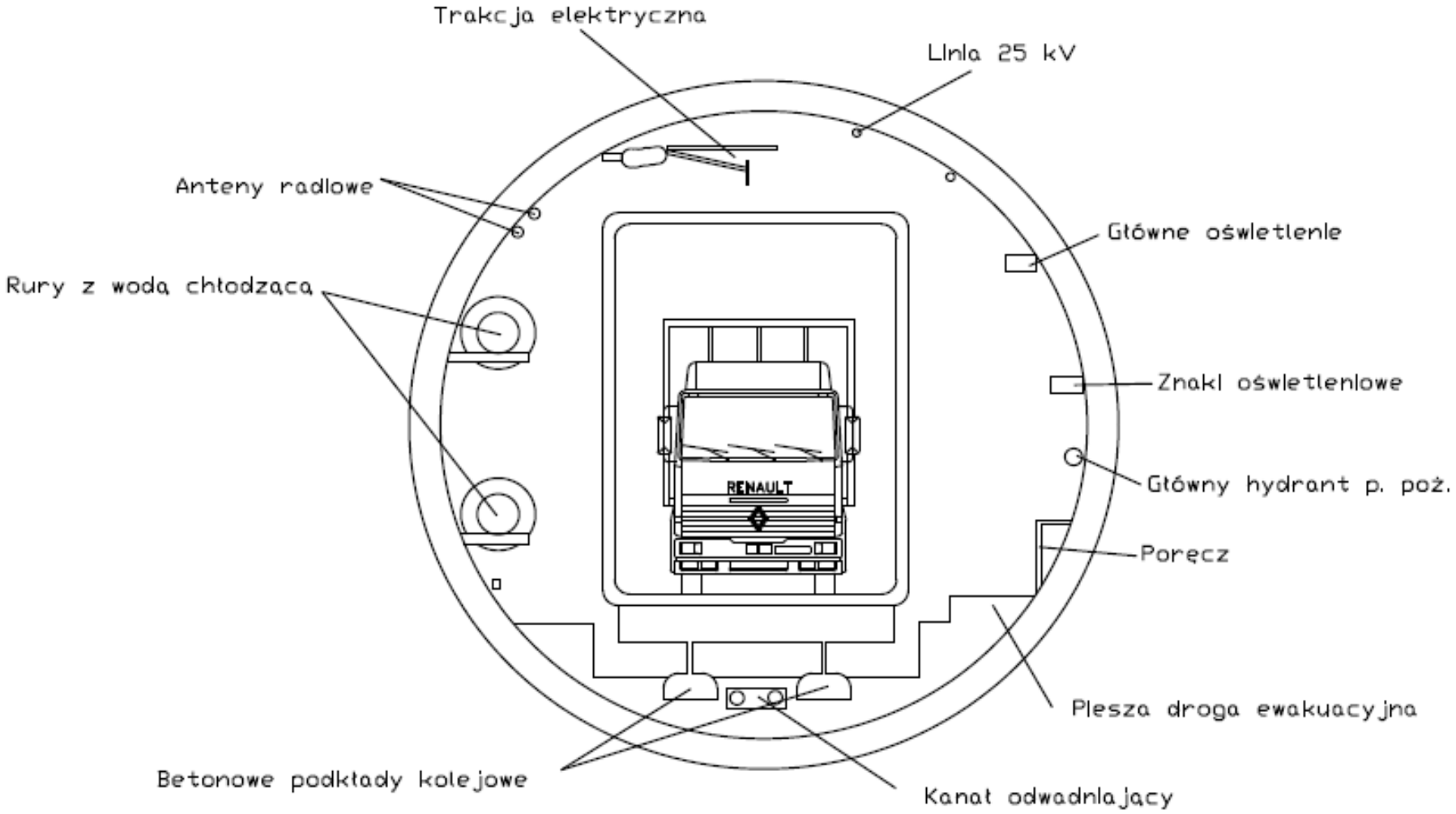


VUE GÉNÉRALE

GENERAL VIEW FIGURE 1

EUROTUNEL





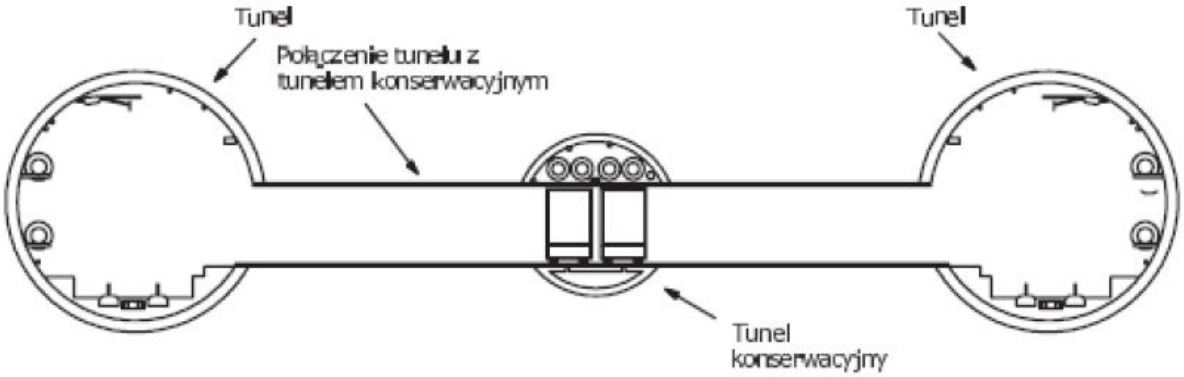
Jeden z dwóch tuneli przeznaczony do komunikacji kolejowej, samochodów ciężarowych, o średnicy 7.6 m



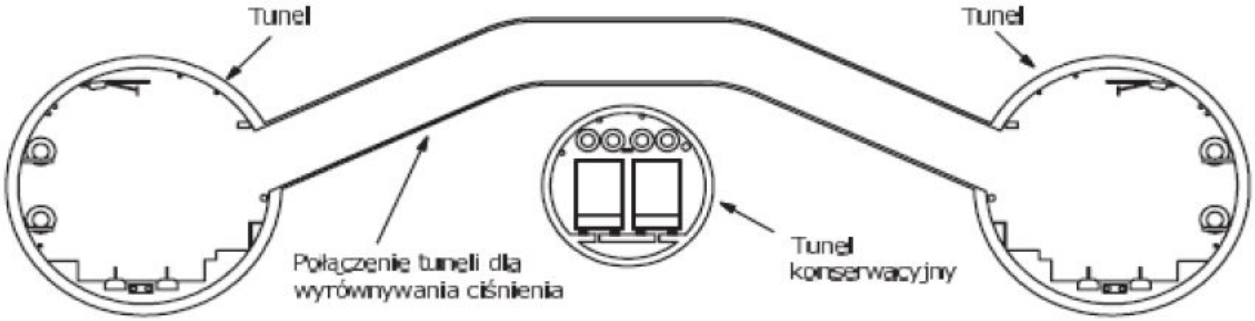


Leżąca pośrodku rura tunelu ma 4,8 m średnicy wewnętrznej i służy jako tunel konserwacyjny jak i tunel ratunkowy dla obu tunel kolejowych

EUROTUNEL



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



Połączenia poprzeczne pomiędzy dwoma tunelami komunikacyjnymi dla wyrównywania ciśnienia

Przekroje pomiędzy trzema tunelami kanału

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

EUROTUNEL

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).

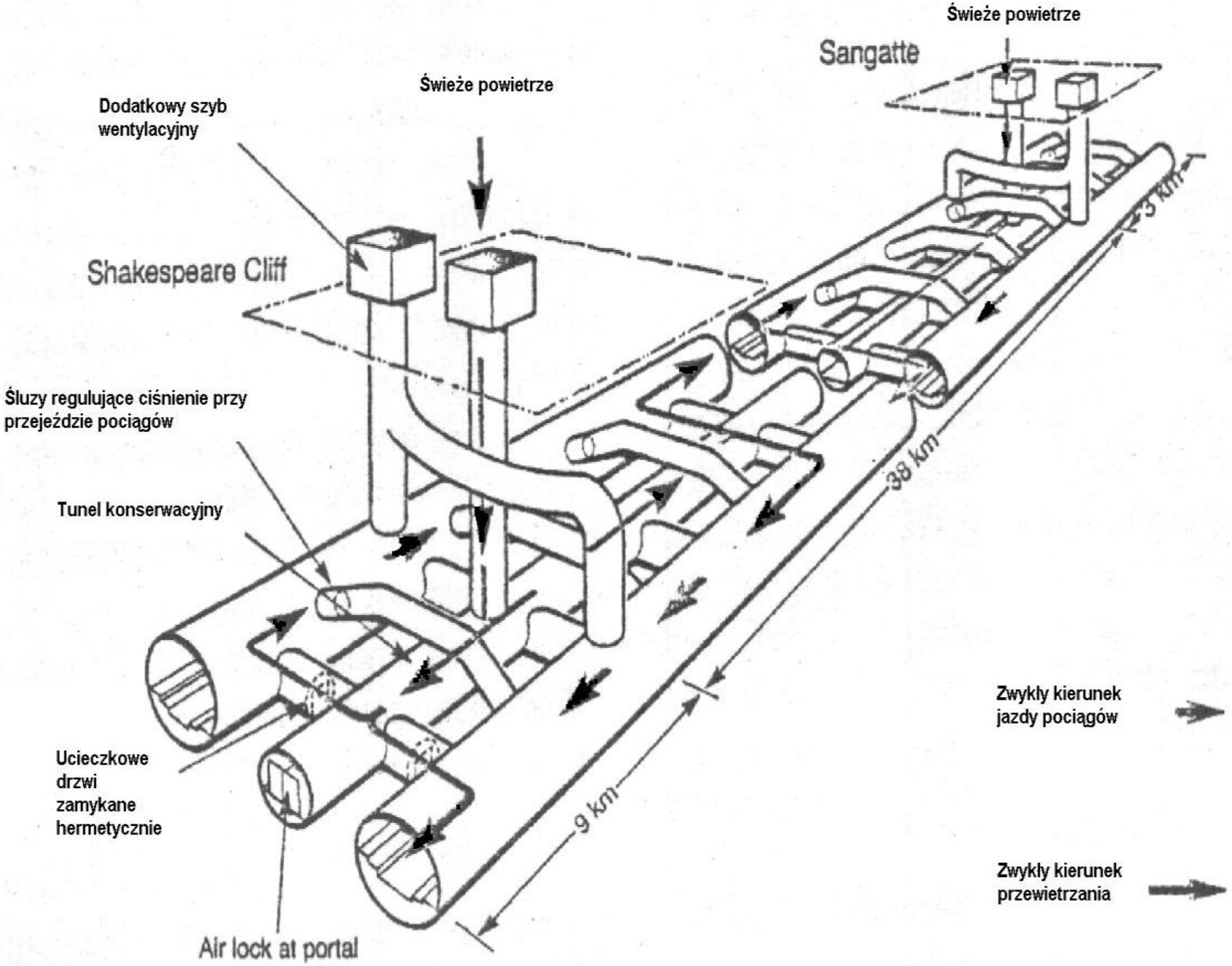
Załadunek pojazdów samochodowych na pociągiem wahadłowe odbywa się w specjalnie urządzonych terminale po stronach francuskiej i brytyjskiej połączonych z sieciami autostrad.

<u>Komunikacja w tunelu</u>

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

Eurotunel przewietrzany jest systemem mieszanym wzdłużnym 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 m3/s są wtłaczane za pomocą 2 stacji wentylatorów zabudowanych w rejonie każdego portalu.


Świeże powietrze
Sangatte
Świeże powietrze
Dodatkowy szyb wentylacyjny
Shakespeare Cliff
3 km
Śluzy regulujące ciśnienie przy przejeździe pociągów
38 km
Tunel konserwacyjny
Zwykły kierunek jazdy pociągów
Ucieczkowe drzwi zamykane hermetycznie
9 km
Zwykły kierunek przewietrzania
Air lock at portal

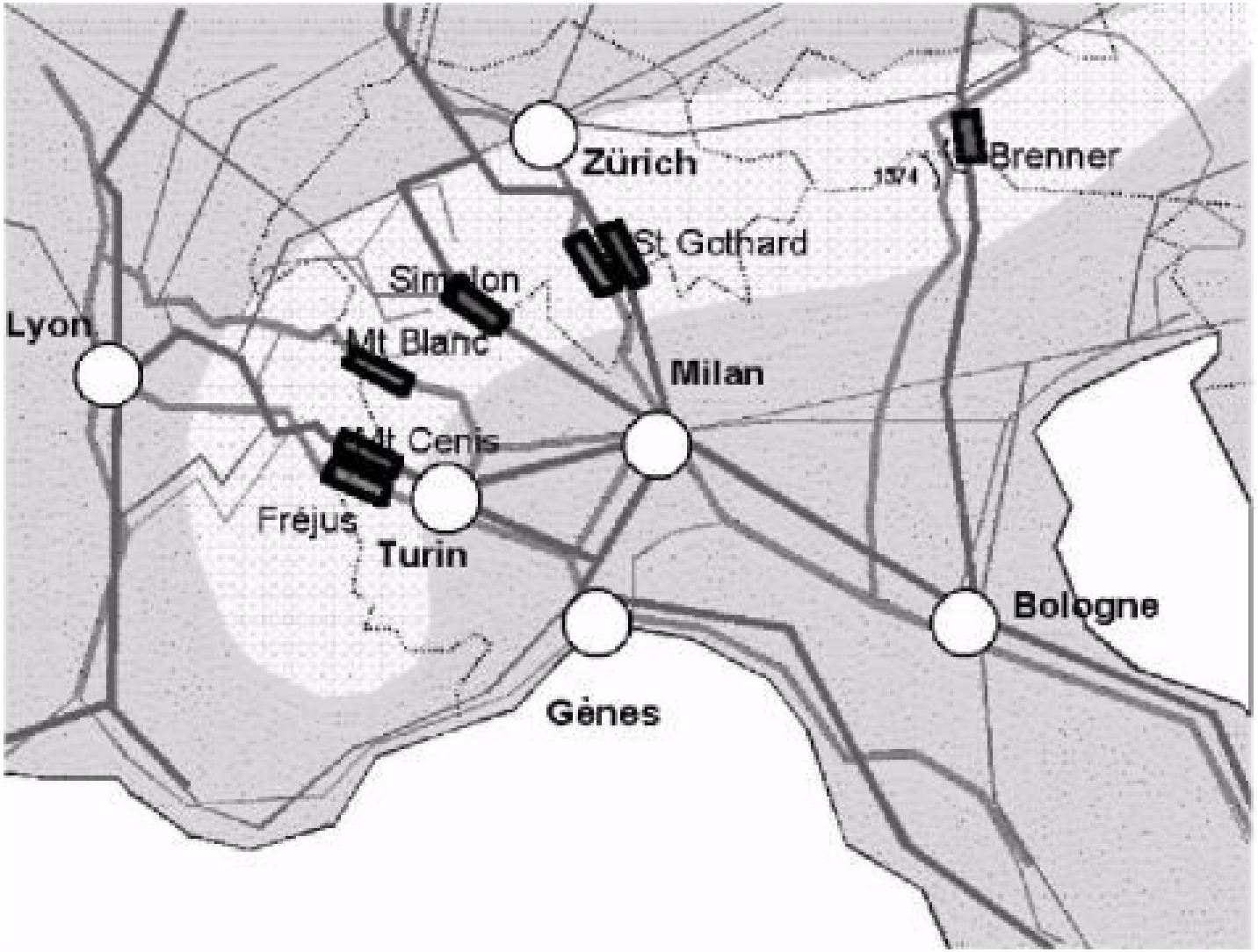
TUNEL MONT BLANC

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 Chmonix (Francja) i Courmayeur Włochy.
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 m^2	

TUNEL MONT BLANC



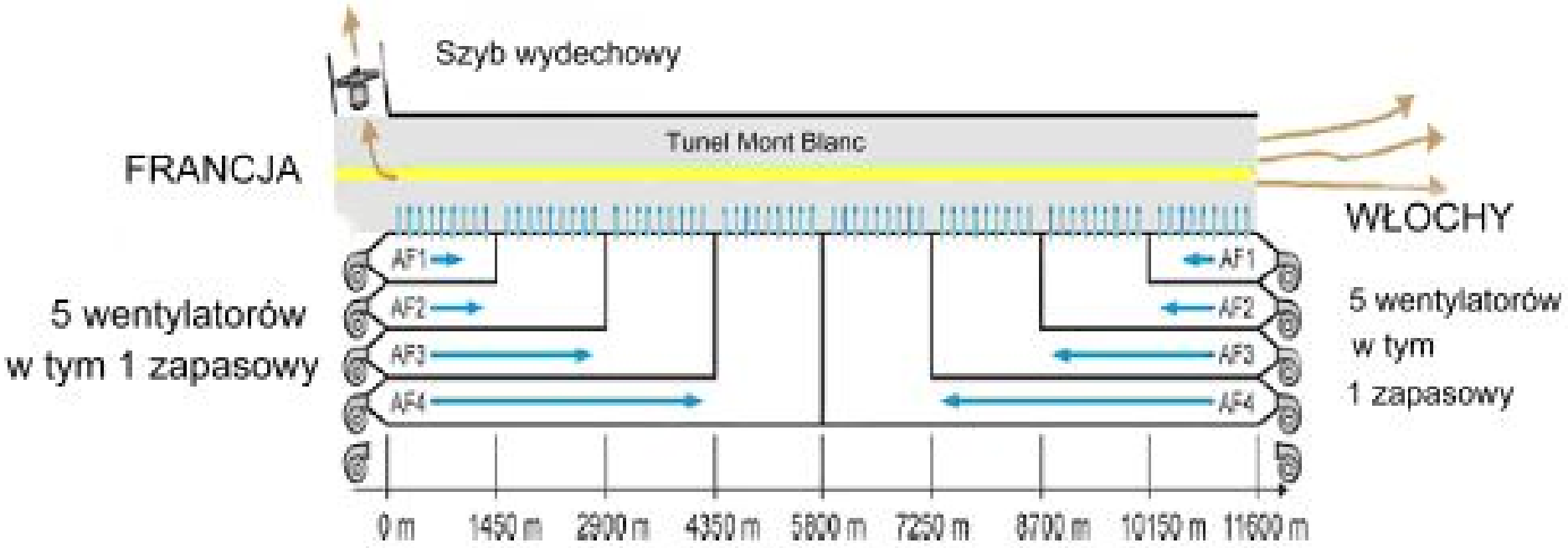
WENTYLACJA TUNELU MONT BLANC

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.

Schemat wentylacji tunelu Mont Blanc

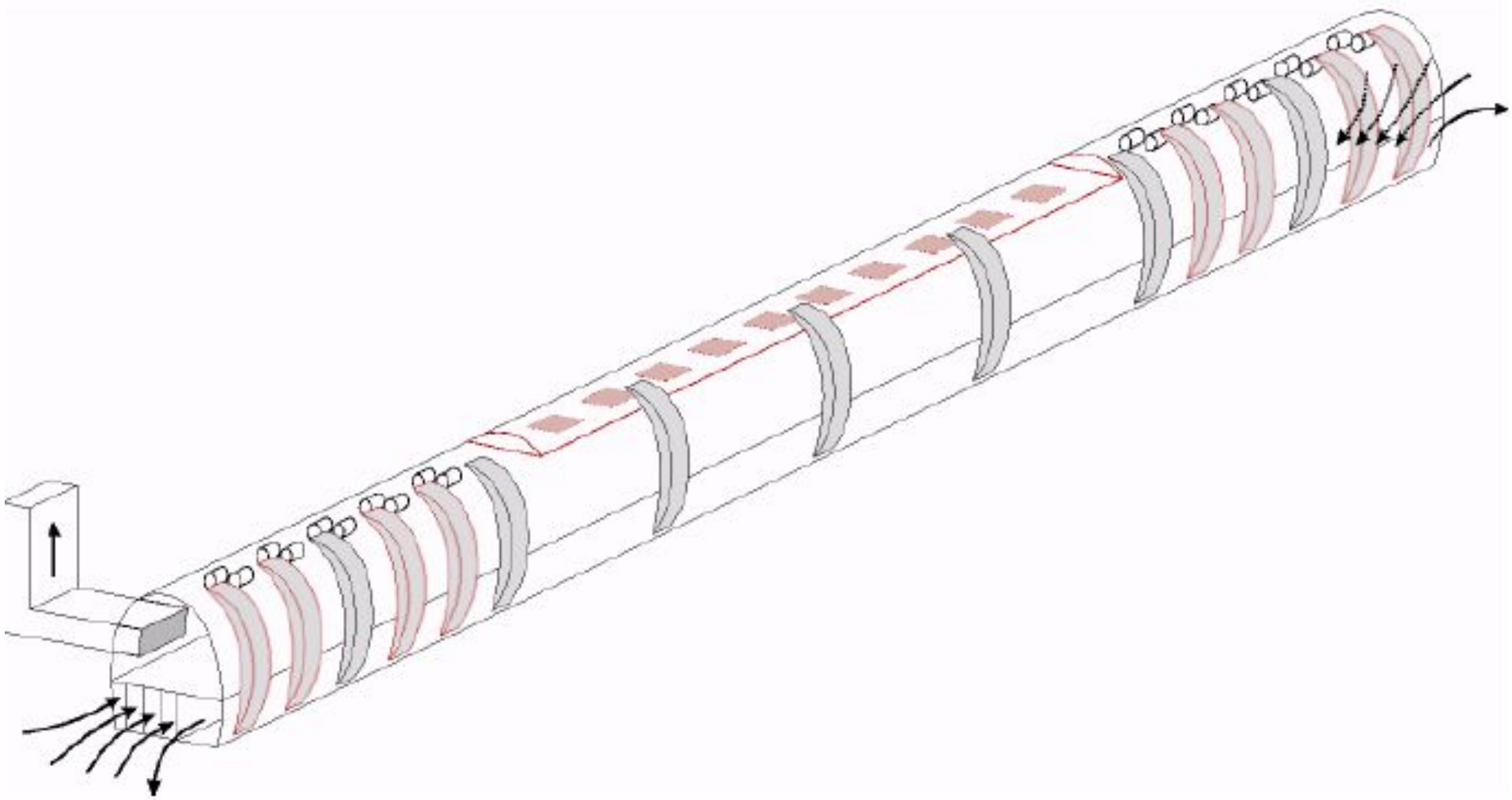


WENTYLACJA TUNELU MONT BLANC

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.
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.

Sposób przewietrzania tunelu Mont Blanc



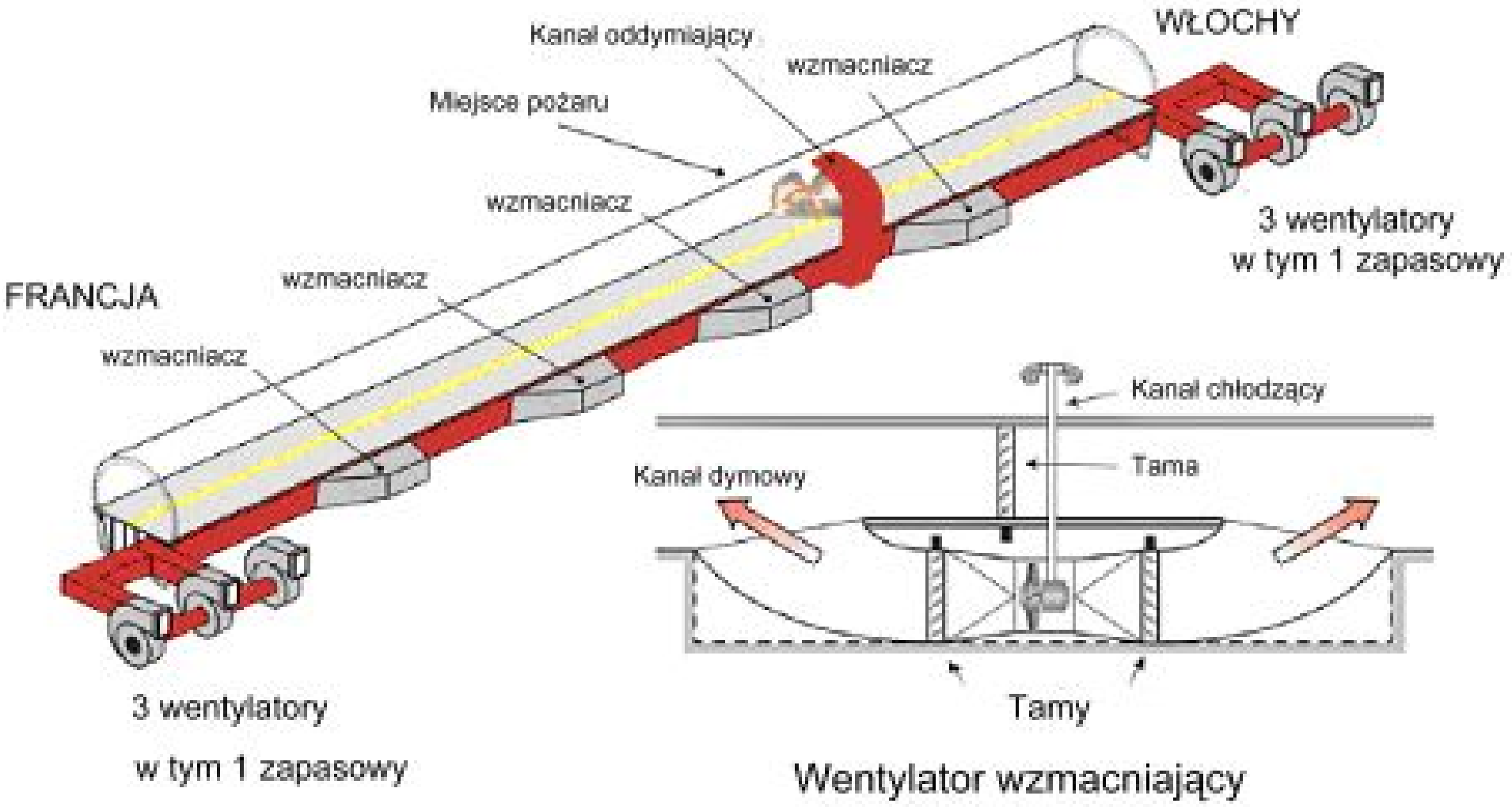
WENTYLACJA TUNELU MONT BLANC

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

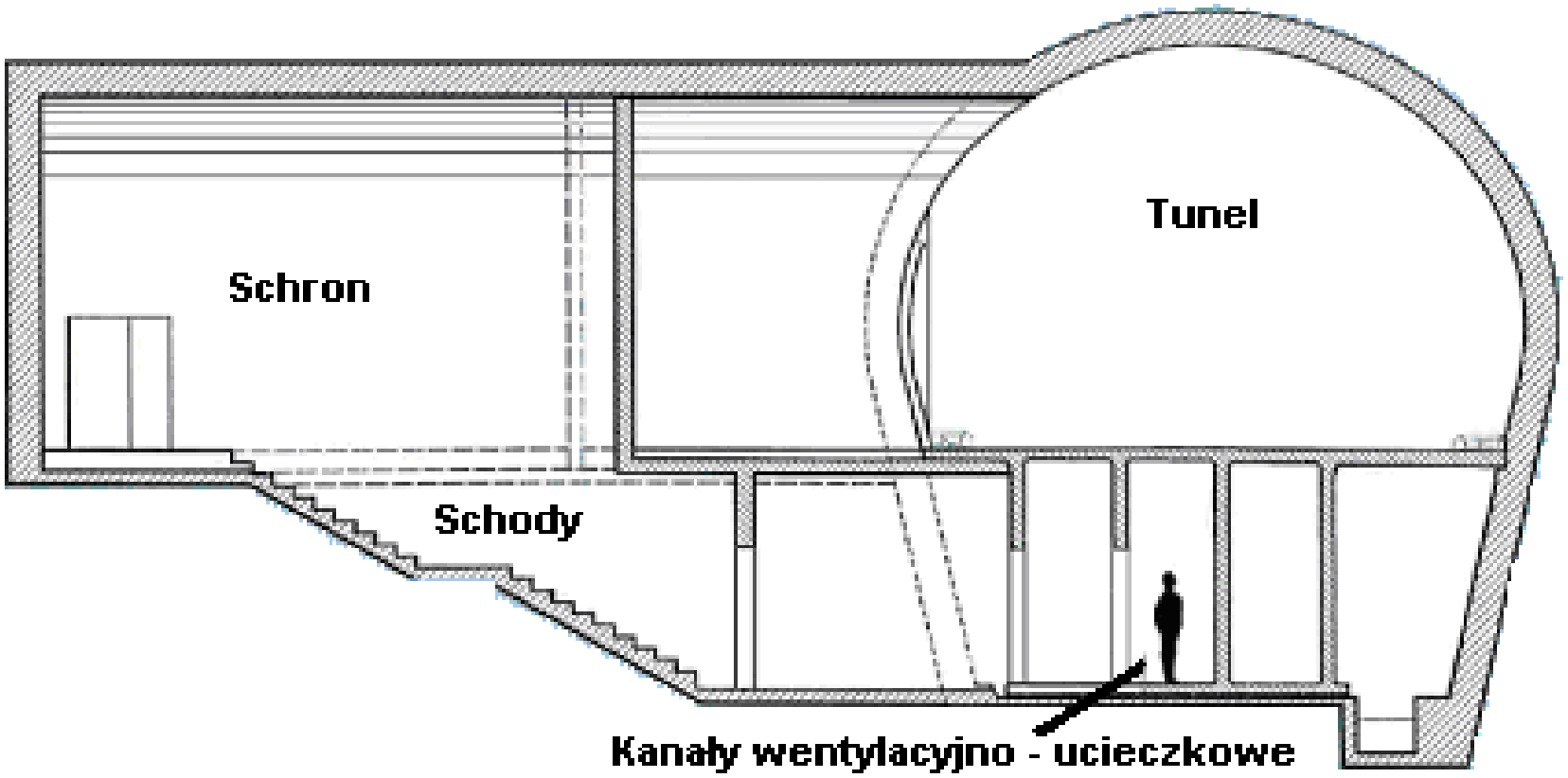
- meteorologiczna różnica ciśnienia między portalami,
- aero-termalne z powodu wyższej temperatury wewnątrz tunelu.

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

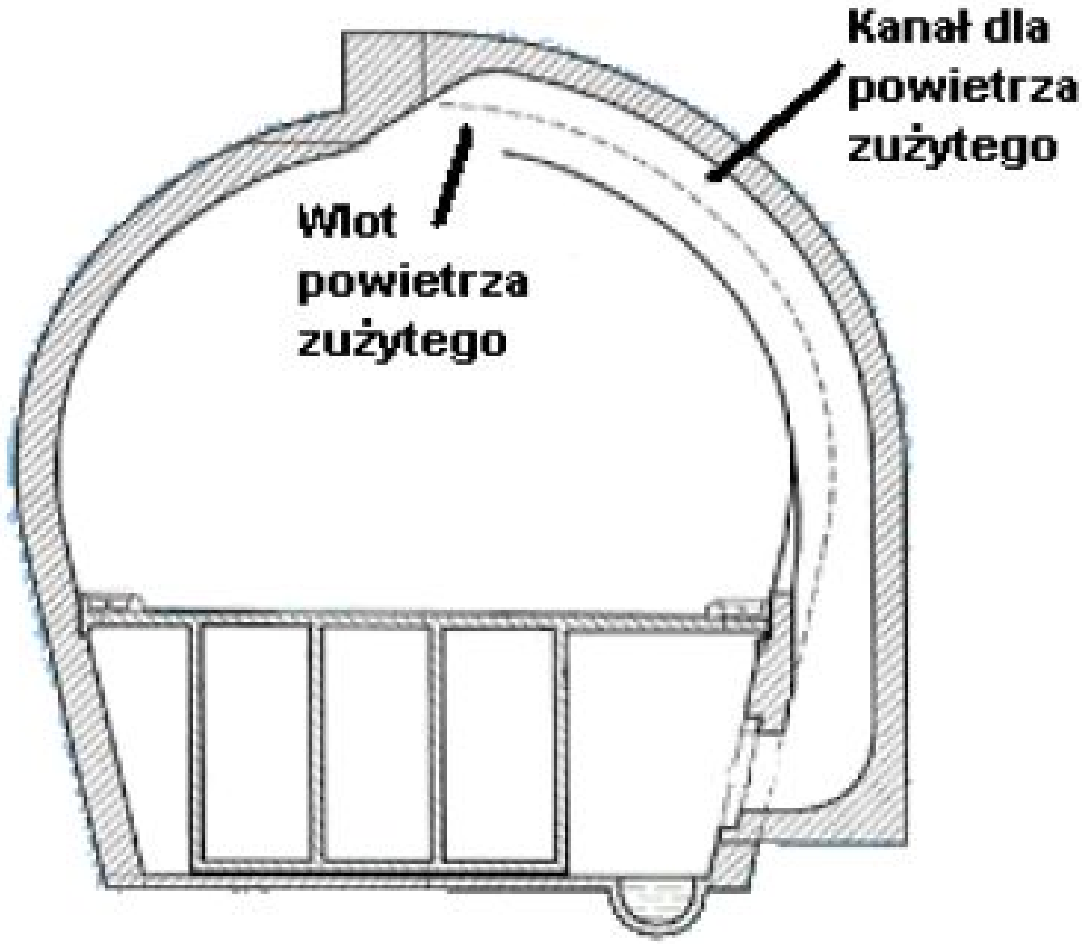
Schemat instalacji oddymiającej



Przekrój poprzeczny przez tunel , schron oraz kanały wentylacyjno-ucieczkowe



Przekrój poprzeczny przez tunel z zaznaczeniem kanałów wentylacyjnych



WENTYLACJA TUNELU MONT BLANC

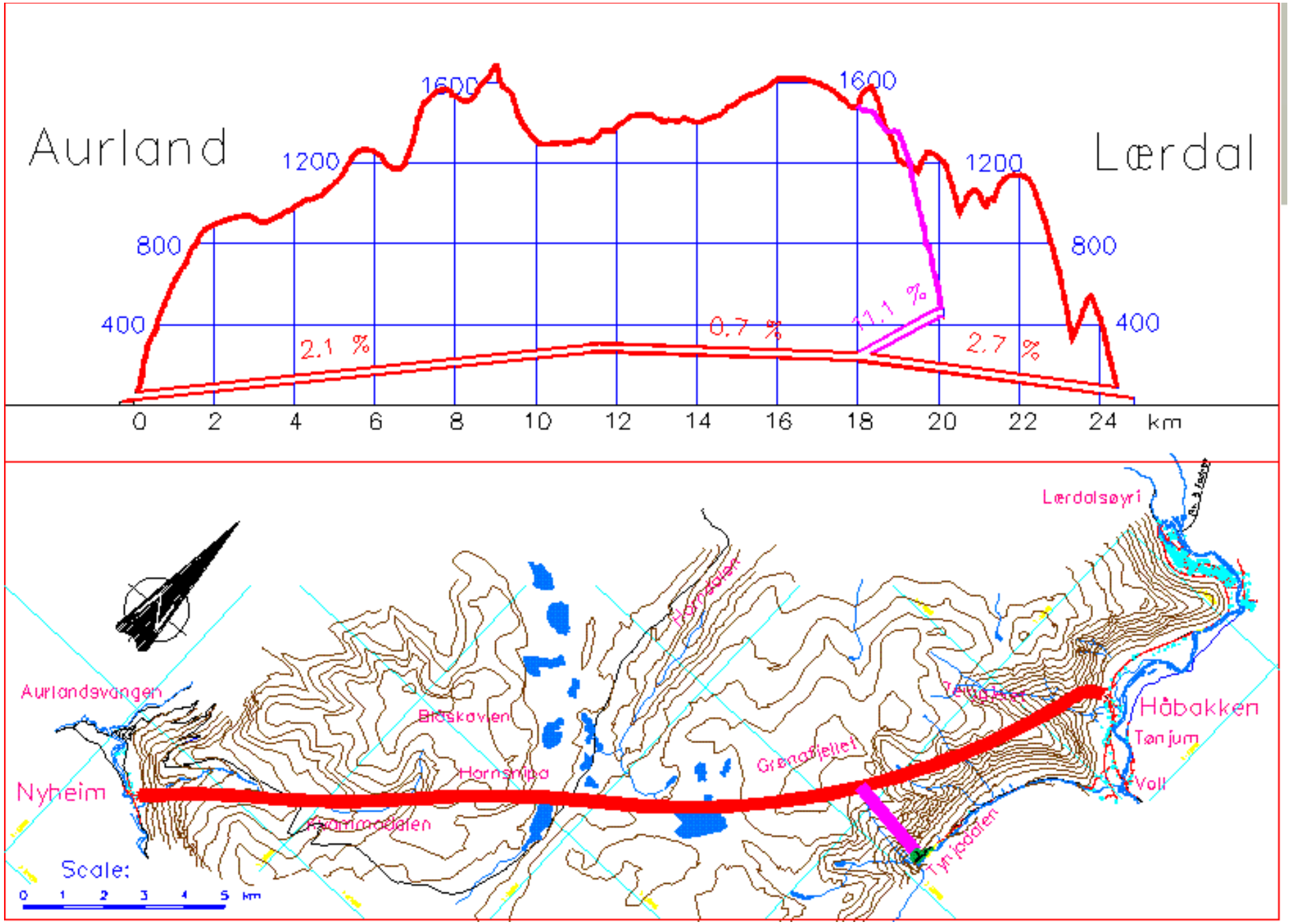
System wentylacyjny jest sterowany komputerowo, w związku z czym zaszła potrzeba dostarczenia danych, dzięki którym komputer mógłby określić parametry wentylacyjne.

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.

TUNEL – LEARSDAL

Tunel „Leardal” , wybudowany w latach 1995 a 2000, jest obecnie najdłuższym tunelem drogowym na świecie – 24 510 m. 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.


Aurland
Lærdal
1600
1600
1200
1200
800
800
400
400
2.1 %
0.7 %
11.1 %
2.7 %
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
km
Lærdalsøyri
Aurlandsvangen
Nyheim
Bleskavlen
Hornsnipa
Grønafjellet
Håbakken
Tønjum
Voll
Scale:
0 1 2 3 4 5 km

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.

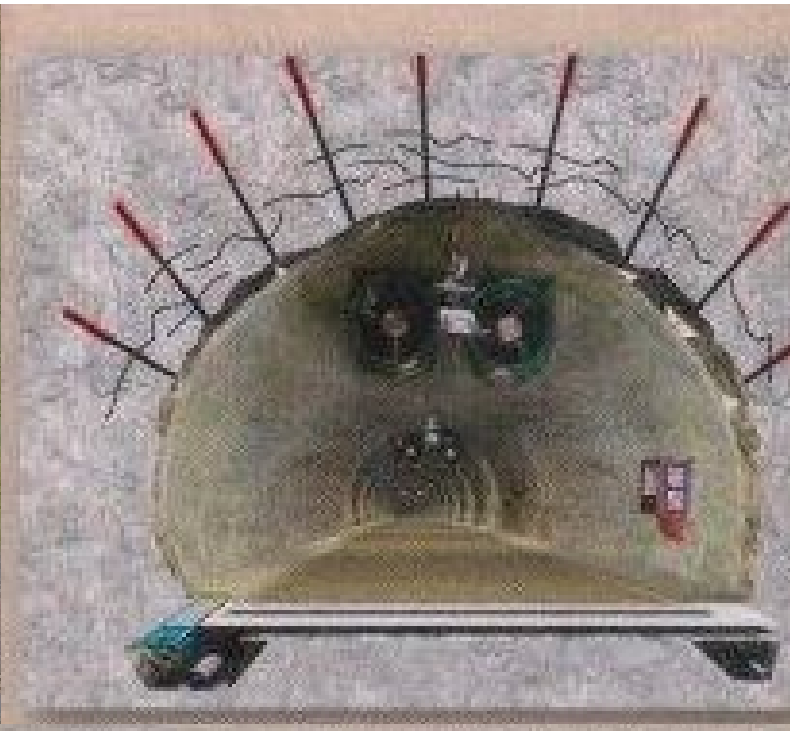
Jakość powietrza jest stymulowana poprzez dwa rozwiązania:

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.



Lærdaleingang



Schema der Luftreinigungsanlage

Stacja uzdatniania powietrza w tunelu



Dziękuję za uwagę