



VI MIĘDZYNARODOWE FORUM TUNELOWE

Najnowsze trendy w monitoringu
atmosfery w tunelach na przykładzie
obiektów w Świnoujściu i na świecie

Krzysztof Filipowski (Pentol)

Ewa Gancarczyk (Pentol)

James Matley (Codel)



PENTOL

CODEL

A Forbes Marshall Company

Monitoring atmosfery jest częścią systemu sterowania wentylacją tunelu

Realizuje następujące funkcje:

- Uruchamia odpowiednią sekcję wentylacji w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości stężeń monitorowanych substancji
- W przypadku pożaru zapewnia powietrze nadające się do oddychania w strefach przebywania ludzi, a jednocześnie zapobiega podsycaniu pożaru
- Jest źródłem sygnału zamykającego tunel w przypadku przekroczenia stężeń granicznych



WIELKOŚCI MIERZONE W RAMACH MONITORINGU ATMOSFERY W TUNELACH

- Przejrzystość powietrza (widoczność) – pośrednio mierzy się zawartość cząstek stałych
- Tlenek węgla
- Tlenki azotu (NO i NO₂)
- Prędkość i kierunek przepływu powietrza
- Temperatura i ciśnienie (wielkości pomocnicze)

ZAKRES POMIARÓW TUNELOWYCH

na przykładzie firmy Codel International



TunnelTech 205

Analizator optyczny NO₂
Bardzo precyzyjny przyrząd do pomiaru szerokiego zakresu stężeń - od wartości w ppb



TunnelTech 601

Usytuowany przy wlocie do tunelu miernik luminancji służący do dostosowania oświetlenia tunelu do intensywności światła na zewnątrz



TunnelTech seria 200
Optyczne analizatory do pomiaru stężeń CO i NO oraz przejrzystości powietrza.



TunnelTech 305
Miernik predkości i kierunku przepływu powietrza (punktowy)

Transmisja danych
szeregowo przez RS485 w protokole ModBus lub analogowo 4-20mA



TunnelTech 801

Miernik prędkości i kierunku przepływu powietrza liniowy (na szerokości tunelu)
Model podstawowy



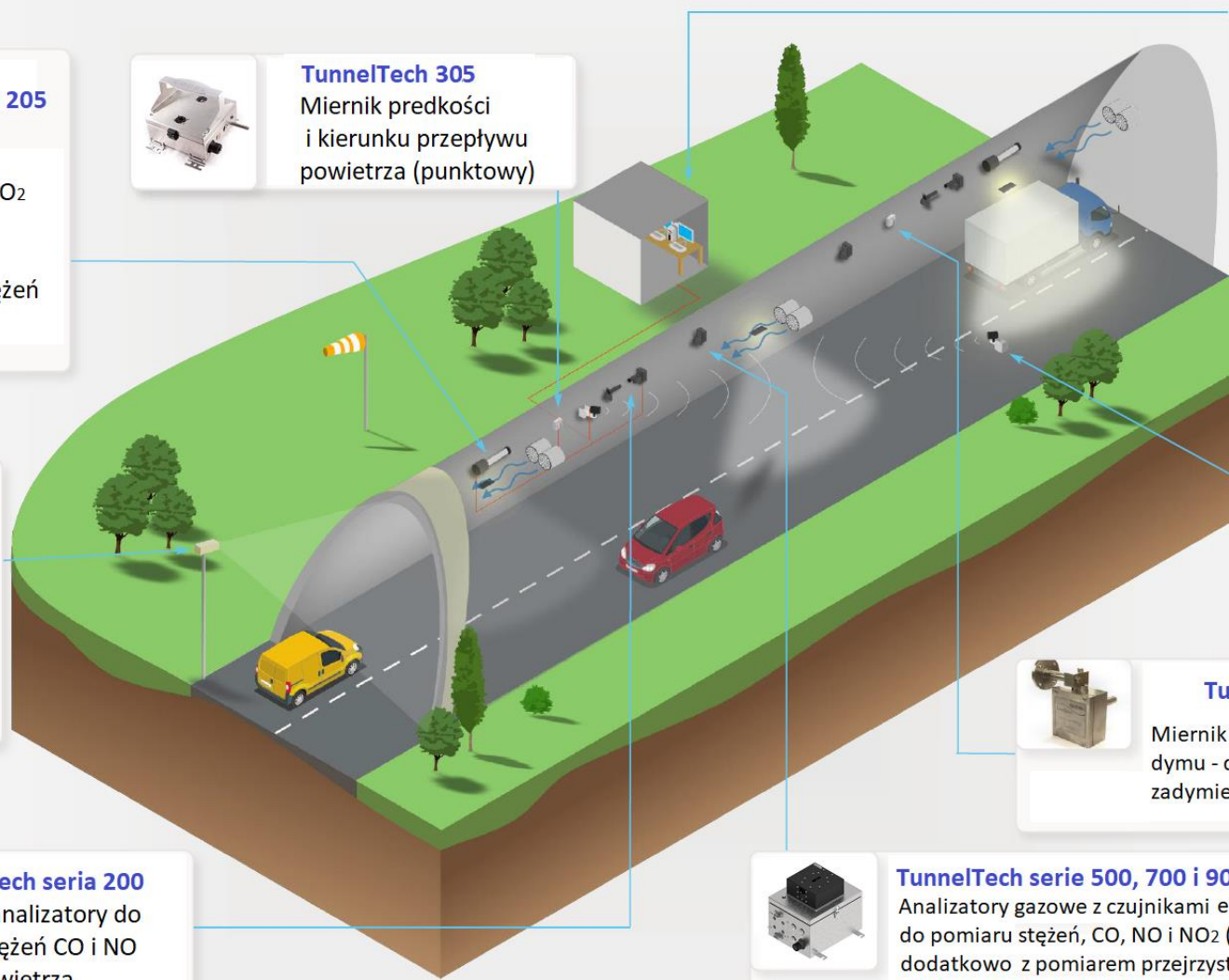
TunnelTech seria 100

Miernik przejrzystości lub zimnego dymu - do selektywnego wykrywania zadymienia od pożaru



TunnelTech serie 500, 700 i 900

Analizatory gazowe z czujnikami elektrochemicznymi do pomiaru stężeń, CO, NO i NO₂ (seria 700 i 900 dodatkowo z pomiarem przejrzystości powietrza)
Seria 900 jest obecnie modelem podstawowym



TLENEK WĘGLA

- Spowodowane głównie niezupełnym spalaniem paliwa w silnikach
- CO jest gazem bardzo toksycznym
+100ppm jest szkodliwe
+4000ppm może być śmiertelne

TLENEK AZOTU

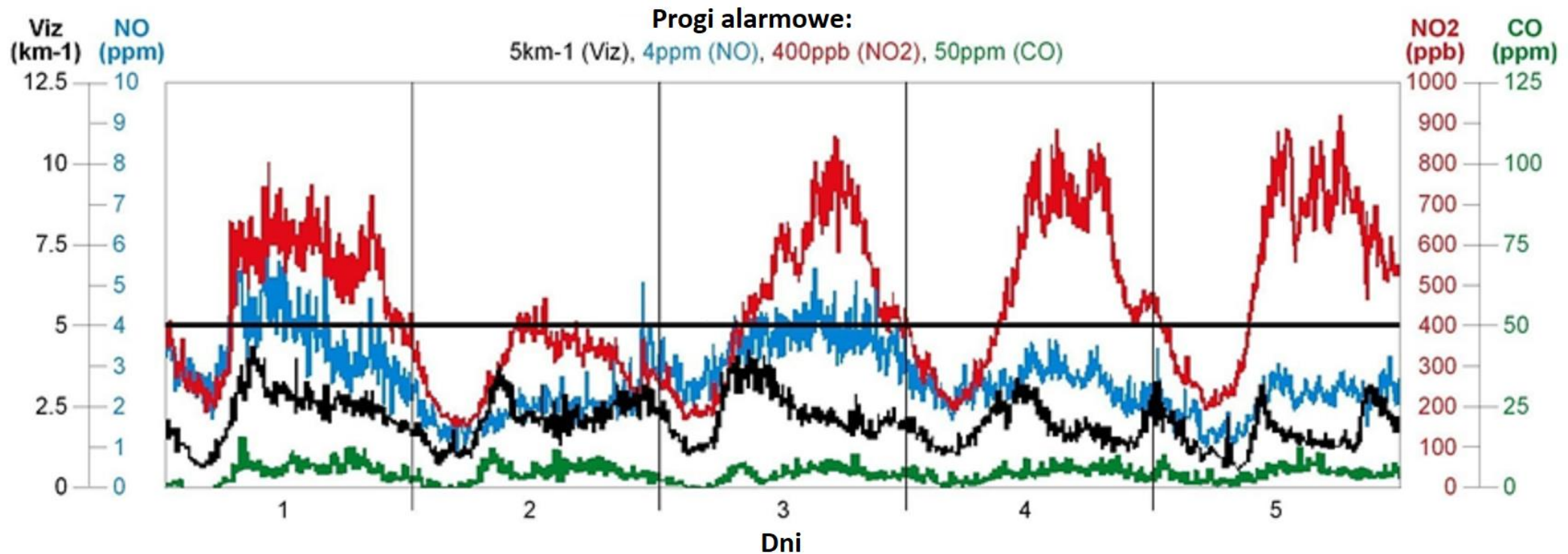
- Emitowane przez wszystkie typy silników ale głównie przez silniki diesla
- Dwutlenek azotu (w odróżnieniu od tlenku azotu) jest wysoko toksyczny już w niskich dawkach, mimo że nie zagraża śmiercią w krótkim czasie jak CO a „tylko” powoduje przedwczesne zgony
- Stężenia NO₂ wyższe od 1ppm już są szkodliwe dla zdrowia
- Dla astmatyków próg szkodliwości NO₂ jest niższy i wynosi 0,1ppm

POMIAR NO₂

Czy potrzebny jest pomiar dwutlenku azotu (NO₂)?

- Konieczność pomiaru NO₂ uzasadniona jest wysoką toksycznością tego gazu (tlenek azotu NO w stężeniach występujących w tunelu nie uchodzi za toksyczny).
- Wcześniej zakładano, że pomiar NO, technicznie i cenowo łatwy w realizacji wystarczy, ponieważ na jego podstawie będzie również można oszacować poziom stężenia NO₂. Badania wykazały jednak, że proporcja NO i NO₂ może zmieniać się w bardzo szerokim zakresie. Pokazano to na następnym slajdzie przedstawiającym przykładowe wyniki takiego badania w jednym z tuneli we Francji.

PORÓWNANIE STĘŻEŃ NO I NO₂



Typowe poziomy zanieczyszczeń w tunelu
(dane z tunelu de Fourvière we Francji)

Konkluzja: pomiar stężenia NO nie jest miarodajny do określenia stężenia NO₂

CO NA TO POLSKA LEGISLACJA?

§ 292 aktualnej wersji (z 2019 r.) Rozporządzenia nr 735 Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie mówi:

„§ 292. 1. Wentylacja tuneli drogowych powinna być ustalona na podstawie wartości progowych stężeń tlenku węgla (CO) i ditlenku azotu (NO₂) w powietrzu w tunelu oraz widoczności, określonych w tabeli:

Rodzaj ruchu pojazdów w tunelu	Stężenie tlenku węgla (CO)	Stężenie ditlenku azotu (NO ₂) ¹⁾	Widoczności	
			współczynnik absorpcji <i>K</i>	transmitancja światła <i>S</i> ²⁾
Płynny z prędkością 50–100 km/h	70 ppm	1 ppm	0,005 m ⁻¹	60%
Utrudniony codziennie zatorami, zatrzymany na wszystkich pasach ruchu	70 ppm	1 ppm	0,007 m ⁻¹	50%
Ograniczony wyjątkowo zatorem, zatrzymany na wszystkich pasach ruchu	100 ppm	1,5 ppm	0,009 m ⁻¹	40%
Długotrwałe prace w tunelu	30 ppm	0,3 ppm	0,003 m ⁻¹	75%

¹⁾ Średnie stężenie na całej długości tunelu.
²⁾ Dla odcinka 100 m.

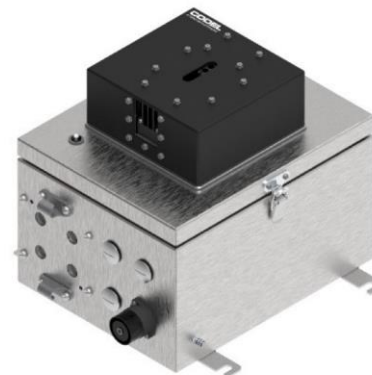
2. Tunel drogowy z wentylacją mechaniczną powinien być wyposażony w urządzenia monitorujące jakość powietrza w tunelu i urządzenia służące do zamykania go dla ruchu w przypadku, gdy:

- 1) stężenie tlenku węgla (CO) przekroczy wartość 200 ppm,
- 2) stężenie ditlenku azotu (NO₂) przekroczy wartość 4 ppm,
- 3) współczynnik absorpcji *K* przekroczy wartość 0,012 m⁻¹,
- 4) wartość transmitancji światła *S* spadnie poniżej 30%.

- Pomiar NO₂ w tunelach drogowych (obok pomiaru CO) jest zgodnie z polskim prawem obowiązkowy
- Pomiar NO nie jest wprawdzie obowiązkowy, ale oczywiście nie ma żadnych przeszkód, aby stosować go razem z pomiarami CO i NO₂

ROZWIĄZANIE NA DZIŚ I NA NAJBLIŻSZE LATA

- Pomiar CO/NO₂ (elektrochemiczny), widoczności(rozproszeniowy) **TunnelTech serii 900**
- **Alternatywa:** Pomiar CO/NO₂ (elektrochemiczny), widoczności(prześwietleniowy) **TunnelTech serii 700**



TunnelTech 900



TunnelTech 700

- Pomiar prędkości i kierunku (ultradźwiękowy liniowy) **TunnelTech 801**
- **Alternatywa dla tuneli kolejowych i tramwajowych:** Pomiar prędkości i kierunku (ultradźwiękowy punktowy) **TunnelTech 305**



TunnelTech 305



TunnelTech 801

Kierunki dalszej ewolucji systemów monitoringu atmosfery w tunelach

- Należy oczekiwać zmiany w filozofii pomiarów atmosfery w tunelach, manifestującej się w ograniczeniu znaczenia CO i widoczności jako najbardziej uciążliwych kryteriów zanieczyszczenia oraz w jednoczesnym podkreśleniu znaczenia **NO₂** i **cząstek stałych (PM)** jako kluczowych zmiennych określających jakość powietrza w tunelach.
- Codel jest świadomy tego trendu i testuje obecnie przyrząd, który będzie w stanie mierzyć poszczególne frakcje pyłu zawieszonego (**PM10** i **PM2,5** – ale i przyszłościowy wskaźnik **PM1**). Stanowisko testowe Codela w jednym z tuneli brytyjskich pokazuje kolejny slajd. Miernik pyłu zawieszonego jest obecnie również testowany w jednym z tuneli w Polsce.

STUDIUM PRZYPADKU

Tunel pod Świną w ciągu Drogi S3 w Świnoujściu



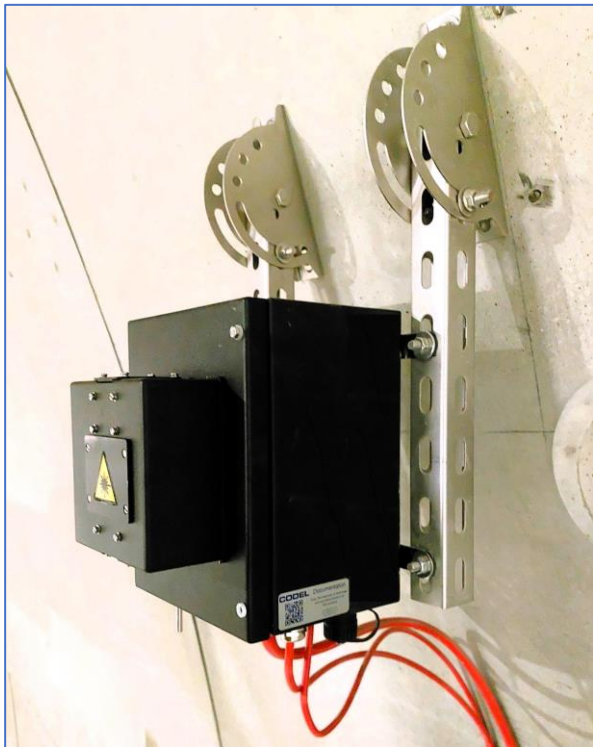
- Jednonawowy tunel długości 1440m
- Najgłębszy punkt 38m pod poziomem Świny
- TunnelTech 905 (CO/NO/NO₂/przejrzystość) – 2 kpl.
- TunnelTech 912 (przejrzystość) - 3 kpl.
- TunnelTech 801 (prędkość i kierunek powietrza) – 3 kpl.
- Dostawa zrealizowana w 2022 roku, uruchomienie w kwietniu 2023 roku.

Przykład konfiguracji z aparaturą najnowszej generacji

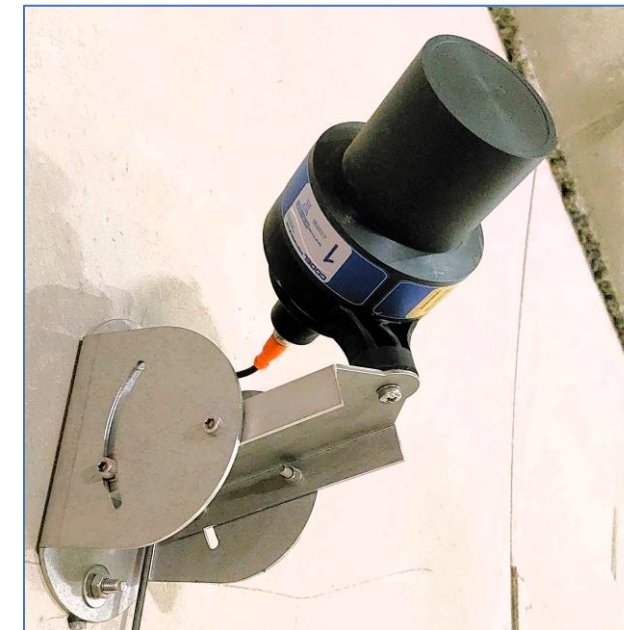


CODEL
A Forbes Marshall Company

TUNEL POD ŚWINĄ W CIĄGU DROGI S3



TT900
CO/NO/NO₂/przejrzystość



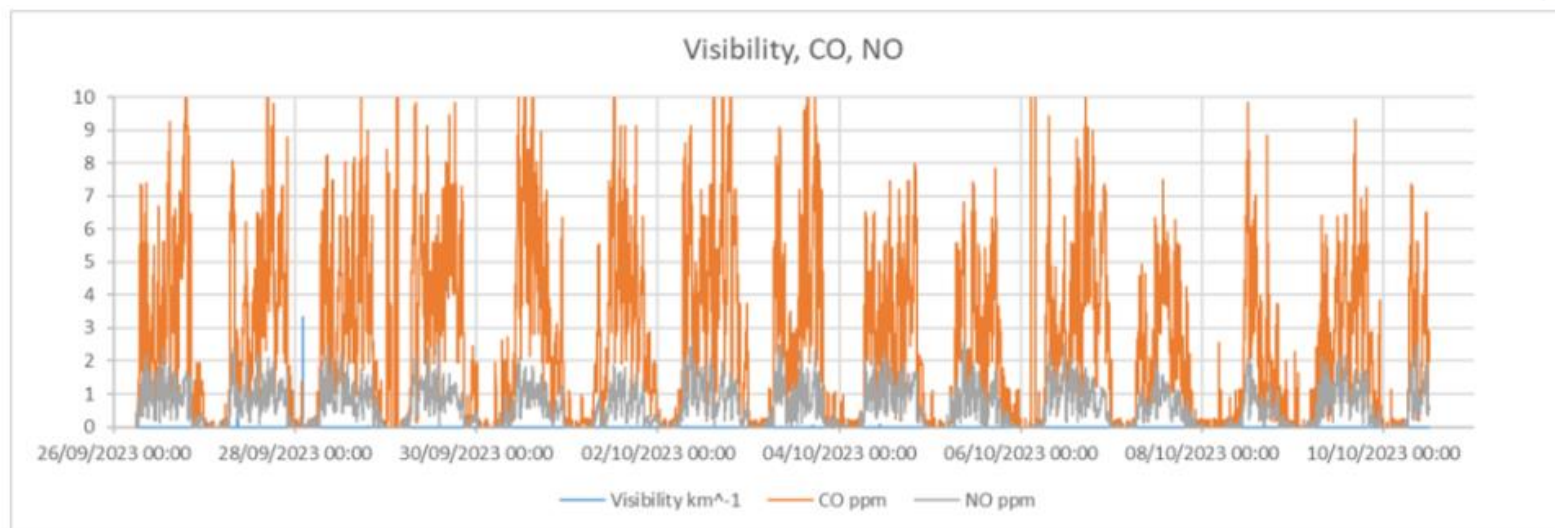
głowica TT801
prędkość i kierunek powietrza

TUNEL POD ŚWINĄ W CIĄGU DROGI S3



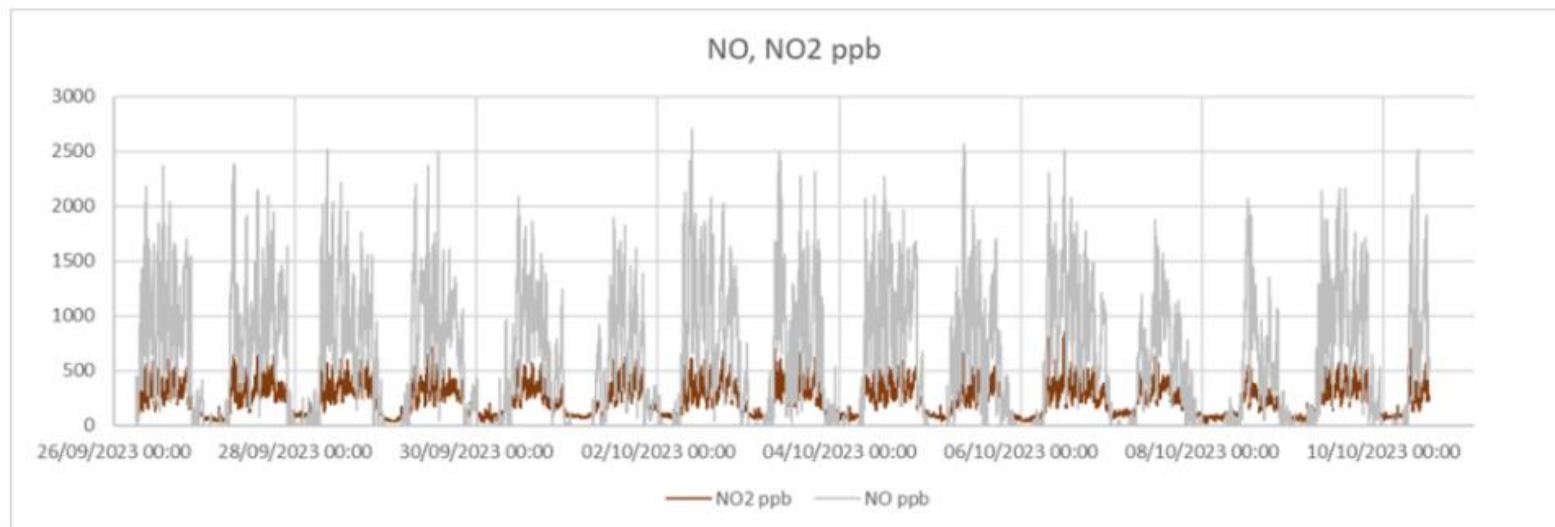
Przykład trendu wskazań monitoringu atmosfery w ciągu dwóch tygodni (26 września – 10 października 2023r).

➤ Widoczność, CO, NO [ppm]



Location EA1_5

➤ NO, NO₂ [ppb]



USBRL – Udhampur-Srinagar-Baramulla Railway Line

Linia kolejowa Udhampur-Srinagar-Baramulla

- Prestiżowy projekt w Indiach, określany jako „Projekt narodowy”
- Consultant Lombardi (Włochy), wykonawcy Konkan Rail Company (KRCL) oraz Ircon International Ltd

Szczegóły

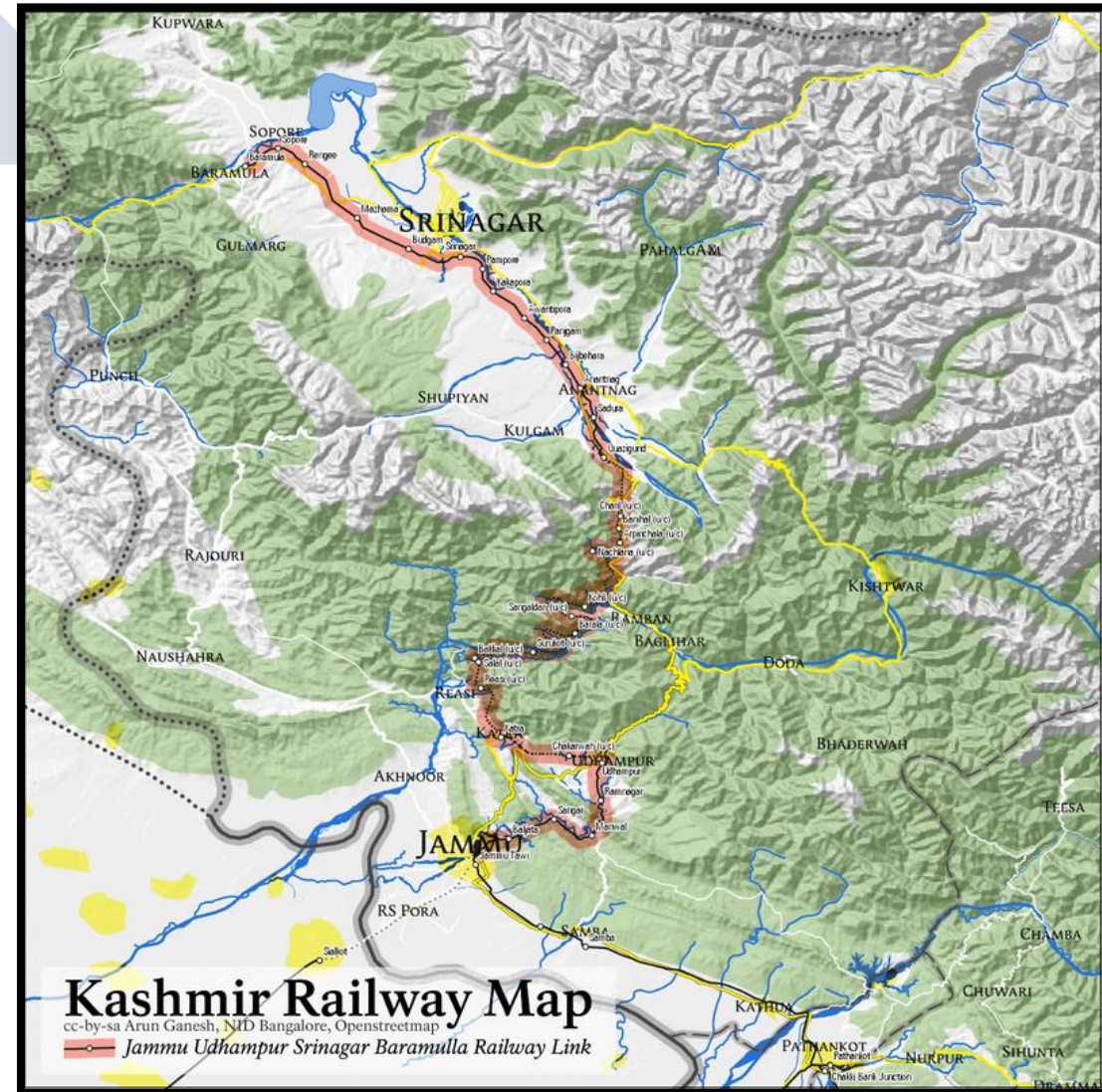
- łączy prowincję Kaszmir z resztą Indii
- Wartość 3,6 miliarda funtów (18 miliardów złotych)
- łączna długość 272km obejmująca 38 tuneli, w tym najdłuższy tunel transportowy w Indiach długości 12,7km

Trakcja wielopaliwowa

- Częściowa elektryfikacja, również trakcja spalinowa z silnikami Diesla

Zakończenie realizacji

- Planowane na trzeci kwartał 2024r.



USBRL – Udhampur-Srinagar-Baramulla Railway Line



CODEL
A Forbes Marshall Company

- Znaczna część linii to głównie tunele i mosty budowane w trudnodostępnym terenie
- Łącznie projekt obejmuje 120km tuneli kolejowych oraz 66km tuneli ewakuacyjnych
- Zamagający wymagał pomiarów CO, NO, NO₂ oraz prędkości powietrza
- Monitorowanie atmosfery w tunelach było szczególnie ważne z uwagi na spodziewane częste przypadki zatrzymań pociągów w tunelach oraz różnych stanów awaryjnych



USBRL – Udhampur-Srinagar-Baramulla Railway Line



- Ochrona zdrowia pasażerów miała najwyższe znaczenie dla tego prestiżowego projektu, a w związku z tym przewidziano wysokie nakłady na realizację monitoringu środowiska w tunelach
- Istotne było również ograniczenie stosowania wentylatorów strumieniowych dla zapewnienia oszczędności zarówno poprzez ograniczenie zużycia energii jak też obniżenie kosztów utrzymania tuneli
- Codel dostarczył aparaturę do tuneli o łącznej długości 99km, natomiast metody pomiaru były zróżnicowane w zależności od preferencji poszczególnych wykonawców.



Pomiar składu powietrza

Optyczne

- TT201 (CO/NO/VIS) 97 szt.

Elektrochemiczne

- TT403 (NO₂) 97 szt.
- TT404 (SO₂) 6 szt.
- TT507 (NO/NO₂) 23 szt.
- TT703 (CO/Vis) 23 szt.

Pomiar prędkości

Punktowe

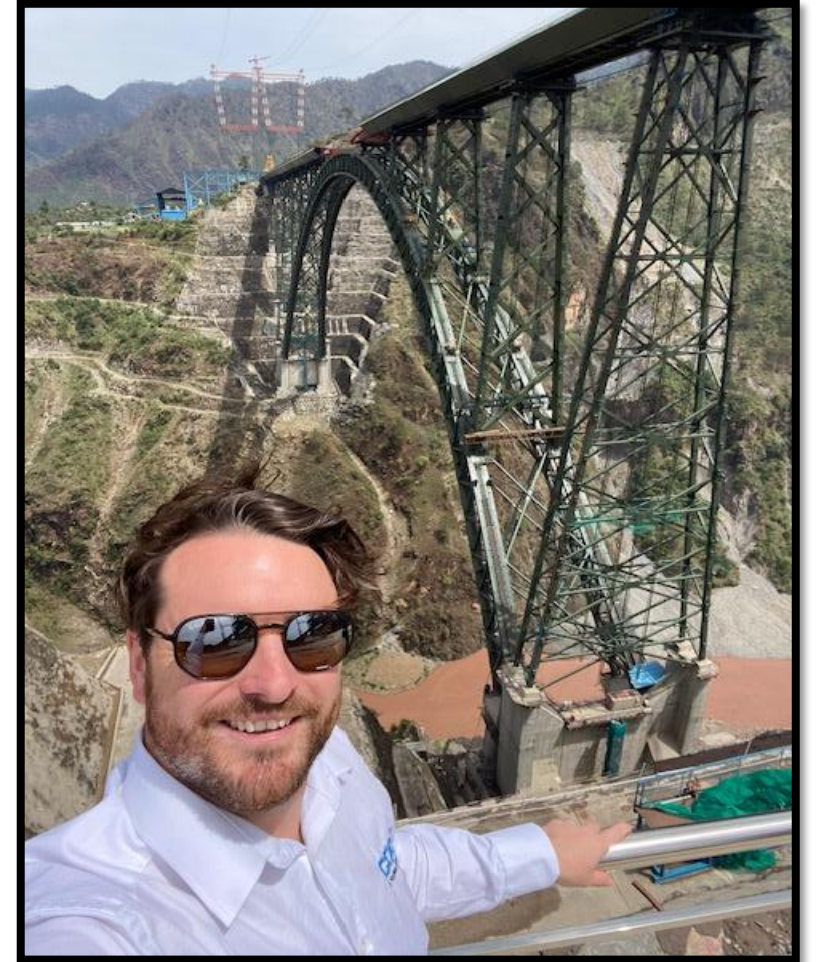
- TT305 95 szt.

Liniowe

- TT801 57 szt.

Razem mierników

- **398 szt.**
- **Skład powietrza 246 szt.**
- **Prędkość powietrza 152 szt.**



CZĄSTKI STAŁE (PM) W TUNELACH

Różne źródła w tunelach drogowych:

- Silniki spalinowe, Zużycie mechaniczne (hamulce i opony), degradacja nawierzchni drogi, źródła pyłu (ściany tunelu) jak również powietrze z otoczenia wtłoczone do tunelu.

Zmiana typu i ilości silników:

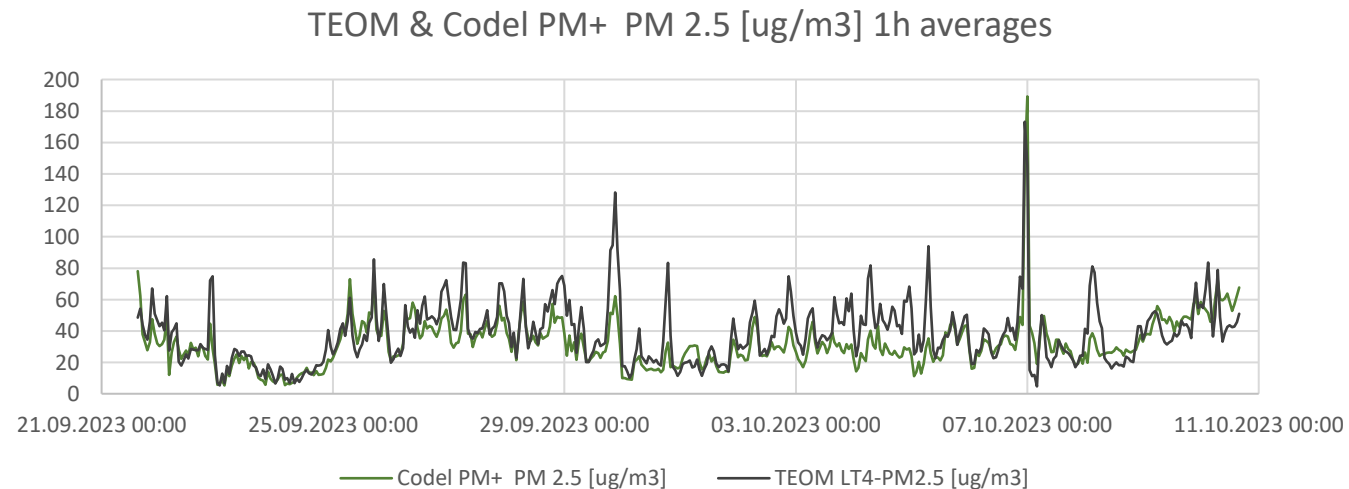
- Wzrośnie stosunek pojazdów hybrydowych do elektrycznych, ale ich średnia waga będzie o 25% większa, w połączeniu z liczbą pojazdów, która będzie nadal rosła.
- Ten wzrost liczby pojazdów i ich masy będzie w dalszym ciągu powodować powstawanie i zawieszanie w tunelu dużych ilości cząstek stałych.

Aktualne metody pomiaru:

- Monitory widoczności/zaciemnienia mierzą ekstynkcję lub rozproszenie światła, ale nie dają informacji na temat stężenia objętościowego szkodliwych cząstek pyłu zawieszanego PM 1, PM2.5 i PM10 w tunelu, a właśnie drobne cząstki stwarzają poważne ryzyko dla zdrowia, w tym zagrożenie poważnymi chorobami płuc, serca i mózgu.

Szkodliwość pyłu zawieszonego PM₁, 2.5 i 10 dla zdrowia człowieka jest dobrze udokumentowana i opisana w wielu publikacjach.

WHO obniżyła niedawno maksymalne limity narażenia na pył PM_{2,5} do 15 µg/m³ (średnia dobową). Ostatnie badania, w tym nasze własne, wykazały, że tunele często przekraczają tę granicę w długich okresach... patrz poniższy wykres przedstawiający ostatnią próbę porównawczą, którą przeprowadziliśmy w tunelu – niestety nie możemy ujawnić jego lokalizacji...



POMIAR CZĄSTEK STAŁYCH

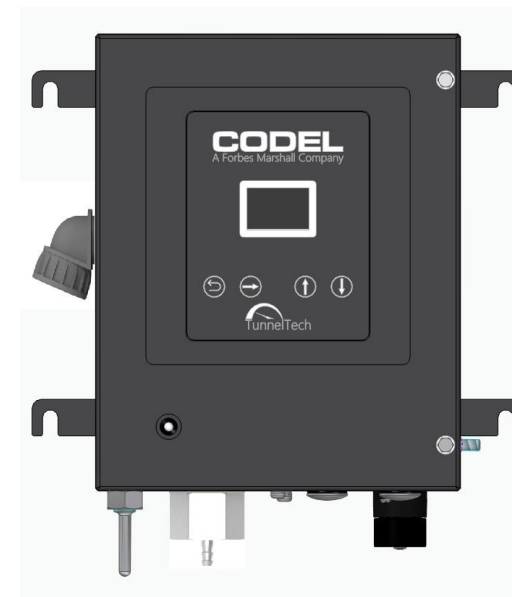
- Monitoring emisji pyłu zawieszonego PM w powietrzu atmosferycznym stał się standardem w wielu miastach i innych lokalizacjach.
- Tunele są środowiskiem, gdzie poziom cząstek pyłu zawieszonego PM nagle wzrosnąć gdy wentylacja mechaniczna nie i może nie być włączona automatycznie ponieważ współczesna metody monitoringu nie są w stanie wykryć niebezpiecznie wysokiego poziomu pyłu zawieszonego.
- Brak monitoringu cząstek stałych w tunelach może już obecnie wpływać na zdrowie użytkowników tuneli, a jeszcze bardziej osób pracujących tam, którzy mogą spędzać tam 4 do 8 godzin dziennie.

POMIAR CZĄSTEK STAŁYCH

Przedstawiamy rozwiązanie Codela:

Monitor cząstek pyłu zawieszonego TunnelTech

- Pierwsi na rynku z dedykowanym monitorem PM
 - Zaprojektowane do stosowania w tunelach w odróżnieniu od dedykowanych monitorów imisyjnych.
 - Wytrzymała i solidna konstrukcja ze stali nierdzewnej o stopniu ochrony IP69, dostosowana do czyszczenia tuneli pod wysokim ciśnieniem, dostępne wyjścia analogowe 4-20mA oraz szeregowo poprzez port RS485.
 - Wentylator lub pompka z grzaniem próbki.
- Testowane w terenie w tunelach, aby upewnić się, że działają w trudnych warunkach tunelowych, są trwałe i łatwe w serwisowaniu.
- Monitorowanie PM1, PM2,5 i PM10.



POMIAR CZĄSTEK STAŁYCH

Monitor cząstek pyłu zawieszonego TunnelTech:

- Miernik zaprojektowany i zbudowany w siedzibie Codel w Wielkiej Brytanii, gdzie od 30 lat projektuje się, rozwija, produkuje i sprzedaje monitory tunelowe na cały świat.
- Wykorzystano najnowsze technologie w celu zapewnienia wiodących w swojej klasie pomiarów o najwyższej dokładności.
- Sprzedaż rozpocznie się... wkrótce!





**DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ
I ZAPRASZAMY DO ODWIEDZENIA
NASZEGO STOISKA**



PENTOL

CODEL
A Forbes Marshall Company