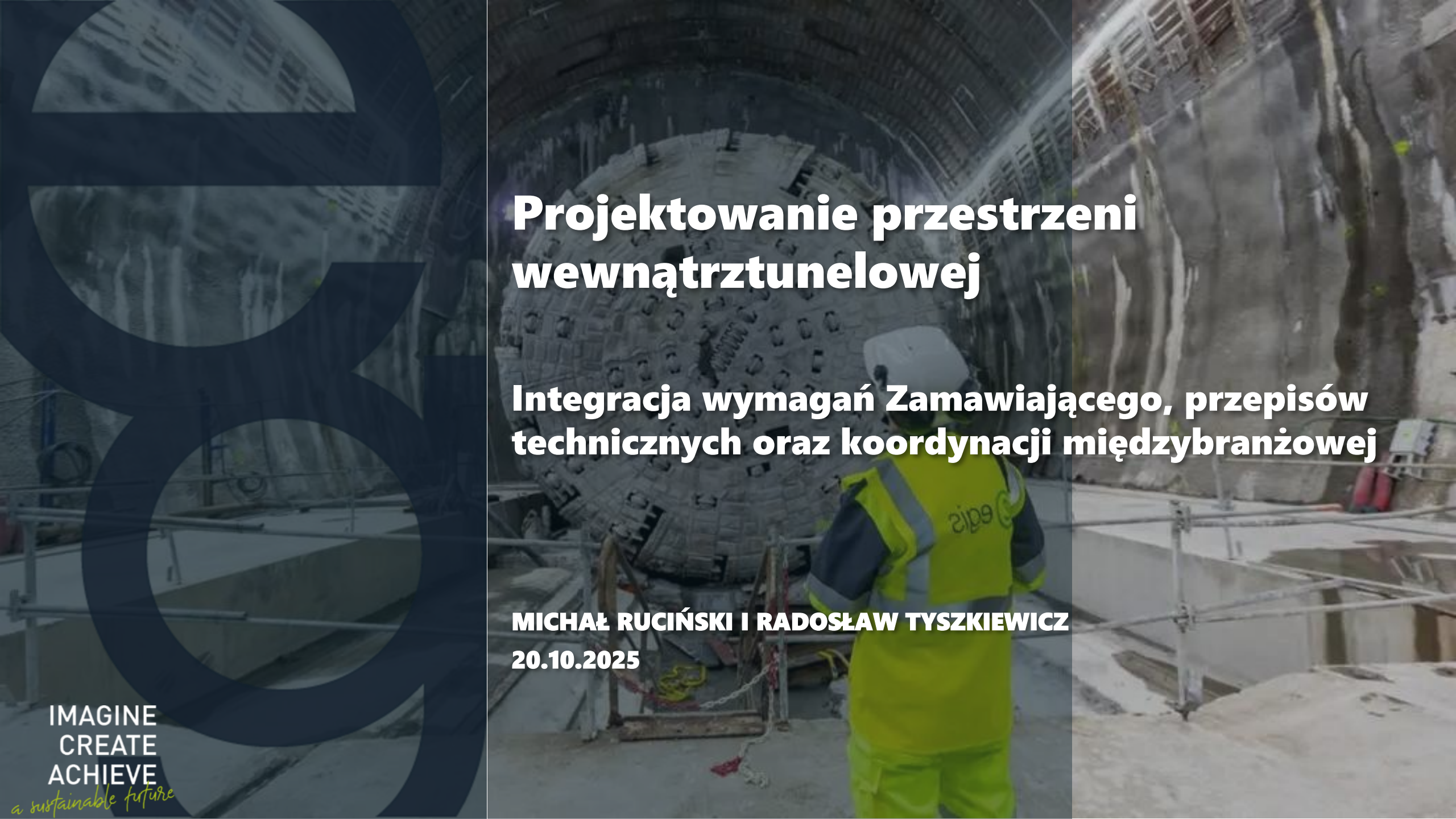




Projektowanie przestrzeni wewnątrztunelowej

**Integracja wymagań Zamawiającego, przepisów
technicznych oraz koordynacji międzybranżowej**

MICHAŁ RUCIŃSKI I RADOSŁAW TYSZKIEWICZ

20.10.2025

IMAGINE
CREATE
ACHIEVE

a sustainable future



01.

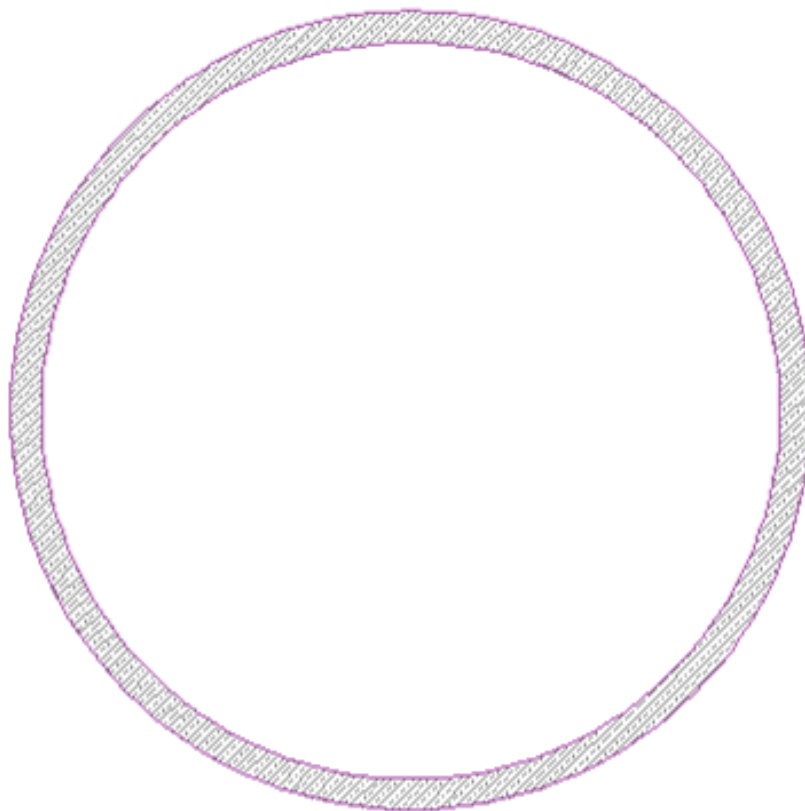
Tunel – inżynieria współpracy

Czym jest projekt tunelu

Wszystko po to, żeby powstało solidne i bezpieczne:

Warunki brzegowe:

- Warunki geologiczne, np. flisz karpacki
- Warunki hydrogeologiczne, np. woda występująca w soczewkach, napięcie zwierciadło wody
- Parametry obliczeniowe
- Obecność węglowodorów
- Obecność osuwisk



Wyniki:

- Dobór odpowiednich technologii,
- Obliczenia geotechniczne,
- Wzmocnienia wyprzedzające,
- Mikropale,
- Iniekcje,
- Mrożenie gruntu,
- Grouting,
- Odwodnienie,
- Studnie,
- Drenaże
- itd.

Projekt tunelu to nie jeden projektant – to współpraca wielu specjalistów

Kluczowe elementy projektowane wewnątrz tunelu obejmują:

- **Drogę/tory i trakcję** – podstawowy cel i główna funkcja tunelu,
- **System oświetlenia** – widoczność, komfort i bezpieczeństwo użytkowników,
- **System wentylacji** – zapewnienie bezpieczeństwa i jakości powietrza,
- **System zasilania** – dostarczenie energii dla wszystkich instalacji,
- **Oznakowanie drogowe i ewakuacyjne** – prowadzenie ruchu i umożliwienie szybkiej ewakuacji,
- **System zarządzania ruchem** – sterowanie ruchem pojazdów i reagowanie w sytuacjach awaryjnych,
- **Monitoring wizyjny (CCTV)** – ciągły nadzór i kontrola sytuacji wewnątrz tunelu,
- **Instalacje tranzytowe** – instalacje nie związane bezpośrednio z tunelem.
- **Analizy CFD** – kluczowe dla bezpieczeństwa i określenia rozwiązań projektowych
- **Systemy bezpieczeństwa i przeciwpożarowe (P.POŻ)** – kluczowe dla ochrony życia i mienia.
- **Inne:** Analizy Kryterium Komfortu, „Sonic-Boom”



Projekt tunelu to nie jedna branża – to współpraca wielu specjalistów

Każdy tunel to wynik współdziałania wielu branż.

Nawet sama konstrukcja wymaga ścisłej współpracy między:

- **Geologami i hydrogeologami** – rozpoznanie i badania podłoża, analiza warunków wód gruntowych;
- **Geotechnikami** – ocena stabilności, wpływ deformacji i osuwisk;
- **Konstruktorami obiektów powierzchniowych** – analiza wpływu tunelu na istniejącą zabudowę;
- **Projektantami konstrukcji tunelu** – dobór technologii, kształtu, metod budowy.

Ale to dopiero początek.

Tunel to także **instalacje, bezpieczeństwo, wentylacja, odwodnienie, zasilanie, łączność, BIM, architektura** – czyli **integracja dziesiątek branż**, które muszą zadziałać jak **jeden organizm**.



Projektant tunelu: lider procesu projektowego

A na końcu – a zarazem na początku każdego projektu – stoi Projektant Tunelu.

Osoba z **uprawnieniami w specjalności inżynierskiej mostowej**, odpowiedzialna nie tylko za konstrukcję, ale za **koordynację całego procesu projektowego**.

To on:

- **zarządza procesem projektowym,**
- **integruje rozwiązania branżowe,**
- **zapewnia spójność, bezpieczeństwo i funkcjonalność całego obiektu.**

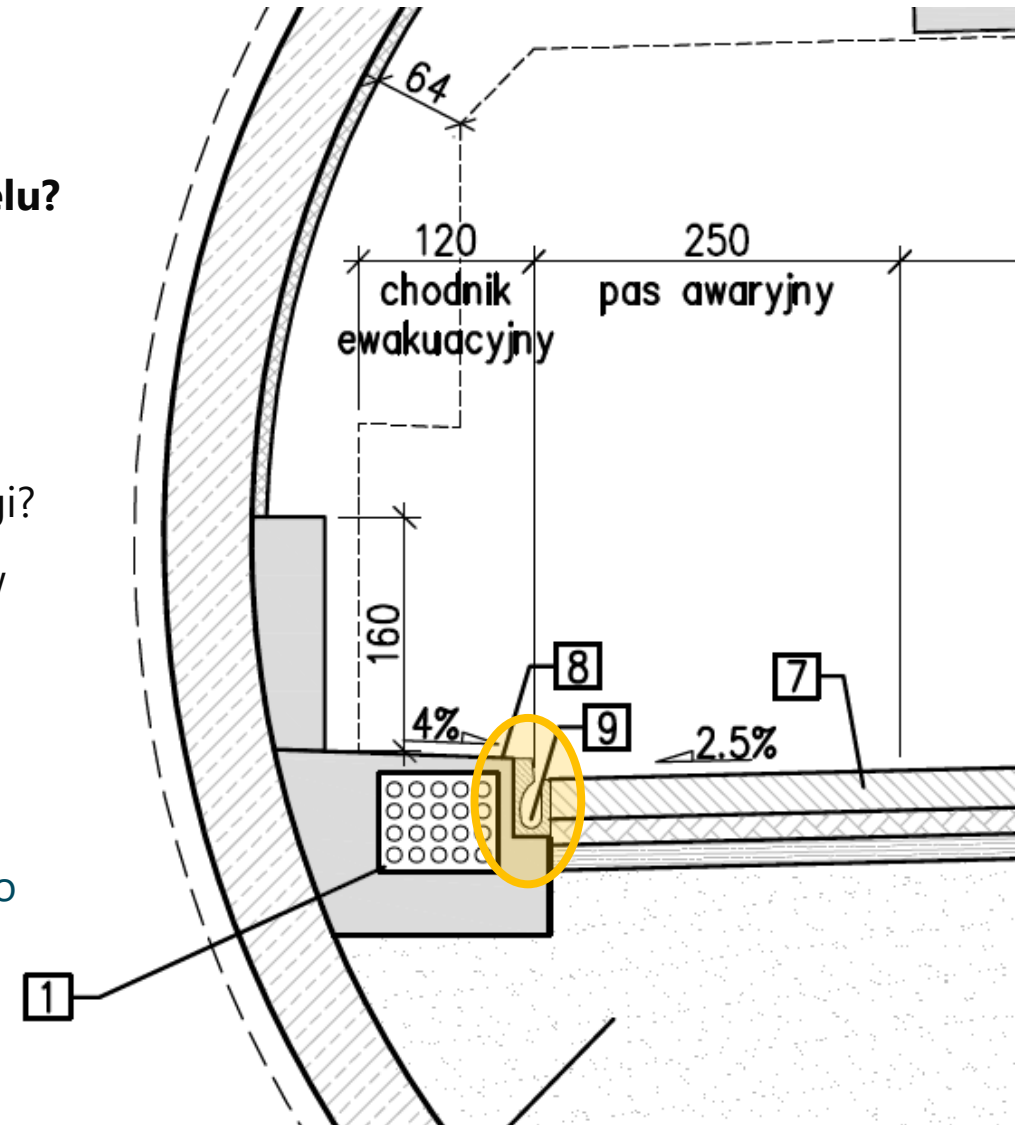


Porozumienie to podstawa

Kto właściwie projektuje krawężnik z odwodnieniem w tunelu?

- **Projektant tunelu** – jako Projektant Branży Mostowej na obiektach inżynierskich?
- **Projektant Branży drogowej** – bo to przecież element drogi?
- **Projektant instalacji sanitarnych** – skoro to odwodnienie w ciągu drogi?

W tunelu granice między branżami często się zacierają – dlatego kluczowa jest współpraca gdyż niemożliwy jest jasny podział odpowiedzialności.





02.

Co kryje tunel

Integracja systemów wewnętrznych

Wypożyczenie tunelu – wymagania Zamawiającego

1. System zasilania urządzeń tunelowych.

2. System oświetlenia tunelu:

- Oświetlenie strefy dojazdowej,
- Oświetlenie strefy progowej,
- Oświetlenie strefy przejściowej,
- Oświetlenie strefy wewnętrznej,
- Oświetlenie strefy wyjazdowej,
- Oświetlenie strefy odjazdowej,
- Oświetlenie nocne,
- Awaryjne oświetlenie antypaniczne (strefy otwartej),
- Awaryjne oświetlenie ewakuacyjne,
- Oświetlenie nisz alarmowo-sygnalizacyjnych,
- Oświetlenie nisz elektrotechnicznych,
- Oświetlenie przejść poprzecznych między nawami tunelu,
- Oświetlenie kanałów technicznych i korytarzy,
- Oświetlenie orientacyjne.
- Oświetlenie drzwi
- Oświetlenie nisz hydrantowych

3. System zarządzania tunelem i ruchem w tunelu.

4. Urządzenia sterowania ruchem w tunelu:

- stacje drogowe,
- sterowniki ruchu drogowego,
- znaki o zmiennej treści,
- sygnalizatory świetlne (trójkolorowe),
- sygnalizatory S-4/S-7,
- zapory drogowe,
- pozyskiwanie danych o pojazdach – pętle indukcyjne,
- system ANPR (SIP - System Identyfikacji Pojazdów),
- system preselekcji wagowej.

5. System wykrywania i sygnalizacji pożarowej:

- centrala sygnalizacji pożaru,
- sygnalizatory pożaru – optyczne czujki ciepła,
- ręczny ostrzegacz pożarowy (ROP),
- sygnalizatory dźwiękowe,
- linie dozorowe,
- liniowa czujka ciepła,
- sterowanie urządzeniami zewnętrznymi.
- organizacja alarmowania
- założenia do scenariusza pożarowego
- stałe urządzenia gaśnicze

6. System wentylacji

7. System pomiaru prędkości i jakości powietrza w tunelu.

- pomiar prędkości powietrza,
- pomiar tlenków (CO, NO_x) i przejrzystości powietrza (widoczności).
- Sterowanie pracą wentylacji na podstawie pomiarów prędkości i jakości powietrza

8. Sieć wodociągowa, hydranty oraz zbiorniki na wodę:

9. System odwodnienia tunelu, kanalizacji deszczowej, przeciwpożarowej i drenażowej tunelu.

10. System komunikacji radiowej służb ratowniczych i porządkowych.

- Policja/Państwowa Straż Pożarna/Pogotowie Ratunkowe
- łączność personelu obsługi
- retransmisja UKF
- system e-call

11. System powiadamiania publicznego - urządzenia nagłaśniające (głośniki, mikrofon strażaka).

12. System monitoringu wizyjnego i wideodetekcji

- system wideodetekcji – kamery dualne i CCTV
- system monitoringu wizyjnego – kamery PTZ
- system identyfikacji pojazdów – kamery ANPR

13. Punkty alarmowe wraz z wyposażeniem.

- System telefonii alarmowej
- zestaw ratunkowy

14. Wyjścia awaryjne i przejazd awaryjny w tunelu.

15. Wjazdy i przejazdy awaryjne w obrębie tunelu

16. Pasy awaryjne i drogi ewakuacyjne.

17. Punkty zbiórki ewakuacyjnej

18. System odladzania

19. Urządzenia przeciwdziałające olśnieniu przez promienie słoneczne

20. Budynki techniczne wraz z wyposażeniem.

21. Kompletny System odcinkowego pomiaru prędkości w tunelu wraz z odpowiednim oznakowaniem i możliwością użytkowania przez ITD.

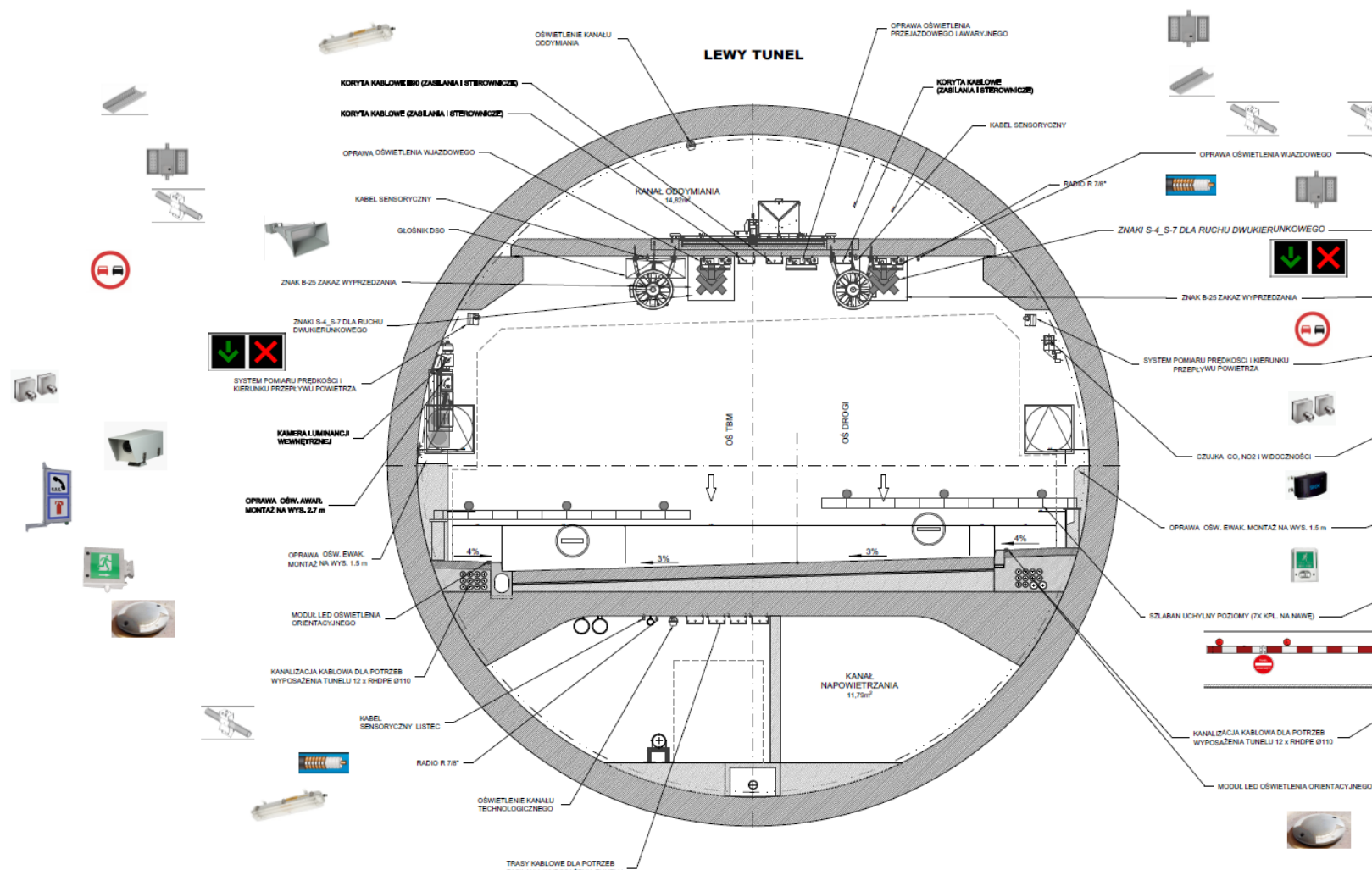
23. System sterowania zawierający system przesyłania danych

24. Interfejsy API

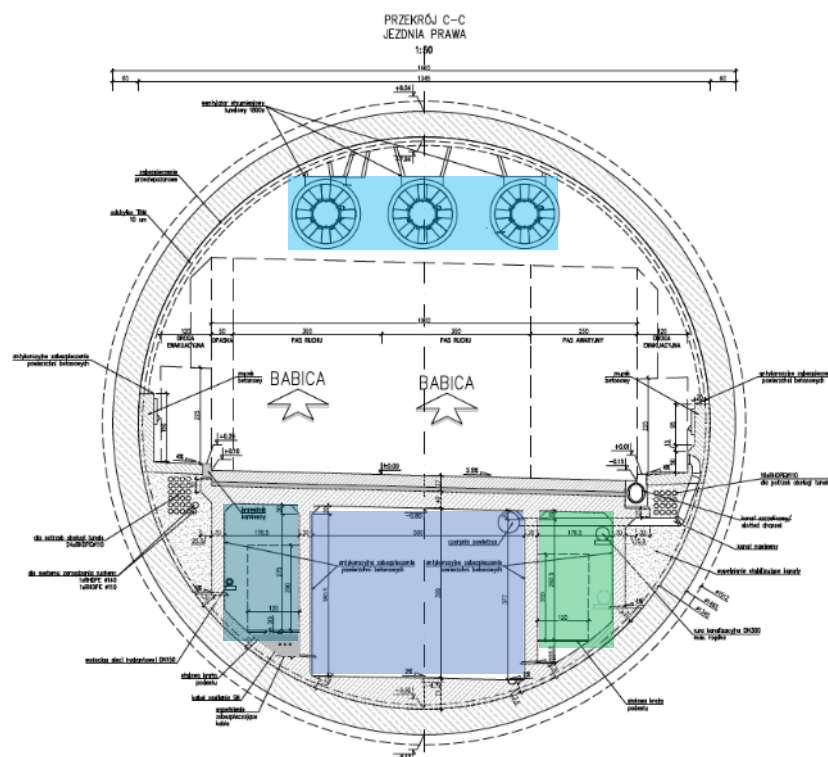
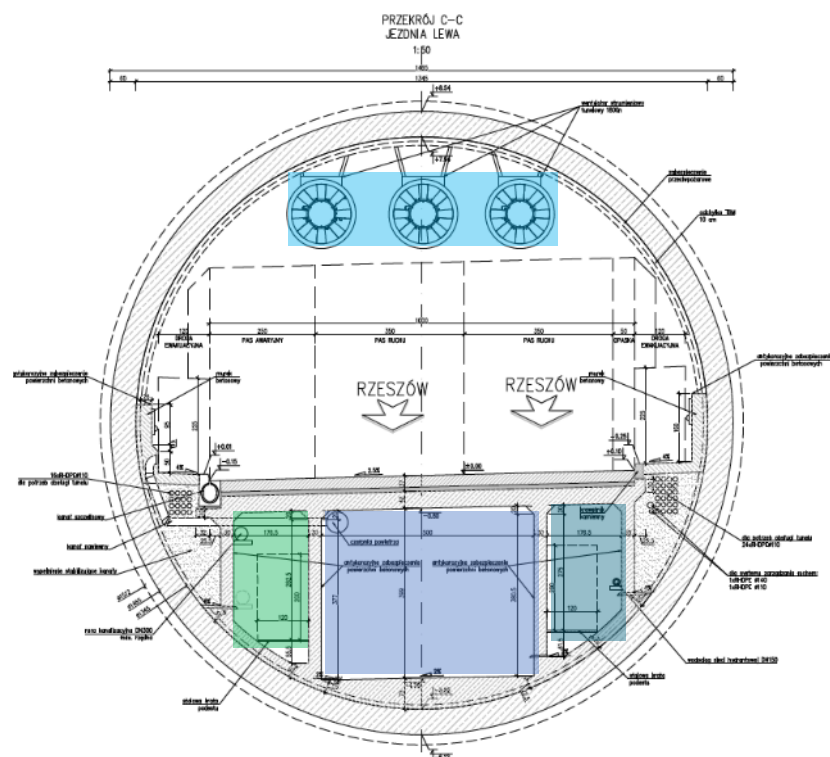
25. System kontroli wysokości pojazdów wjeżdżających do tunelu

27. Inne systemy wynikające z opracowanej przez Wykonawcę Dokumentacji Bezpieczeństwa Tunelu lub wskazane jako niezbędne do wykonania w opinii niezależnego eksperta w celu osiągnięcia kategorii ADR A

Wypożażenie tunelu – przekrój poprzeczny

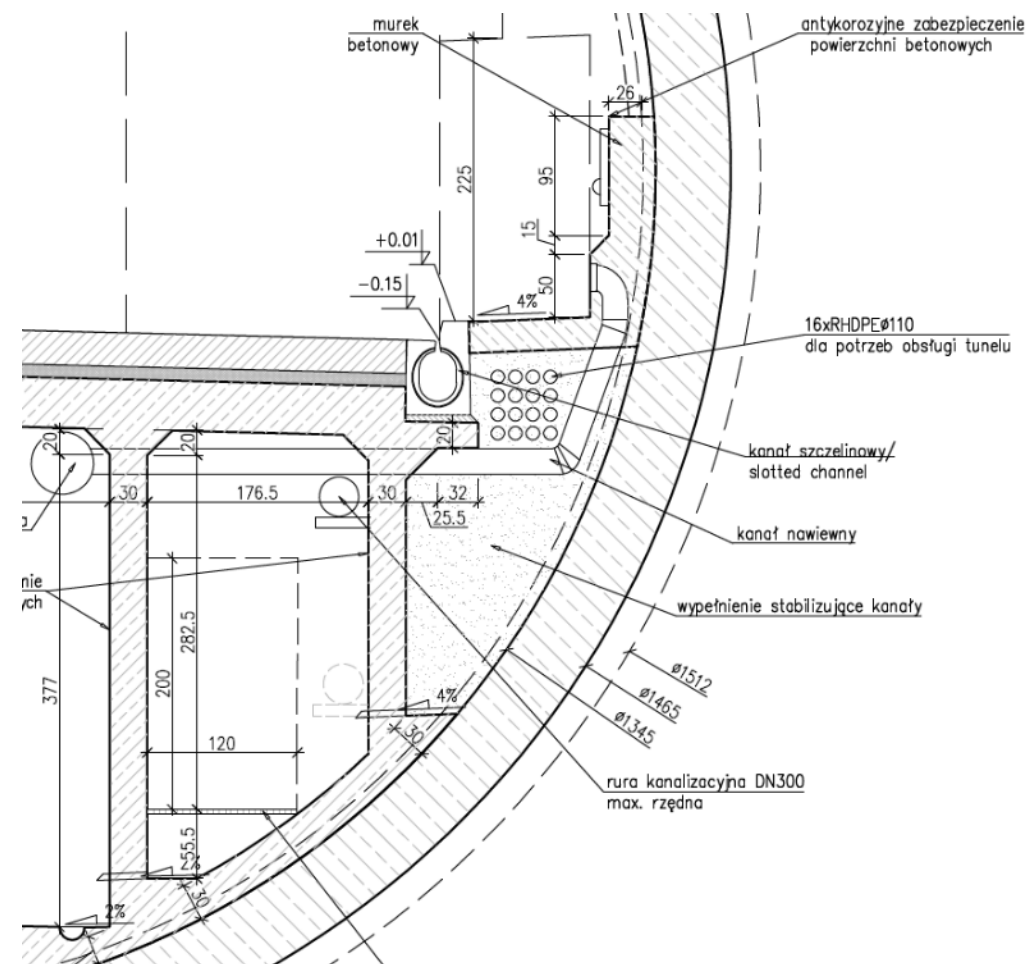
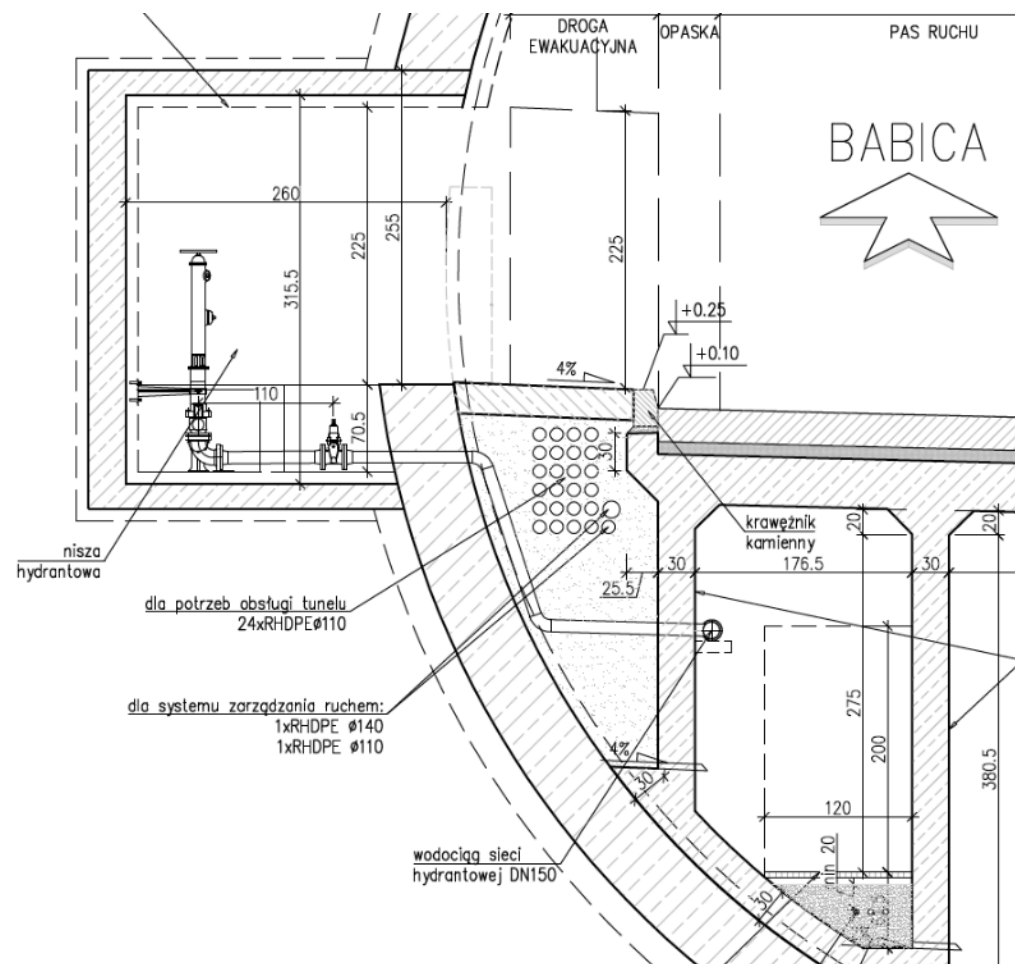


Wyposażenie tunelu – system wentylacji półpoprzecznej



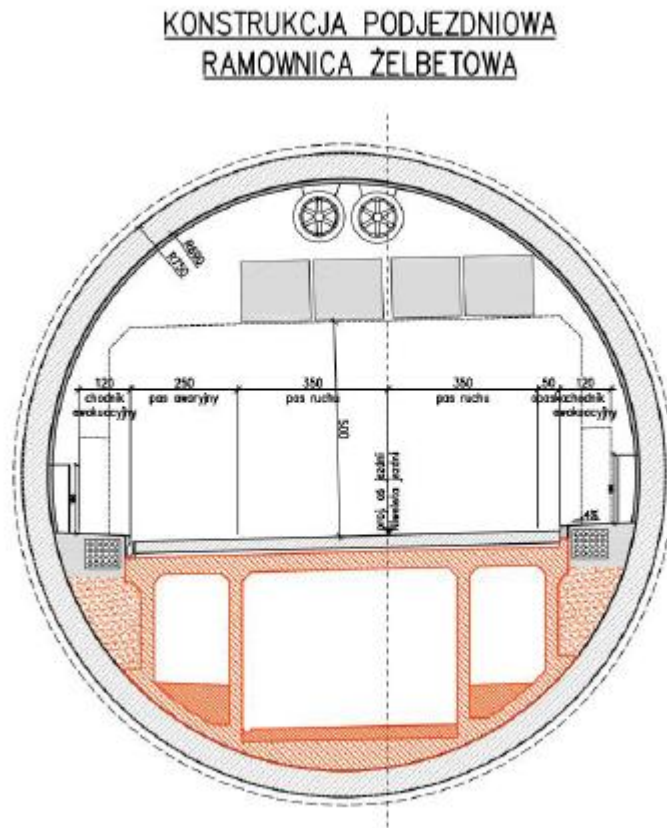
- WENTYLACJA KANAŁ NAWIEWNY
- WENTYLACJA - WYWIEW
- STREFA TECHNICZNA - WODOCIĄG
- STREFA TECHNICZNA - KANALIZACJA

Wypośażenie tunelu – przekrój poprzeczny

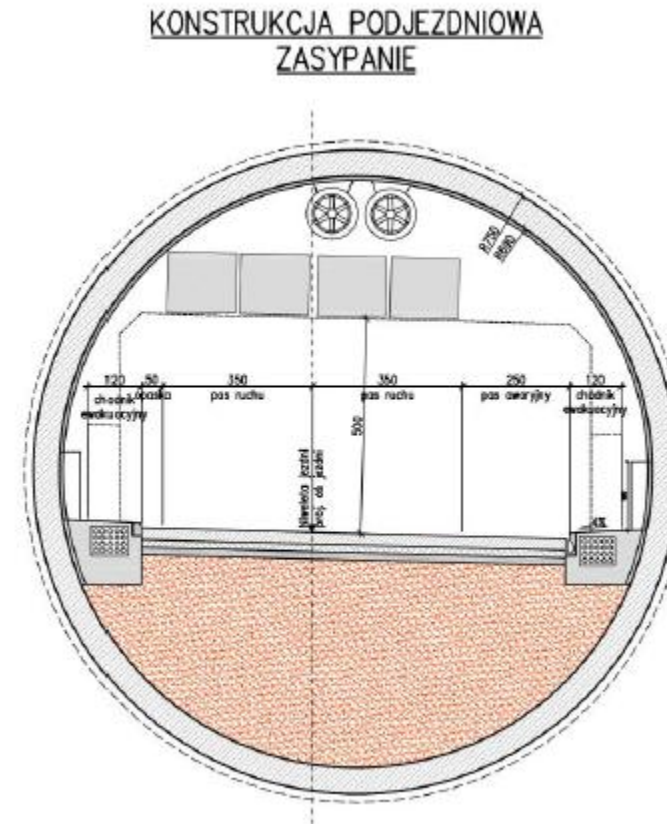


Wykorzystanie przestrzeni w tunelu – strefy i rozwiązania w Polsce

Czy przestrzeń pod płytą wykorzystać na dodatkowe funkcje?



Czy może powinna pozostać zasypana?



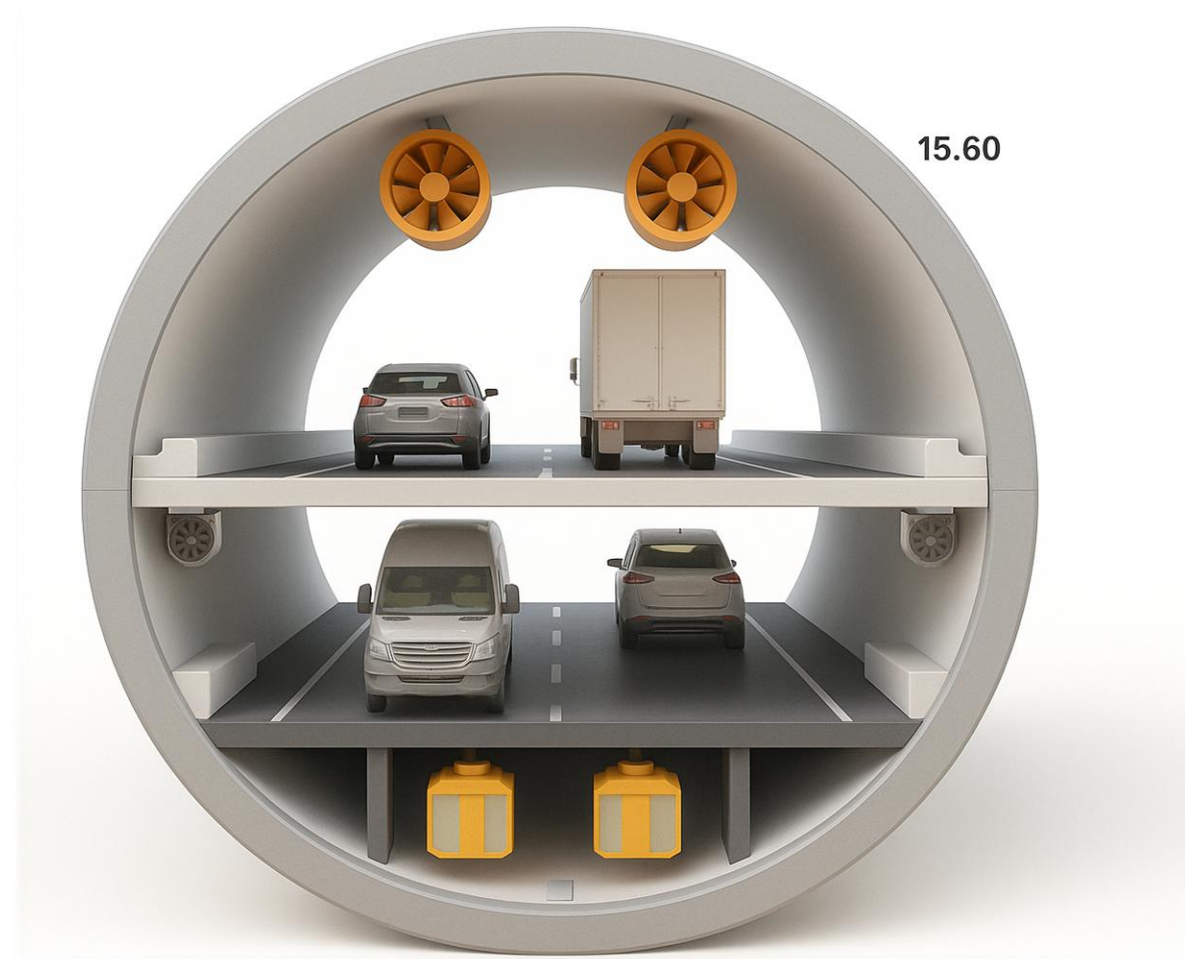
Wykorzystanie przestrzeni w tunelu – innowacyjne rozwiązania

TMF (Tunnel Multi-Floor)

– tunel wielopoziomowy, w którym **strefy są ułożone pionowo** (piętra).

•**Celem** jest separacja funkcji w przekroju pionowym (np. ruch → wyżej, technika/retencja/ewakuacja → niżej).

•**Typowe strefy:** jezdnie/tory (1–2 poziomy), kanał retencyjny/odwodnieniowy, piętro instalacyjne/serwisowe, ciągi ewakuacyjne.



Wykorzystanie przestrzeni w tunelu – innowacyjne rozwiązania

TMG (Tunnel Multi-Gallery) – tunel

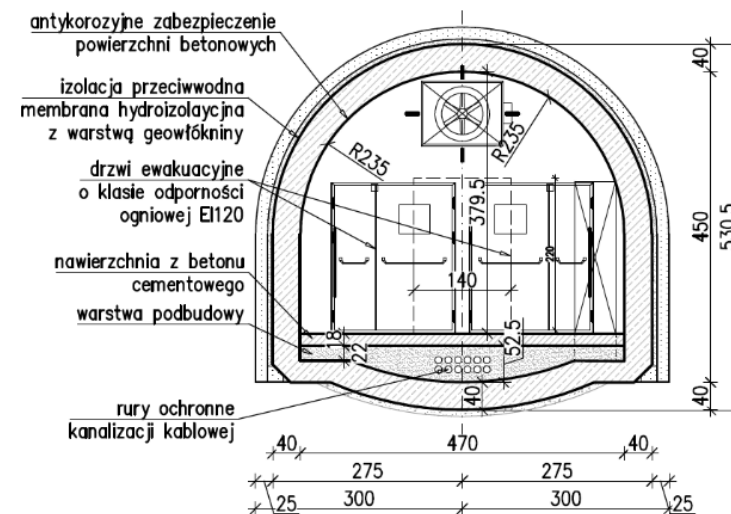
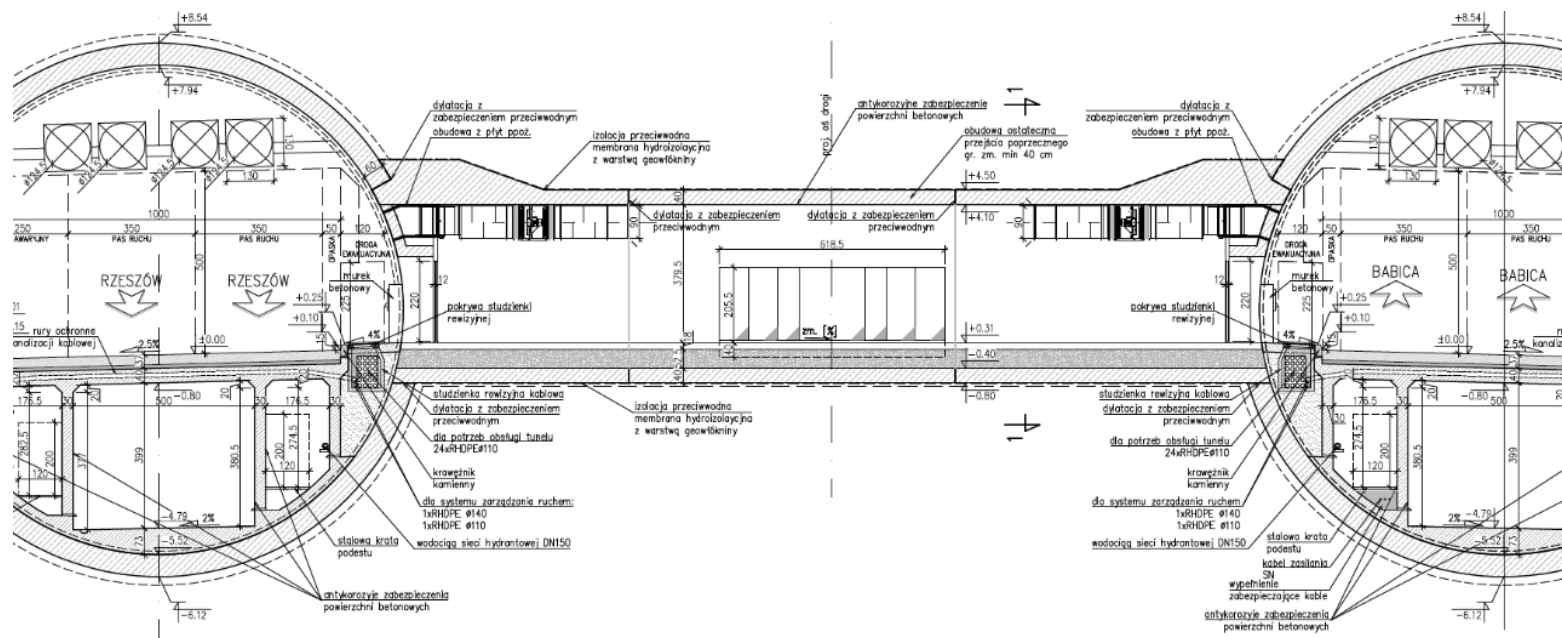
kilkunawowy, z **równoległymi niezależnymi korytarzami/nawami** w układzie poziomym (lub wachlarzowym), połączonymi ze sobą przejściami poprzecznymi.

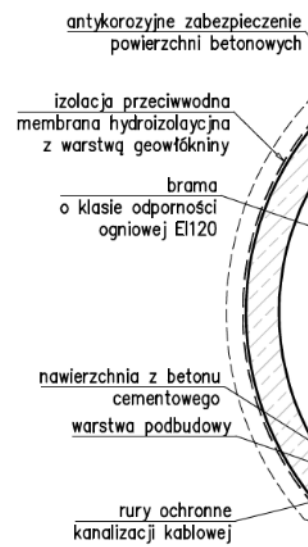
- Celem** jest oddzielenie funkcji w przekroju poziomym (transport, serwis, bezpieczeństwo) i redundancja.

- Typowe strefy:** 2 nawy ruchowe (kolej/droga), nawa serwisowa/utrzymeniowa, ciągi wentylacyjne/dymowe, przejścia ewakuacyjne poprzeczne.



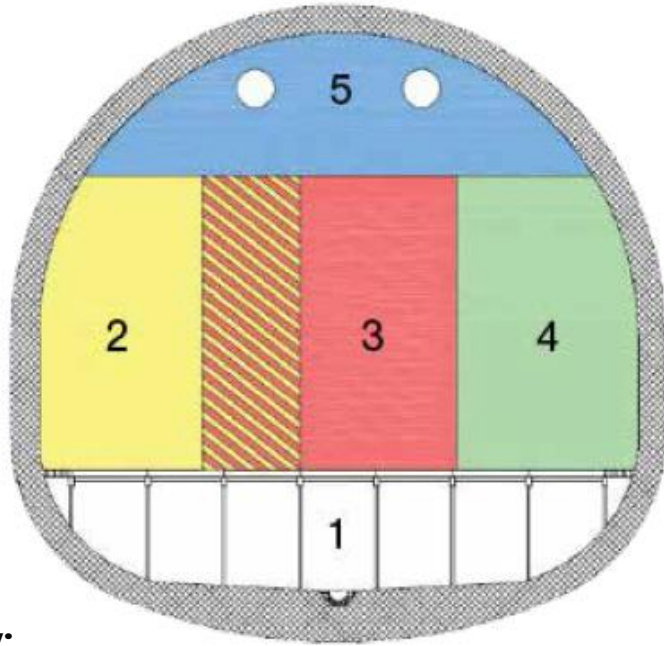
Przejścia Poprzeczne





Wykorzystanie przestrzeni w tunelu – przejścia poprzeczne wg. ITA

Przykład układu funkcji w przejściu poprzecznym wg. ITA



Elementy:

- 1.Przedział kablowy i instalacyjny
- 2.Przedział techniczny
- 3.Strefa ewakuacyjna
- 4.Strefa ratunkowa (dla służb pożarniczych i medycznych)
- 5.Kanał wentylacyjny





03.

Tunele a przepisy

Jakie przepisy stosować przy projektowaniu tuneli?

Pojawienie się tuneli w Polsce „zaskoczyło” ustawodawcę.

Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz.U. 2000 nr 63 poz. 735 z późn. zm.)

Zaprojektowano Tunele T1 i T2 w ciągu S19.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2022 poz. 1518 z późn. zm.)

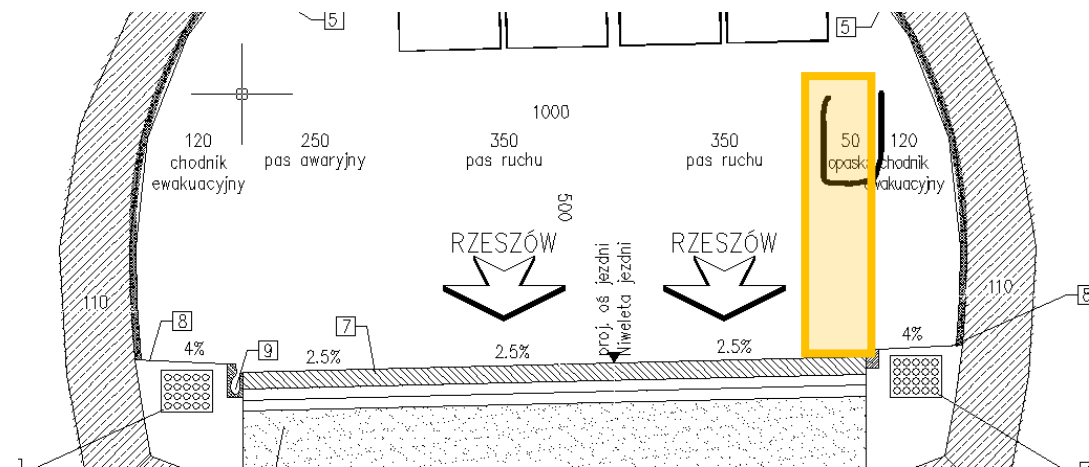
Zaprojektowano Tunel T3 w ciągu S19.

Brak jednolitego podejścia i różne interpretacje tych samych wymagań.

Skutki zmieniających się przepisów lub ich braku.

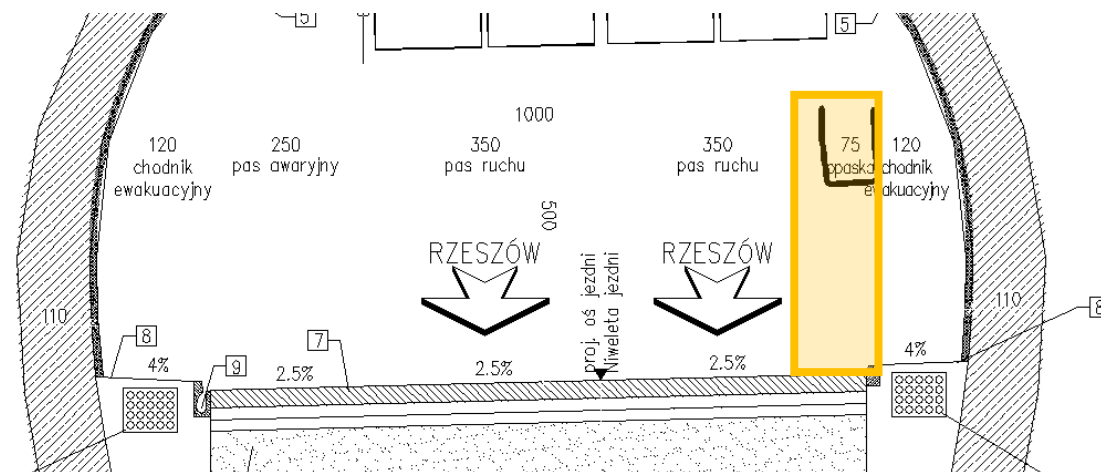
Tunele T1 i T2 w ciągu S19

Koncepcja Programowa



Tunel T3 w ciągu S19

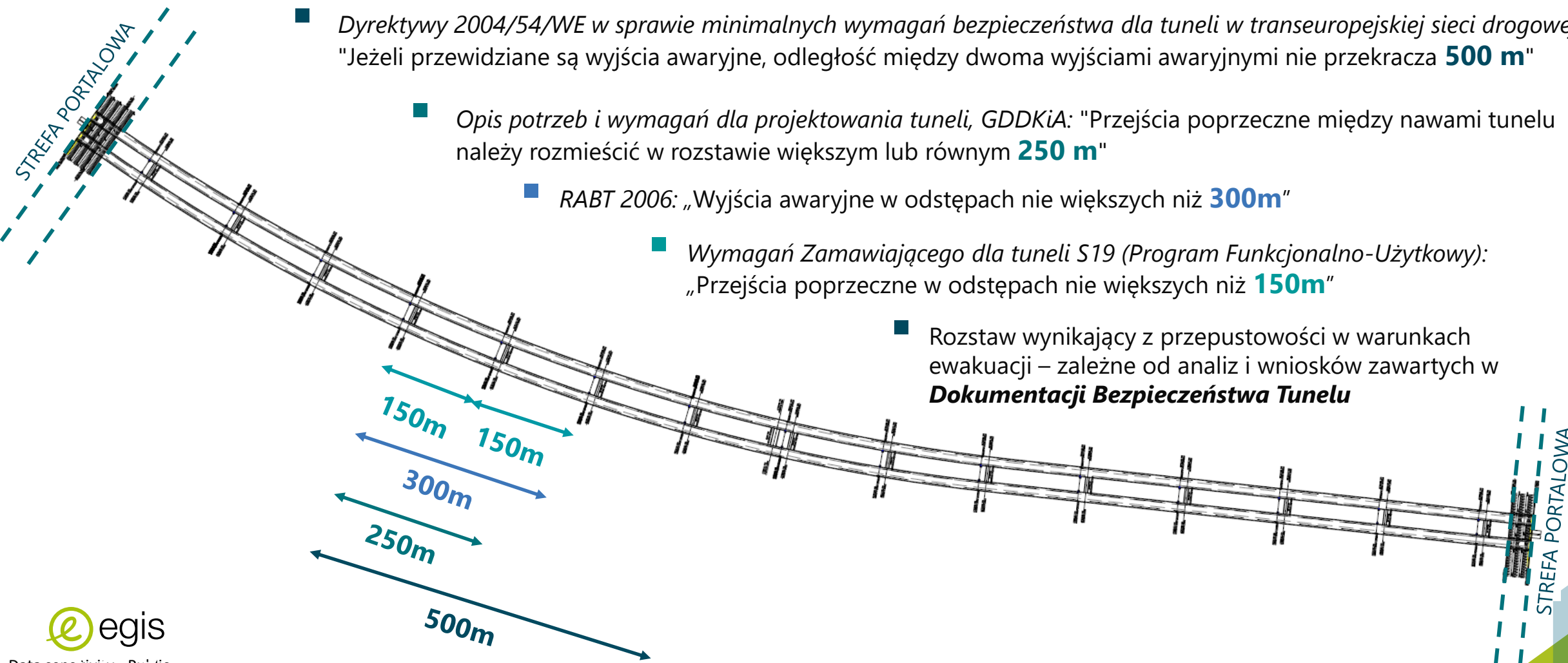
Koncepcja Programowa



Wynik: różna geometria, mimo identycznej funkcji obiektu.

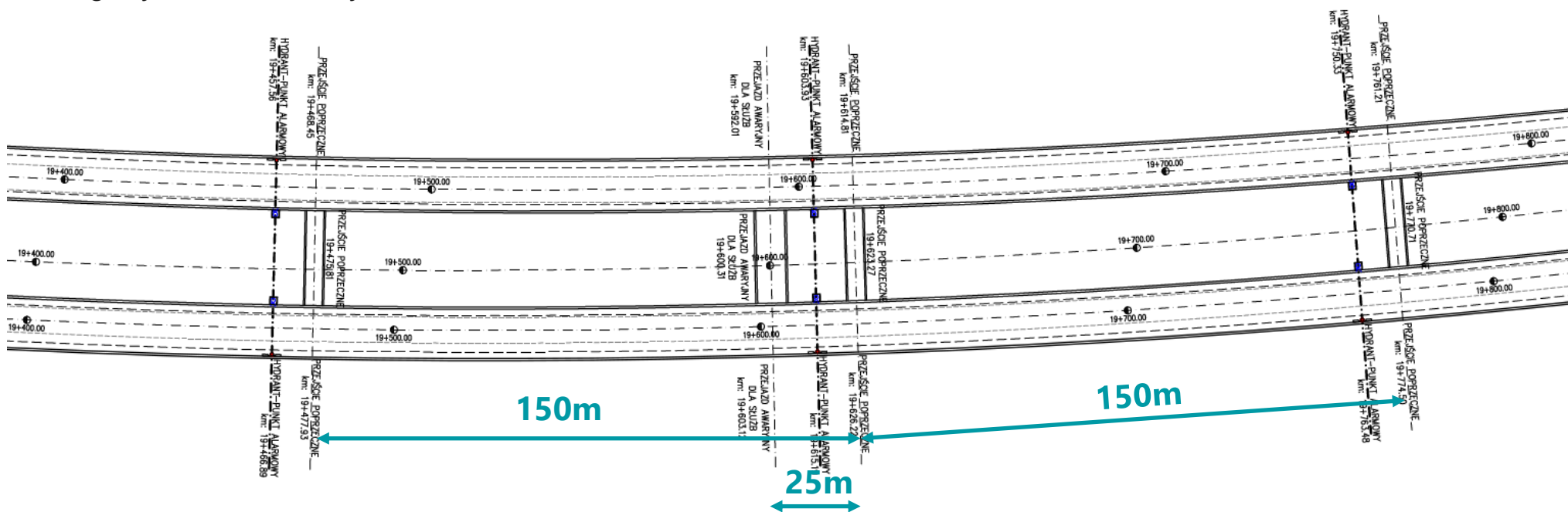
Przykład: Ile metrów między przejściami ewakuacyjnymi?

- Rozp. w sprawie warunków techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych: „Wyjścia awaryjne w odstępach nie większych niż **500m**”
- Dyrektywy 2004/54/WE w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej: „Jeżeli przewidziane są wyjścia awaryjne, odległość między dwoma wyjściami awaryjnymi nie przekracza **500 m**”
- Opis potrzeb i wymagań dla projektowania tuneli, GDDKiA: „Przejścia poprzeczne między nawami tunelu należy rozmieścić w rozstawie większym lub równym **250 m**”
- RABT 2006: „Wyjścia awaryjne w odstępach nie większych niż **300m**”
- Wymagań Zamawiającego dla tuneli S19 (Program Funkcjonalno-Użytkowy): „Przejścia poprzeczne w odstępach nie większych niż **150m**”
- Rozstaw wynikający z przepustowości w warunkach ewakuacji – zależne od analiz i wniosków zawartych w **Dokumentacji Bezpieczeństwa Tunelu**



Przykład: Ile metrów między przejazdami awaryjnymi?

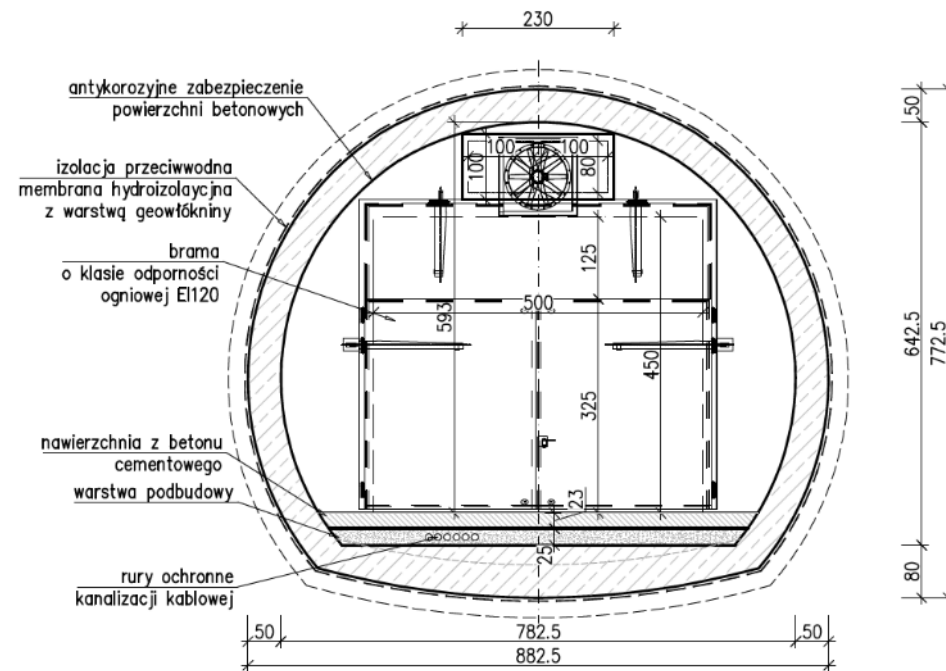
- "W tunelach dwunawowych, jeżeli nawy znajdują się na tym samym lub zbliżonym poziomie, co **1 500 m** są zapewnione przejścia poprzeczne odpowiednie dla korzystania przez służby ratunkowe" wg Dyrektywy 2004/54/WE w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej
- "Nawy tunelu dwunawowego o długości większej niż 1 500 m powinny być ze sobą połączone drogą pożarową (przejezdne połączenie poprzeczne) dla pojazdów straży pożarnej. Odległość pomiędzy drogami pożarowymi łączącymi nawy tunelu dwunawowego nie może przekraczać **1 000 m**" wg WR-M 41 Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich



Wymiary przejazdu awaryjnego

WR-M 41 Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich: "Szerokość w świetle tych bram przeciwpożarowych powinna wynosić co najmniej **3,6 m**, a wysokość w świetle co najmniej **4,2 m**"

- Program Funkcjonalno-Użytkowy dla tunelu T1 S19:
5m szerokości i **4,5m** wysokości
- Program Funkcjonalno-Użytkowy dla tunelu T2 S19:
6m szerokości i **4,5m** wysokości



Odporność ogniowa konstrukcji tunelowych – przepisy, praktyka, konsekwencje

Różnice w podejściu normowym:

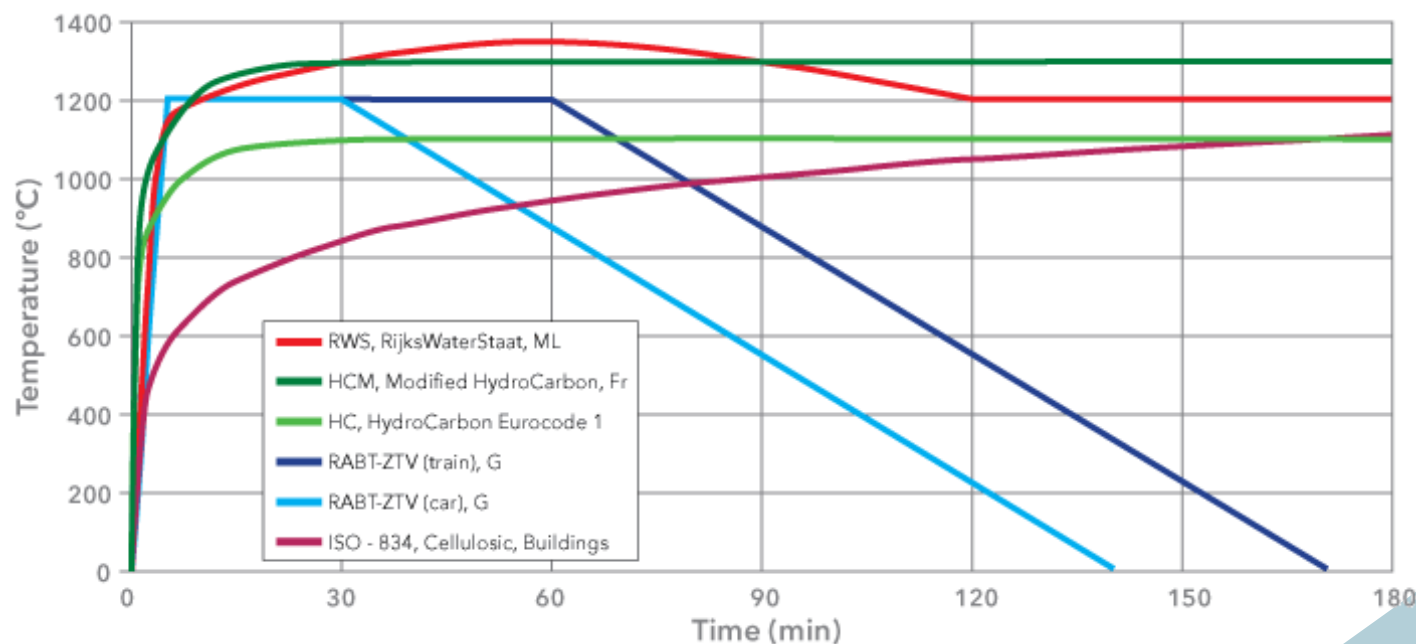
- **Krzywa ISO 834** – standardowa, używana w projektowaniu budynków.
- **Krzywa RWS (Holandia, Francja)** – ekstremalne warunki pożaru (1350°C przez 120 min).
- **Krzywa HC (Hydrocarbon)** – dla tuneli z ruchem pojazdów ciężkich, typowa dla Niemiec, Austrii.

•Efekty różnic:

- Inne klasy odporności konstrukcji (R120, R180, R240).
- Różne systemy zabezpieczeń: płyty, powłoki natryskowe, włókna PP, beton wysokowytrzymały.

•Przykłady projektów:

- Francja – tunele drogowe w standardzie RWS.
- Austria – R120–R180
- Polska – brak spójnego odniesienia do typu pożaru aż do zmian rozporządzeniu

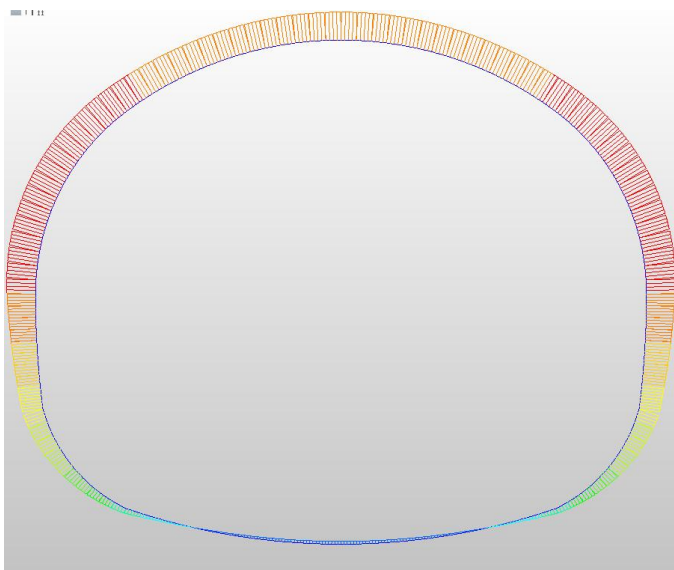


Odporność ogniowa konstrukcji tunelowych w Polsce

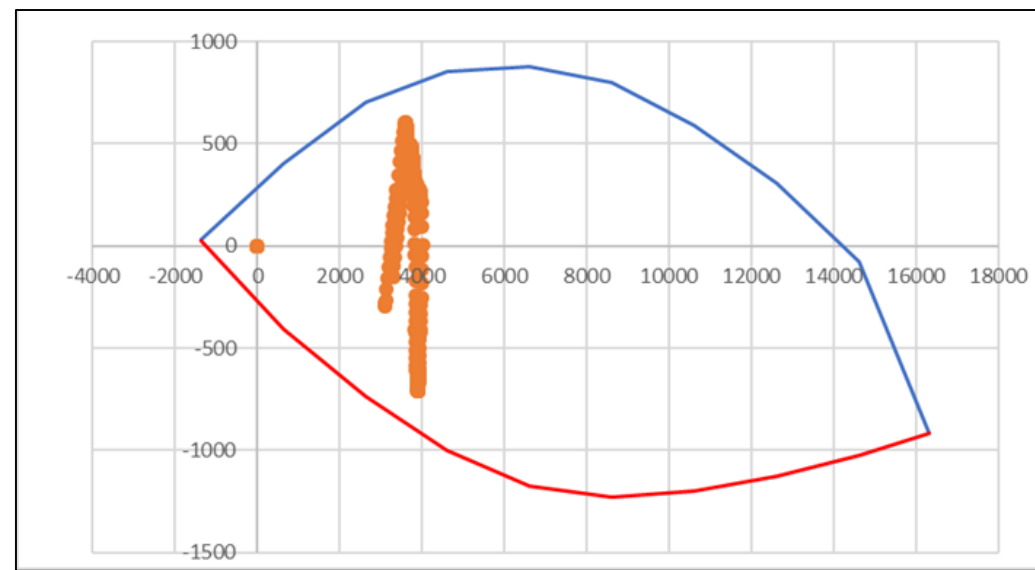
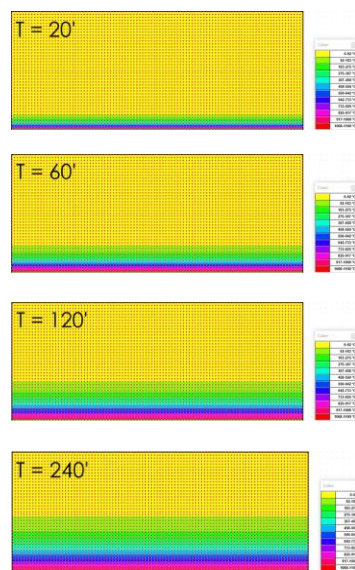
1. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (zmiany wprowadzone Dz.U. **2012** poz. 608):

10 par. 321 „1. Konstrukcja tunelu oraz strop lub ściana rozdzielająca jego nawy powinny posiadać odporność ogniową w zakresie nośności ogniowej (R) nie niższą niż **R 240**.”

Stąd np. **Tunele S1 w ciągu Węgierskiej Górki** były projektowane z założeniami R240.



Rozkład momentów w obudowie spowodowany rozszerzalnością cieplną betonu poddanego działaniu ognia.



Obszar M–N sklepienia narażony na działanie ognia zgodnie z krzywą temperatura–czas RWS oraz klasą odporności ogniowej R240.

Odporność ogniowa konstrukcji tunelowych w Polsce

*2. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (zmiany wprowadzone Dz.U. **2019** poz. 1642)*

§ 321.

1.Konstrukcja nośna tunelu powinna posiadać odporność ogniową przez określony czas, który w przypadku pożaru zapewni wystarczającą ilość czasu na samodzielne opuszczenie miejsca niebezpiecznego przez użytkowników tunelu oraz umożliwi działania służb ratowniczych, bez zagrożenia zawalenia się tej konstrukcji.

1.Konstrukcja nośna tunelu służącego do przeprowadzenia drogi przeznaczonej do ruchu pojazdów innych niż rowery powinna posiadać nośność ogniową nie niższą niż **120 minut**, określoną w odniesieniu do krzywej tunelowej temperatura–czas, której wartości określa tabela:

Czas [min]	Temperatura [°C]
0	20
3	890
5	1140
10	1200
30	1300
60	1350
90	1300
120	1200
180	1200

Stąd np. **Tunele S19 i S6 zostały zaprojektowane z założeniami R120 dla krzywej RWS.**

Dodatkowe wymagania – bezpieczeństwo ponad normę

Przykłady wymagań ponadstandardowych:

- **Zastosowanie powłok lub paneli ogniochronnych** w celu ograniczenia szoku termicznego betonu.
- **Zwiększona klasa odporności ogniowej**
- **Testy odporności materiałów i połączeń** w warunkach pożaru RWS
- **Systemy detekcji i aktywnego gaszenia** (mgła wodna, systemy kurtynowe).
- Wymóg analizy wpływu pożaru na **temperaturę konstrukcji** i wentylację.
- **Analizy AI** ryzyk, prawdopodobieństw, sterowania systemami i ewakuacją.

Nowoczesne projekty tunelowe nie ograniczają się do spełnienia przepisów — ich celem jest **zachowanie funkcjonalności i bezpieczeństwa konstrukcji nawet po ekstremalnym zdarzeniu pożarowym**

Jak projektować, gdy przepisy nie nadążają za rzeczywistością techniczną?

Gdy przepisy nie nadążają – konieczne są Inwestycje w Programy Badawczo-Rozwojowe, dodatkowo: Zamawiający i Projektant i Wykonawca muszą współpracować!

Nie wszystko da się znaleźć w rozporządzeniach i normach.

W takich sytuacjach kluczowe są:

- doświadczenie,
- odpowiedzialność projektanta,
- odwołanie do standardów międzynarodowych,
- oraz świadome uzgodnienia z Zamawiającym i rzeczoznawcami.

**Prawo wyznacza granice.
Inżynieria tworzy nową przestrzeń w tych granicach.**

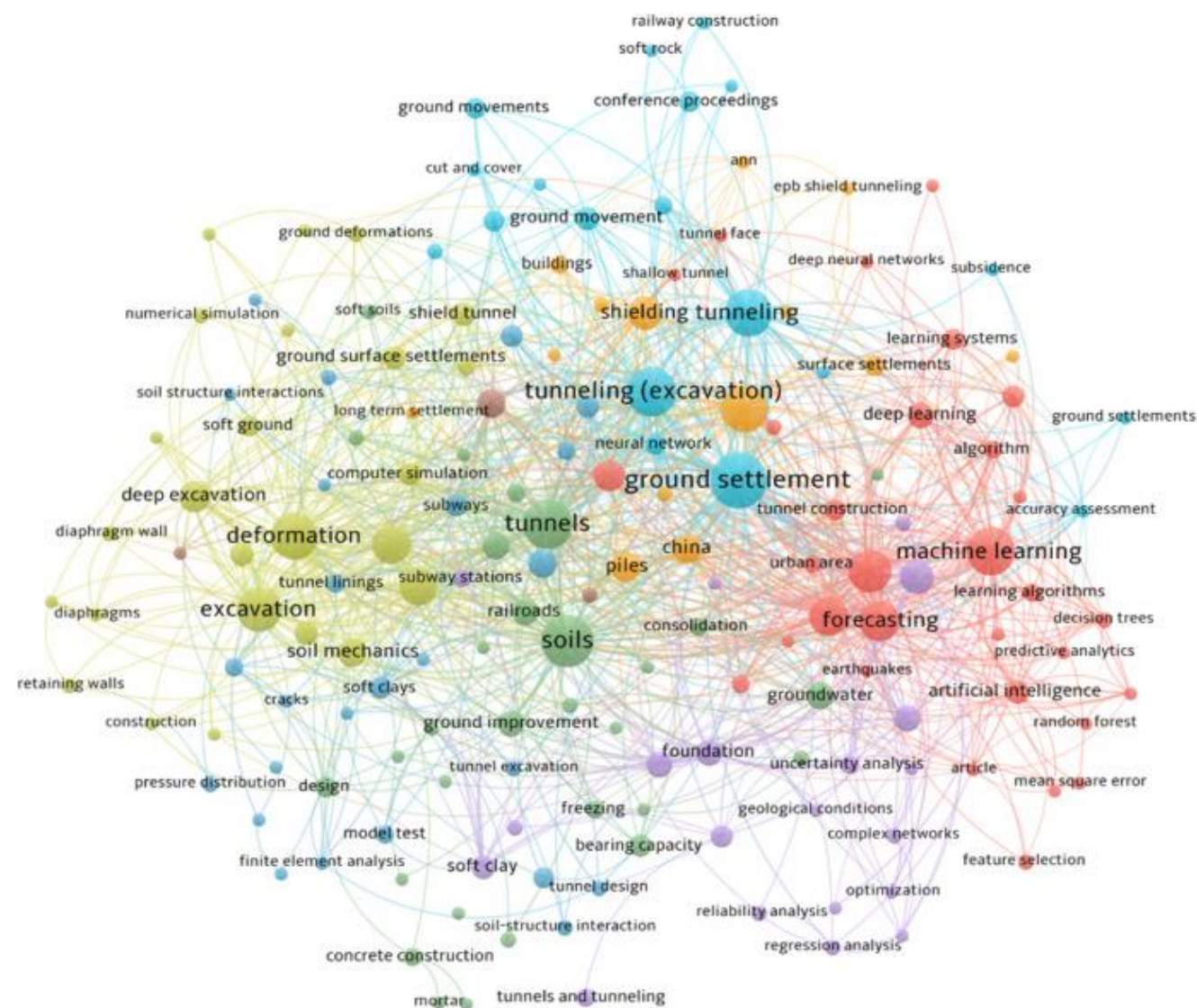




04.

Programy Badawczo-Rozwojowe: AI w tunelu

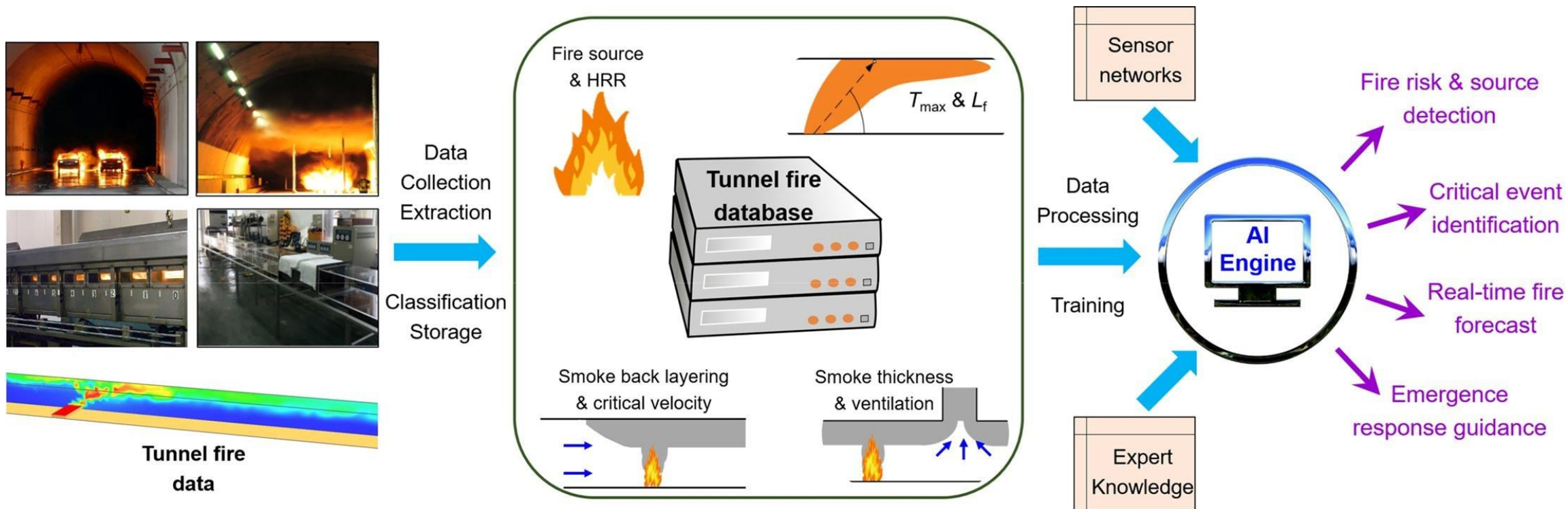
AI w tunelach



Źródło: Perspectives of big experimental database and artificial intelligence in tunnel fire research

Autor: Xiaoning Zhang, Xiqiang Wu, Younggi Park, Tianhang Zhang, Xinyan Huang , Fu Xiao, Asif Usmani

AI w tunelach





05.

Tunele i język polski

Wspólny tunel, różne języki – czyli sztuka porozumienia technicznego

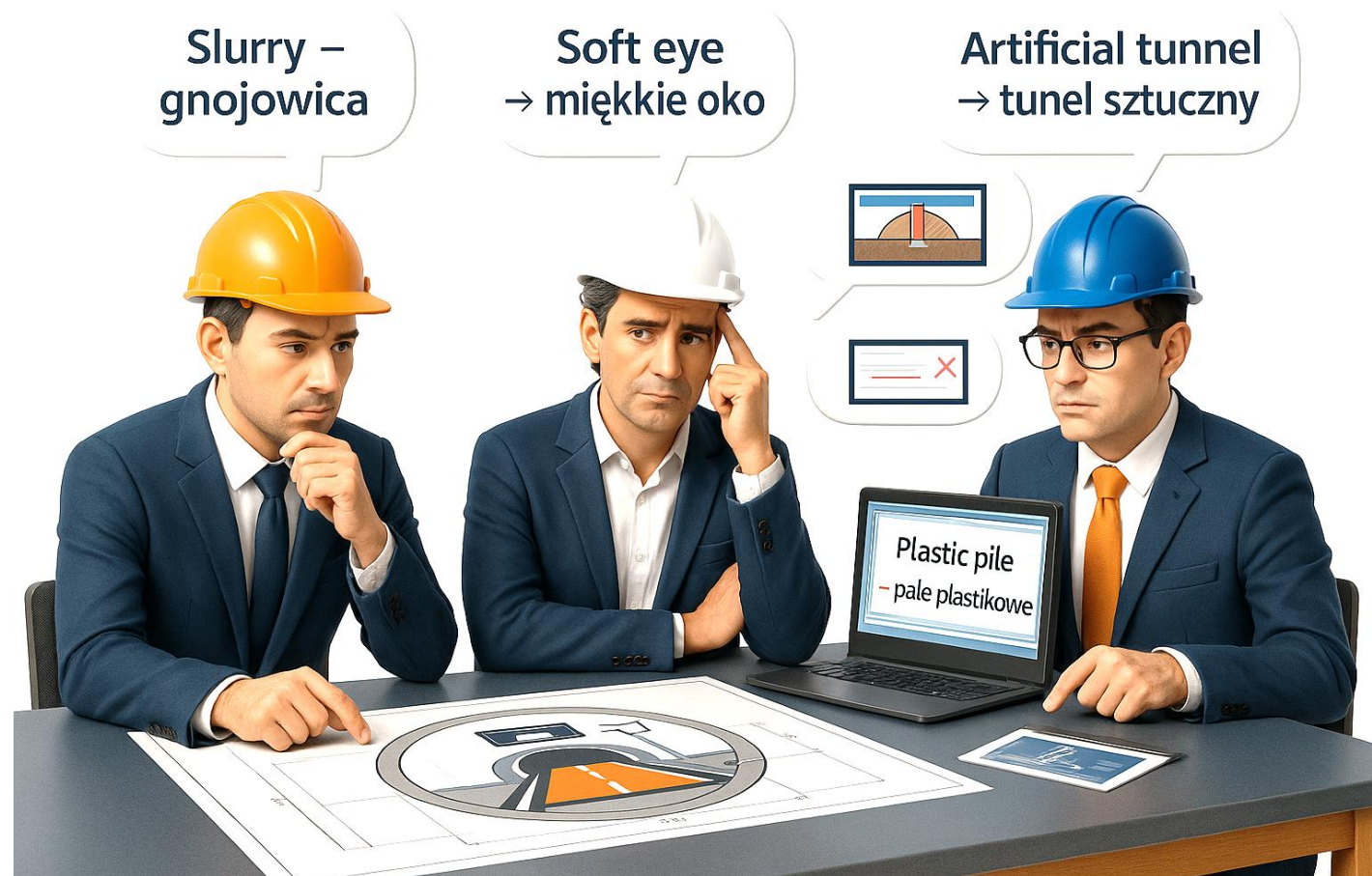
„Kwiatki” tłumaczeniowe przy pośpiechu i braku wiedzy technicznej:

-*Slurry* (jako płuczka bentonitowa) - przetłumaczone na "gnojowica";

-*Soft eye* (strefa przebicia palisady przez TBM) - dosłowne tłumaczenie na "miękkie oko„

-*Plastic pile* (wzmocnienie gruntu palami miękkimi, bez zbrojenia) - dosłowne tłumaczenie na "pale plastikowe„

-Fake, false, artificial tunnel (tunel monolityczny w wykopie otwartym) - dosłownie jako "tunel sztuczny", "tunel z tworzywa"



Zrozumieć tunel – i siebie nawzajem

Obwał, zawał, kalota, sztroś, spąg...

A potem pojawia się TBM i mówi *soft eye*, *blow-out*, *blow-in*...

Czas wreszcie stworzyć **słownik**, który połączy **tradycję z technologią**





06.

Tunel i estetyka



Shanghai Bund Tunnel pod rzeką Huangpu - Chiny



Wellington Cable Car Tram – Nowa Zelandia



Tunel pieszy w Denver Sandhills Park - USA



Lærdal Tunnel - Norwegia





Kiyotsu Gorge Tunnel - Japonia



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

#Tunnel Design
#Geotechnic and underground
#Technical and Detail Design
#D&B