

Ile bezpieczeństwa dają nam poszczególne systemy ppoż. w tunelu?

dr hab. inż. Wojciech Węgrzyński, prof. ITB
mgr. inż. Jakub Bielawski
Instytut Techniki Budowlanej

<<bezpieczeństwo>>

Słownik Języka Polskiego (sjp.pl)
stan braku zagrożeń;

Wielki Słownik Języka Polskiego (wsjp.pl)
stan, w którym w razie zagrożenia powinno zadziałać coś, co ma mu zapobiec, a
sytuacje, w których może wydarzyć się coś złego, są mało prawdopodobne

<<bezpieczeństwo>>

Słownik Języka Polskiego (sjp.pl)
stan braku zagrożeń;

Wielki Słownik Języka Polskiego (wsjp.pl)
stan, w którym w razie zagrożenia powinno zadziałać coś, co ma mu zapobiec, a
sytuacje, w których może wydarzyć się coś złego, są mało prawdopodobne

Dla mnie jako inżyniera bezpieczeństwa – produkt ciężkiej i wytężonej pracy grupy
inżynierów, mających na celu ograniczenie prawdopodobieństwa i minimalizację
skutków zdarzeń niekorzystnych, w sposób racjonalny.

Gdzie jesteśmy dzisiaj?



- Mamy praktyczne doświadczenie z użytkowania kilkunastu tuneli drogowych i kolejowych, podziemnych dworców i dwóch linii metra...
- W projektowaniu i przygotowaniu kolejnych kilkanaście tuneli drogowych, kilkanaście tuneli kolejowych, w tym olbrzymie projekty CPK i podziemne sieci transportu.
- Nasza praca wciąż w dużej mierze opiera się na zbliżonych do niemieckich/austriackich wytycznych z końca lat 90-tych. Pomimo zmian i ewolucji w wielu obszarach, w praktyce działamy w sposób który nieznacząco uległ zmianie.

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- Przepisy nakazowe (Prescriptive?)
- Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)
- Deem-to-satisfy?

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- **Przepisy nakazowe (Prescriptive?)**

Przepisy stawiają **wymagania ilościowe** w zakresie rozwiązań technicznych i ich rozwiązań. Np. ile ma być wentylatorów czy jaka klasa odporności ogniowej. Co ile metrów wyjście. Jaka wysokość tunelu... itd.

- **Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)**

- **Deem-to-satisfy?**

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- **Przepisy nakazowe (Prescriptive?)**

Przepisy stawiają **wymagania ilościowe** w zakresie rozwiązań technicznych i ich rozwiązań. Np. ile ma być wentylatorów czy jaka klasa odporności ogniowej. Co ile metrów wyjście. Jaka wysokość tunelu... itd.

- **Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)**

Przepisy stawiają **cele funkcjonalne**, a skuteczność rozwiązań ocenia się na drodze inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

- **Deem-to-satisfy?**

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- **Przepisy nakazowe (Prescriptive?)**

Przepisy stawiają **wymagania ilościowe** w zakresie rozwiązań technicznych i ich rozwiązań. Np. ile ma być wentylatorów czy jaka klasa odporności ogniowej. Co ile metrów wyjście. Jaka wysokość tunelu... itd.

- **Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)**

Przepisy stawiają **cele funkcjonalne**, a skuteczność rozwiązań ocenia się na drodze inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

- **Deem-to-satisfy?**

Przepisy podają przykładowe rozwiązania techniczne które spełniają wymagania funkcjonalne, i nie wymagają na to żadnych dowodów.

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- Przepisy nakazowe (Prescriptive?)

Spełnienie przepisu = **bezpieczeństwo**

- Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)

Osiągnięcie celu = **bezpieczeństwo**

- Deem-to-satisfy?

Użycie danego rozwiązania = **bezpieczeństwo**

Jaki my w ogóle mamy system przepisów?



- Przepisy nakazowe (Prescriptive?)
- Przepisy funkcjonalne (Performance Based Design?)
- Deem-to-satisfy?

... w mojej ocenie mamy do czynienia z dość unikalnym mixem wszystkich powyższych rozwiązań w odniesieniu do różnych przejawów bezpieczeństwa.

Przejawy bezpieczeństwa?



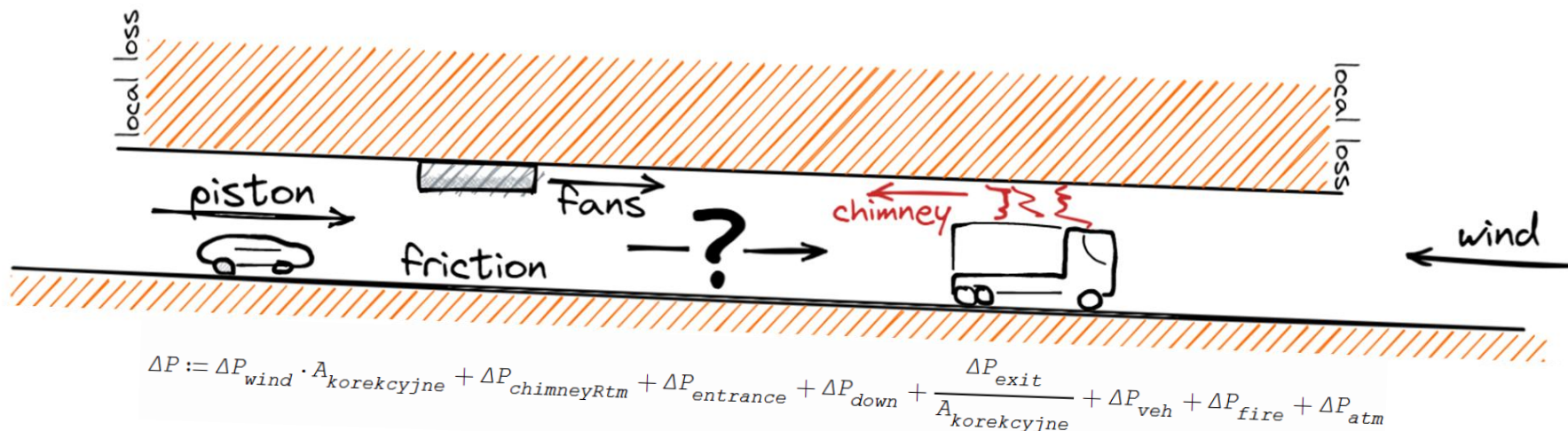
- Bezpieczeństwo użytkowników (ochrona życia i zdrowia)
- Bezpieczeństwo mienia
- Bezpieczeństwo ekip ratowniczych
- Ciągłość świadczenia usług
- Rezyliencja (przywrócenie do sprawności)

Co będziemy dzisiaj rozważać



- Wentylacja pożarowa
 - System ewakuacji
 - Geometria obiektu
 - Zabezpieczenia konstrukcji
 - Systemy gaszenia
- Indywidualnie, wzajemnie i łącznie
- Bezpieczeństwo użytkowników (ochrona życia i zdrowia)
 - Bezpieczeństwo mienia
 - Bezpieczeństwo ekip ratowniczych
 - Ciągłość świadczenia usług
 - Rezyliencja (przywrócenie do sprawności)

Wentylacja pożarowa



Ma za zadanie usunąć dym i gorące gazy pożarowe, zapewniając możliwość ewakuacji oraz podjęcia działań ratowniczych. W domyśle, ogranicza straty pożarowe poprzez zmniejszenie temperatury dymu.

Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

a) Najgorszy możliwy pożar (~100MW)

Moc pożaru	Samochody osobowe i lekkie dostawcze	Pojazdy ciężarowe
Dane Austriackie		
pojazd płonący wyjechał z tunelu	6 %	25 %
0 – 1 MW	58 %	37 %
5 MW	36 %	23 %
30 MW	-	14 %
100 MW	-	1 %
Dane Południowokoreańskie		
1 MW	77 %	17 %
5 MW	23 %	42 %
25 MW	-	33 %
50 MW	-	8 %
100 MW	-	-
Dane Włoskie		
1 MW	40 %	85 %
5 MW	59 %	
8 MW	1 %	
15 MW	-	12 %
30 MW	-	2 %
50 MW	-	1 %

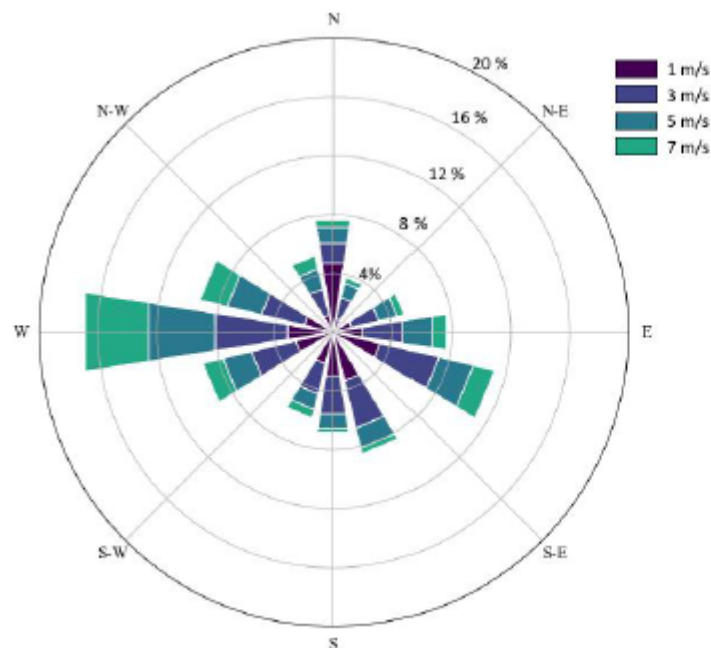
Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

a) Najgorszy możliwy pożar (~100MW)

b) Najgorszy możliwy wiatr



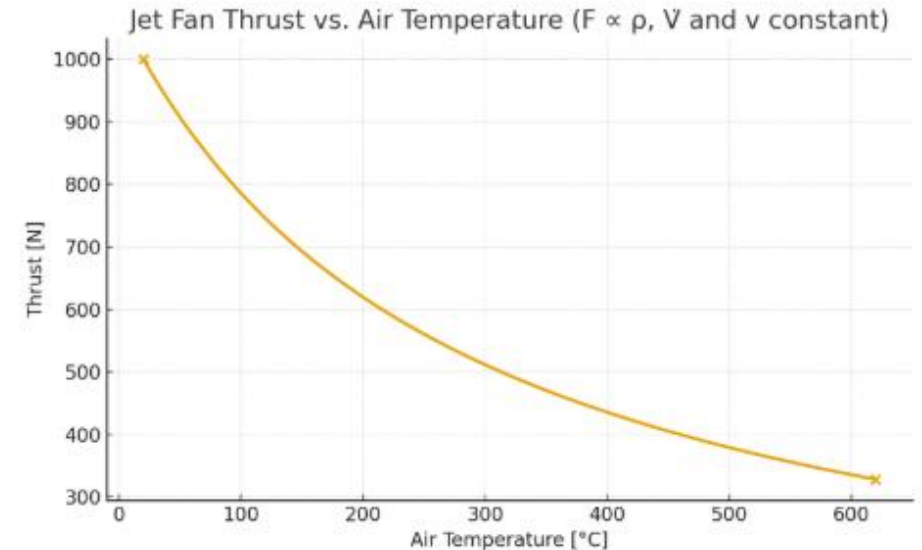
U _{ref}	1 m/s	3 m/s	5 m/s	7 m/s	Sum
N (0°)	4.72	1.44	1.09	0.49	7.74
30°	0.91	1.46	1.03	0.39	3.79
60°	1.31	1.91	1.25	0.46	4.93
E (90°)	2.02	2.79	1.9	0.97	7.68
120°	3.31	3.95	2.4	1.51	11.17
150°	3.39	3.31	1.41	0.41	8.52
S (180°)	3.01	2.57	0.95	0.25	6.78
210°	2.15	2.06	1.08	0.57	5.86
240°	2.61	3.08	2	1.35	9.04
W (270°)	3.14	5.03	4.62	4.44	17.23
300°	1.97	2.96	2.41	1.93	9.27
330°	1.18	1.83	1.39	0.93	5.33
Total					97.34

Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

- a) Najgorszy możliwy pożar (~100MW)
- b) Najgorszy możliwy wiatr
- c) Najgorszą lokalizację pożaru (sam początek)

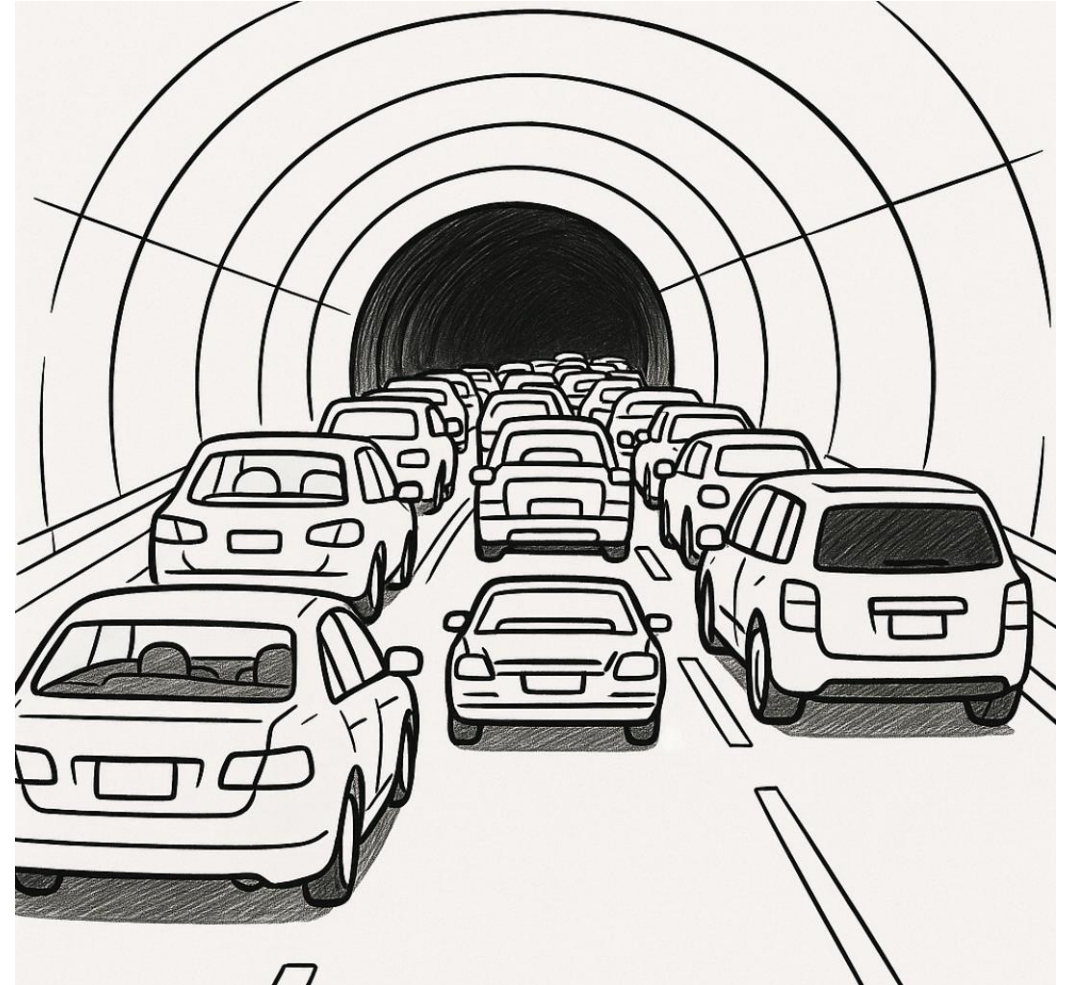


Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

- a) Najgorszy możliwy pożar ($\sim 100\text{MW}$)
- b) Najgorszy możliwy wiatr
- c) Najgorszą lokalizację pożaru (sam początek)
- d) Największy ruch drogowy...



Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

- a) Najgorszy możliwy pożar ($\sim 100\text{MW}$)
- b) Najgorszy możliwy wiatr
- c) Najgorszą lokalizację pożaru (sam początek)
- d) Największy ruch drogowy...
- e) Największe możliwe opóźnienia na każdym z systemów bezpieczeństwa

Wentylacja pożarowa



Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

-) Powstanie pożaru w tunelu $P = 0.33$
-) I to był pojazd ciężarowy... $P = 0.30$
- a) Najgorszy możliwy pożar (~100MW) $P = 0.01$
- b) Najgorszy możliwy wiatr $P = 0.01$
- c) Najgorszą lokalizację pożaru (sam początek) $P = 50 \text{ m} / L = 50/1000 = 0.02$
- d) Największy ruch drogowy... $P = (5 / 7) * (42/52) * (3 / 24) = 0.07$
- e) Największe możliwe opóźnienia $P = 1$

$$P = 0.33 * 0.30 * 0.03 * 0.01 * 0.01 * 0.02 * 0.07 * 1 = 0,000000001386$$

Wentylacja pożarowa

10^{-1} (1 na 10) – Poślizgnięcie się na mokrej podłodze w ciągu roku

10^{-2} (1 na 100) – Awaria samochodu w długiej trasie

10^{-3} (1 na 1 000) – Udział w kolizji drogowej w danym roku

10^{-4} (1 na 10 000) – Złamanie nogi podczas rekreacyjnego sportu

10^{-5} (1 na 100 000) – Porażenie prądem w gospodarstwie domowym

10^{-6} (1 na 1 000 000) – Zranienie przez spadający przedmiot z budynku

10^{-7} (1 na 10 000 000) – Katastrofa lotnicza pasażera na regularnym locie

10^{-8} (1 na 100 000 000) – Moja kombinacja projektowa na wentylację pożarową

10^{-9} (1 na 1 000 000 000) – Zniszczenie satelity przez mikrometeoroid

10^{-10} (1 na 10 000 000 000) – Śmierć od uderzenia dużego meteorytu

Wentylacja pożarowa

Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową:

-) Powstanie pożaru w tunelu $P = 0.33$
-) I to był pojazd ciężarowy... $P = 0.30$
- a) Najgorszy możliwy pożar ($\sim 100\text{MW}$) $P = 0.01$
- b) Najgorszy możliwy wiatr $P = 0.01$
- c) Najgorszą lokalizację pożaru (sam początek) $P = 50 \text{ m} / L = 50/1000 = 0.02$
- d) Największy ruch drogowy... $P = (5 / 7) * (42/52) * (3 / 24) = 0.07$
- e) Największe możliwe opóźnienia $P = 1$

$$P = 0.33 * 0.3 * 0.03 * 0.01 * 0.01 * 0.02 * 0.07 * 1 = 0,00000001386$$

Przyjęta kombinacja projektowa przekłada się wprost na wymagane parametry pracy systemu wentylacji

$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 15506,67 \text{ N}$$

Wentylacja pożarowa

Projektujemy ją na bardzo specyficzną sytuację projektową.

$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 15506,67 \text{ N}$$

A gdyby to był tylko pożar osobówki w tych samych warunkach?

$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 8928,36 \text{ N}$$

A gdyby był tylko słabszy wiatr, a pożar wciąż 100 MW?

$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 8257,79 \text{ N}$$

A gdyby pożar był tak troszeczkę mniejszy – 60MW i wystąpił w końcówce długości?

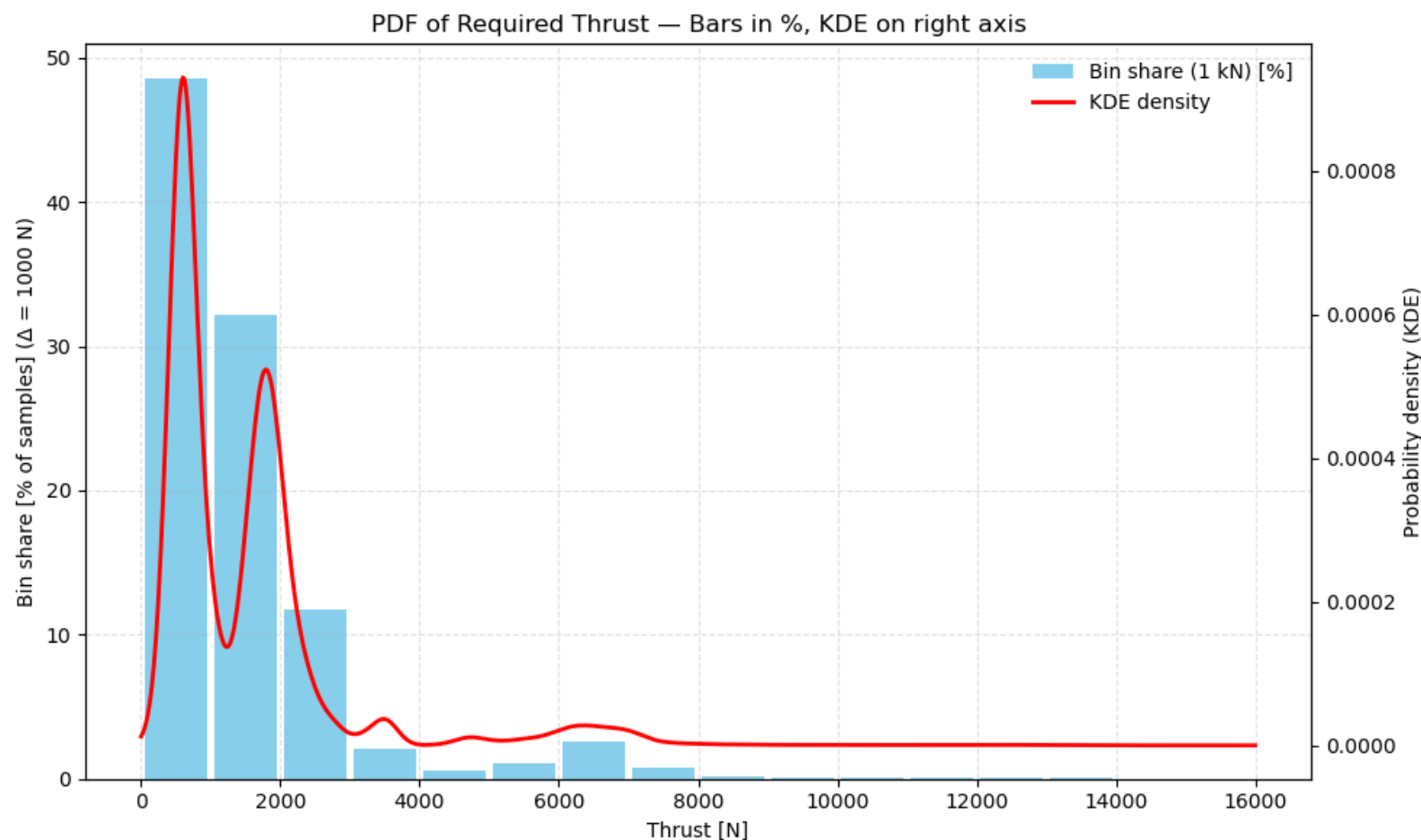
$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 6613,14 \text{ N}$$

Osobówka, bez wiatru i na samym końcu ... ?

$$F_{req} := A \cdot \Delta P = 2480,32 \text{ N}$$

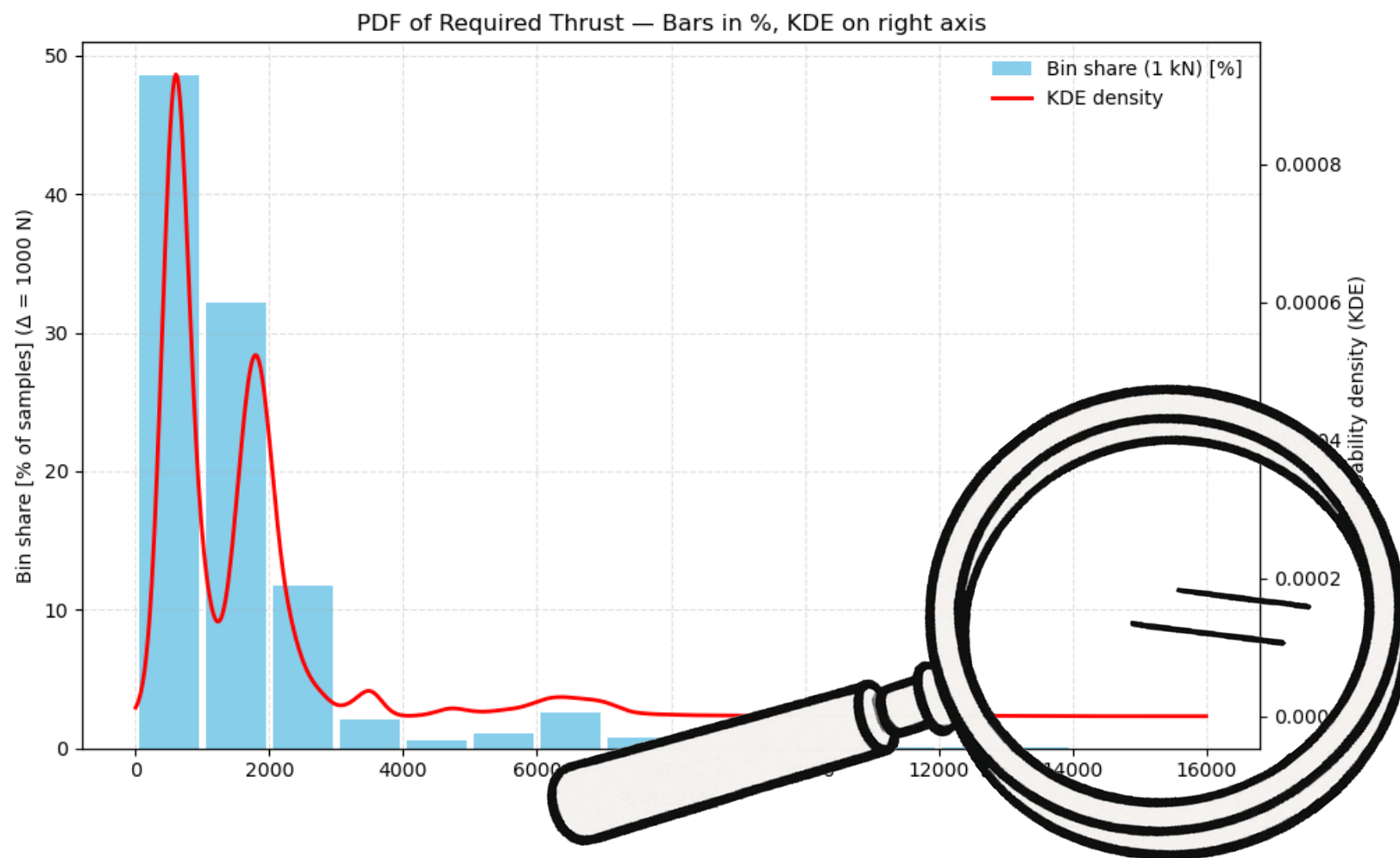
Wentylacja pożarowa

Powtarzając to ćwiczenie **1 milion** razy dla rozkładów prawdopodobieństwa danych wejściowych dla tunelu o długości 1 km uzyskałem taki rozkład zapotrzebowania na ciąg



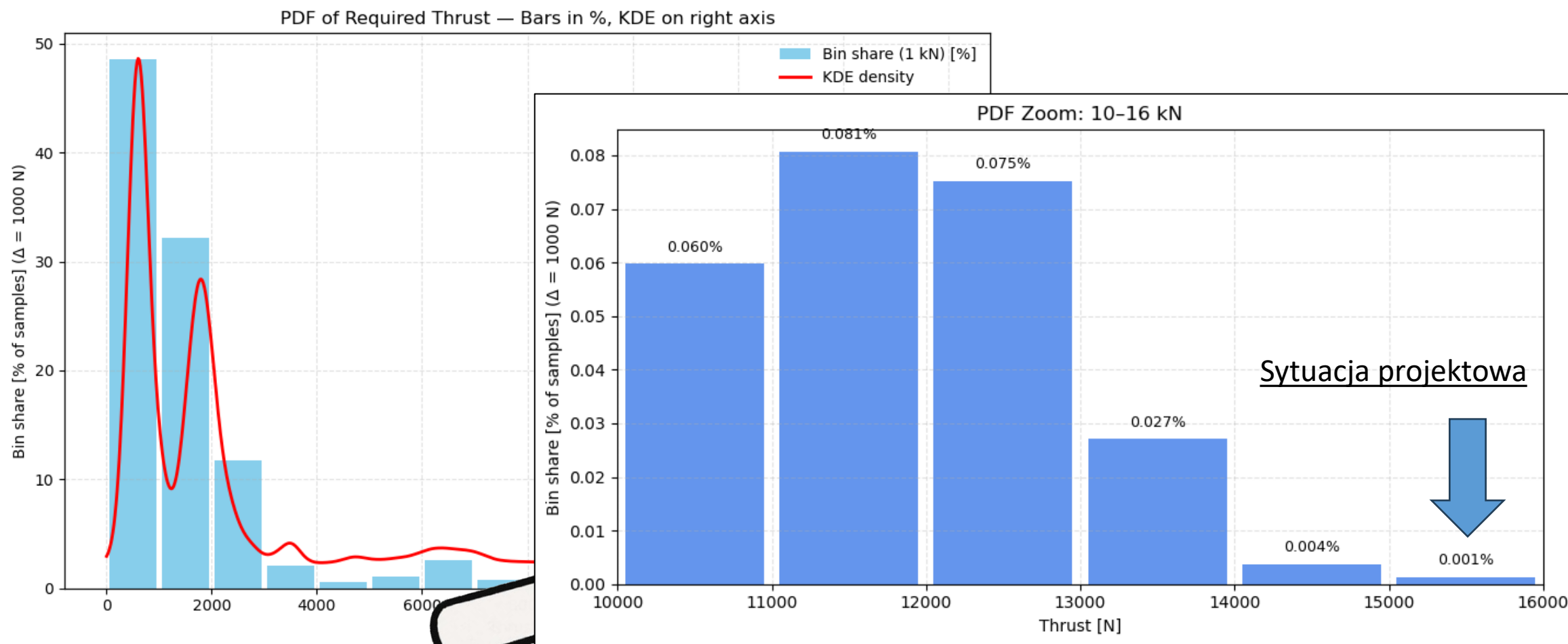
Wentylacja pożarowa

Powtarzając to ćwiczenie 1 milion razy dla rozkładów prawdopodobieństwa danych wejściowych dla tunelu o długości 1 km uzyskałem taki rozkład zapotrzebowania na ciąg

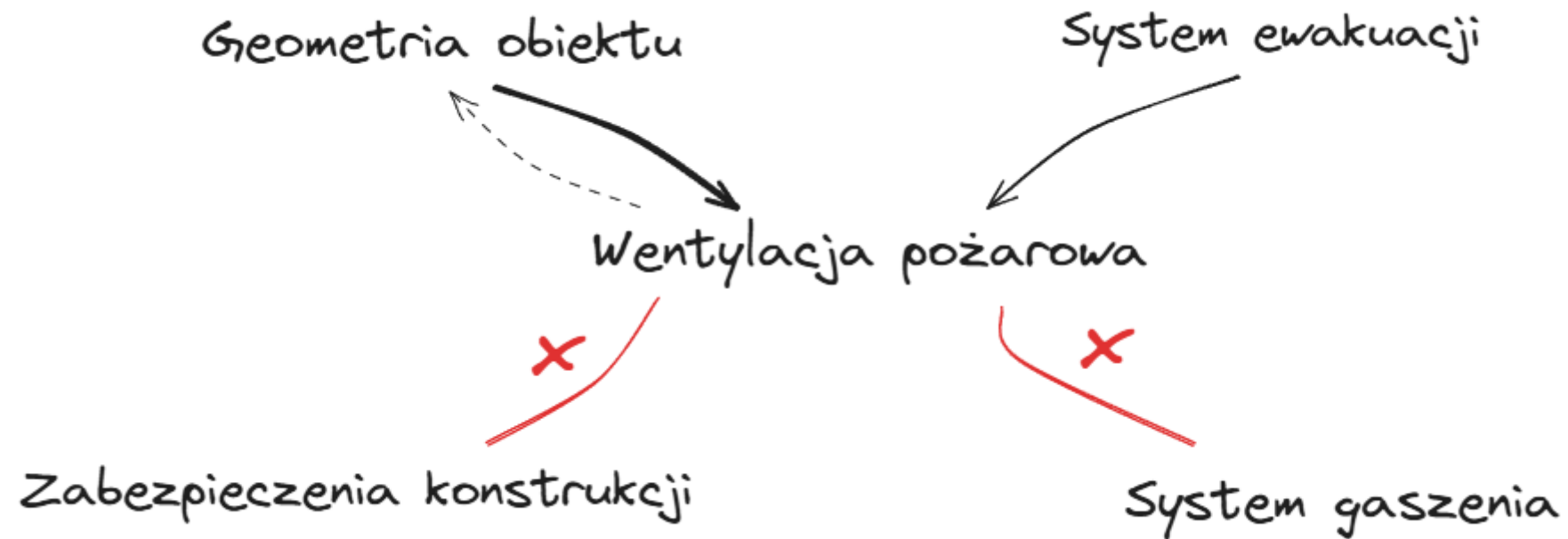


Wentylacja pożarowa

Powtarzając to ćwiczenie **1 milion** razy dla rozkładów prawdopodobieństwa danych wejściowych dla tunelu o długości 1 km uzyskałem taki rozkład zapotrzebowania na ciąg



Wentylacja pożarowa



Ewakuacja



Na system ewakuacji składają się (między innymi)

- a) Chodniki ewakuacyjne
- b) Drzwi wyjściowe
- c) Przejścia poprzeczne i przejazdy awaryjne
- d) Systemy napowietrzania przejść poprzecznych
- e) Place zbiórki
- f) Oświetlenie, sygnalizacja dźwiękowa, sygnał FM

Ewakuacja



Na system ewakuacji składają się (między innymi)

- a) **Chodniki ewakuacyjne**
- b) Drzwi wyjściowe
- c) **Przejścia poprzeczne i przejazdy awaryjne**
- d) Systemy napowietrzania przejść poprzecznych
- e) Place zbiórki
- f) Oświetlenie, sygnalizacja dźwiękowa, sygnał FM

Ewakuacja



Czas ewakuacji

$$150 \text{ m} : 1.2 \text{ m/s} = 108 \text{ s}$$

$$\mathbf{RSET = (t_{det} + t_a) + (t_{rozp} + t_{reak}) + t_{trav} = 120 \text{ s} + 159 \text{ s} + 108 \text{ s} = 387 \text{ s}}$$

Ewakuacja



Czas ewakuacji przy wyjściach co 150 m

150 m : 1.2 m/s = 108 s

$$\text{RSET} = (t_{\text{det}} + t_a) + (t_{\text{rozp}} + t_{\text{reak}}) + t_{\text{trav}} = 120 \text{ s} + 159 \text{ s} + \mathbf{108 \text{ s}} = 387 \text{ s}$$

Czas ewakuacji przy wyjściach co 225 m

250 m : 1,2 m/s = 208 s

$$\text{RSET} = (t_{\text{det}} + t_a) + (t_{\text{rozp}} + t_{\text{reak}}) + t_{\text{trav}} = 120 \text{ s} + 159 \text{ s} + \mathbf{208 \text{ s}} = 487 \text{ s}$$

Czas ewakuacji przy wyjściach co 300 m

300 m : 1.2 m/s = 250 s

$$\text{RSET} = (t_{\text{det}} + t_a) + (t_{\text{rozp}} + t_{\text{reak}}) + t_{\text{trav}} = 120 \text{ s} + 159 \text{ s} + \mathbf{250 \text{ s}} = 529 \text{ s}$$

Czas ewakuacji przy wyjściach co 500 m

500 m : 1,2 m/s = 416 s

$$\text{RSET} = (t_{\text{det}} + t_a) + (t_{\text{rozp}} + t_{\text{reak}}) + t_{\text{trav}} = 120 \text{ s} + 159 \text{ s} + \mathbf{416 \text{ s}} = 695 \text{ s}$$

Ewakuacja



Ludzie będą korzystać z przejść ewakuacyjnych jakie im zapewnimy, ale w sytuacji kryzysowej mogą korzystać z dostępnych dróg – np. jezdni czy torowisk. Nie mamy na to wpływu...



Schmidt-Polończyk N, Wąs J, Porzycki J. What Is the Knowledge of Evacuation Procedures in Road Tunnels? Survey Results of Users in Poland. *Buildings*. 2021; 11(4):146.

Nie mamy wpływu na to czy w ogóle podjęta będzie decyzja o ewakuacji.
Nie mamy wpływu na to czy osoby w ogóle skorzystają z dróg i wyjść które przygotowaliśmy... A już na pewno, czy będzie w to „czasie RSET (WCBE)”.

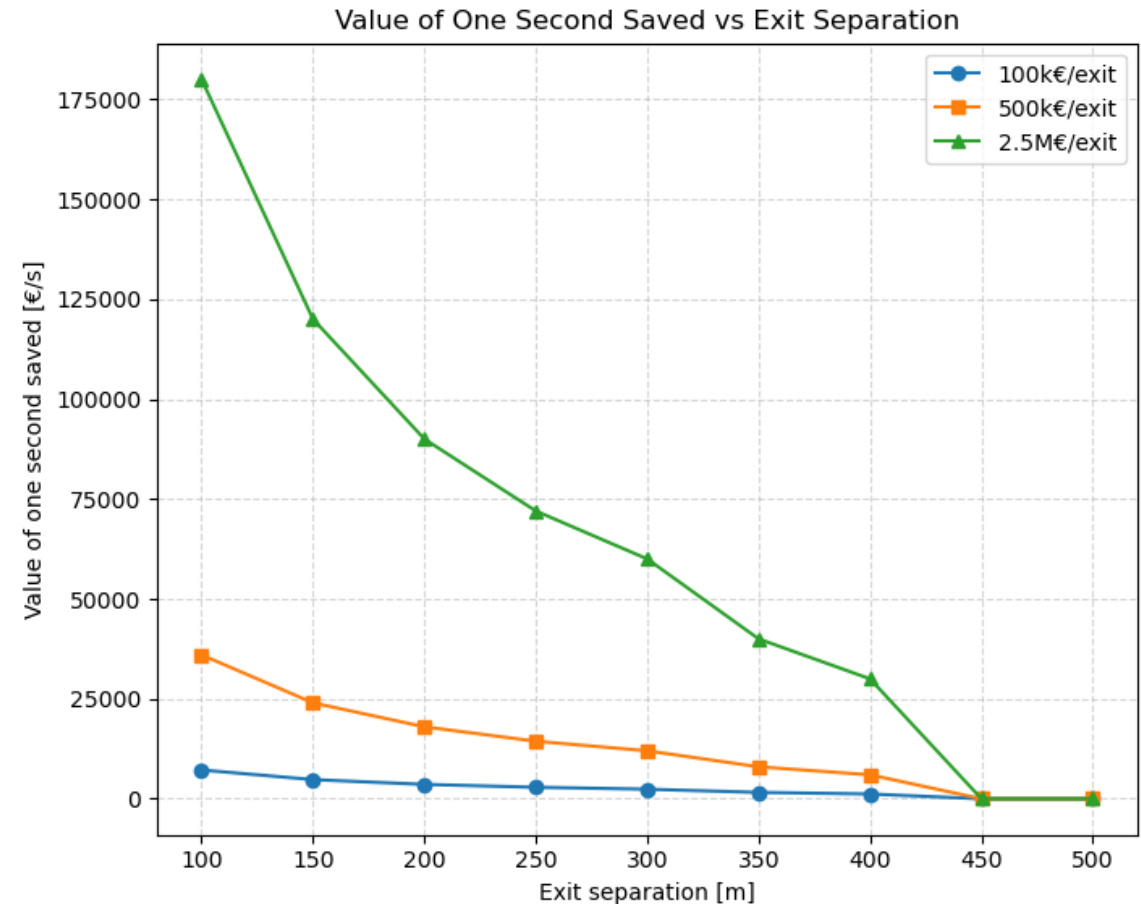
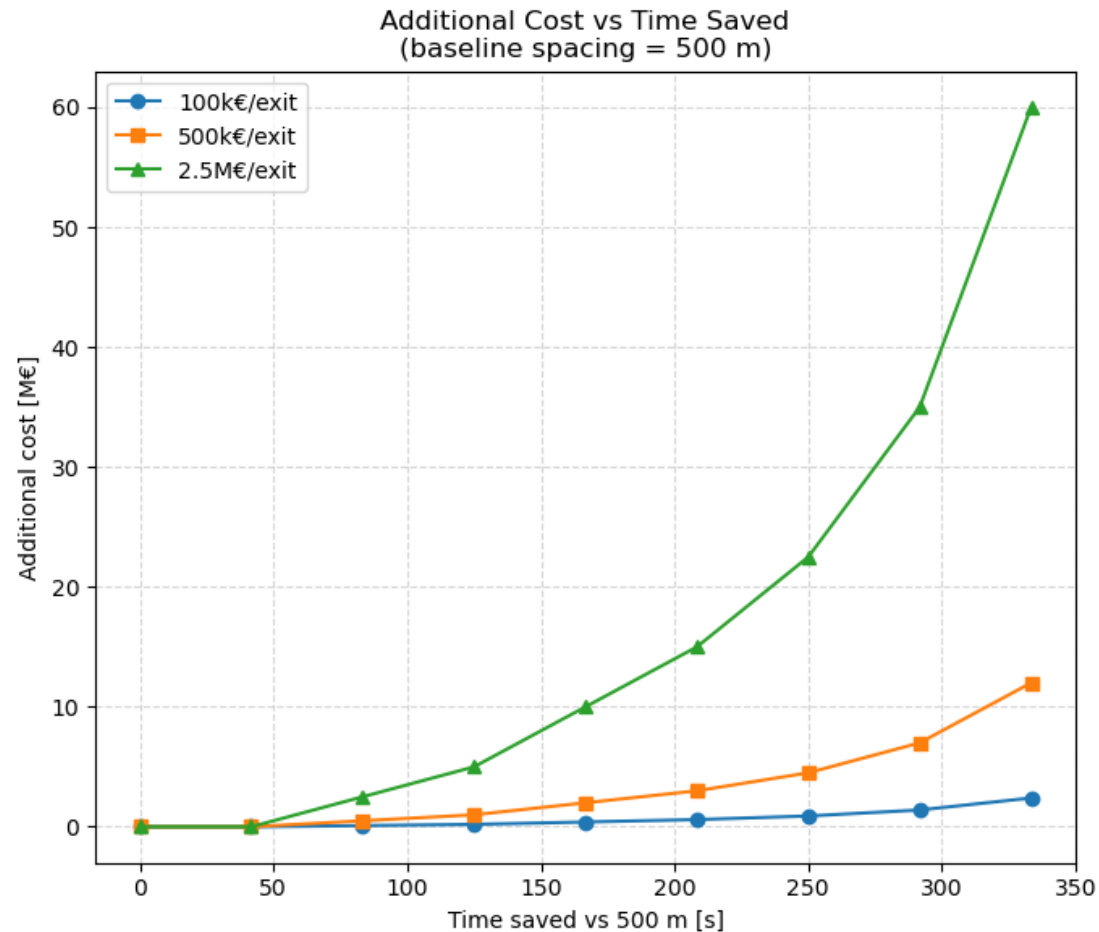


Pożar w tunelu S2 POW w Warszawie, serwis tvn24 za GDDKIA

Ewakuacja

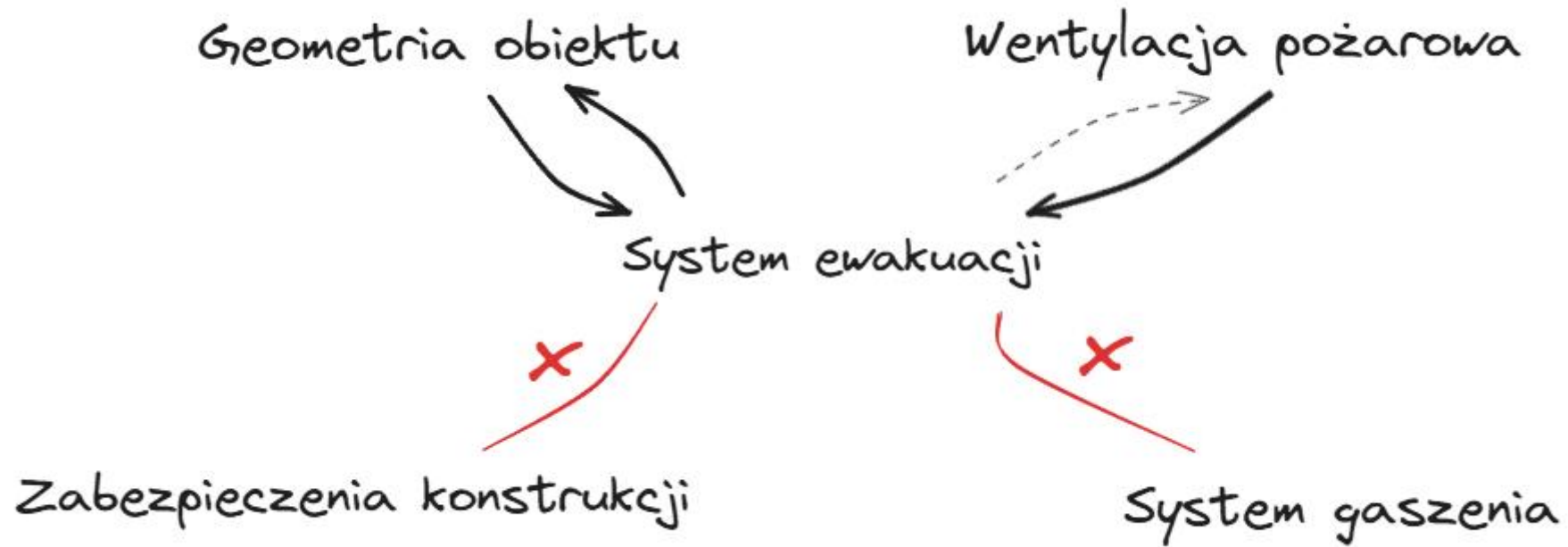


Dla tunelu o długości 3 km koszt skrócenia spodziewanego czasu WCBE to...



(wartość referencyjną wyznaczono dla odległości między wyjściami 500 m, tunel 3000 m)

Ewakuacja



Geometria



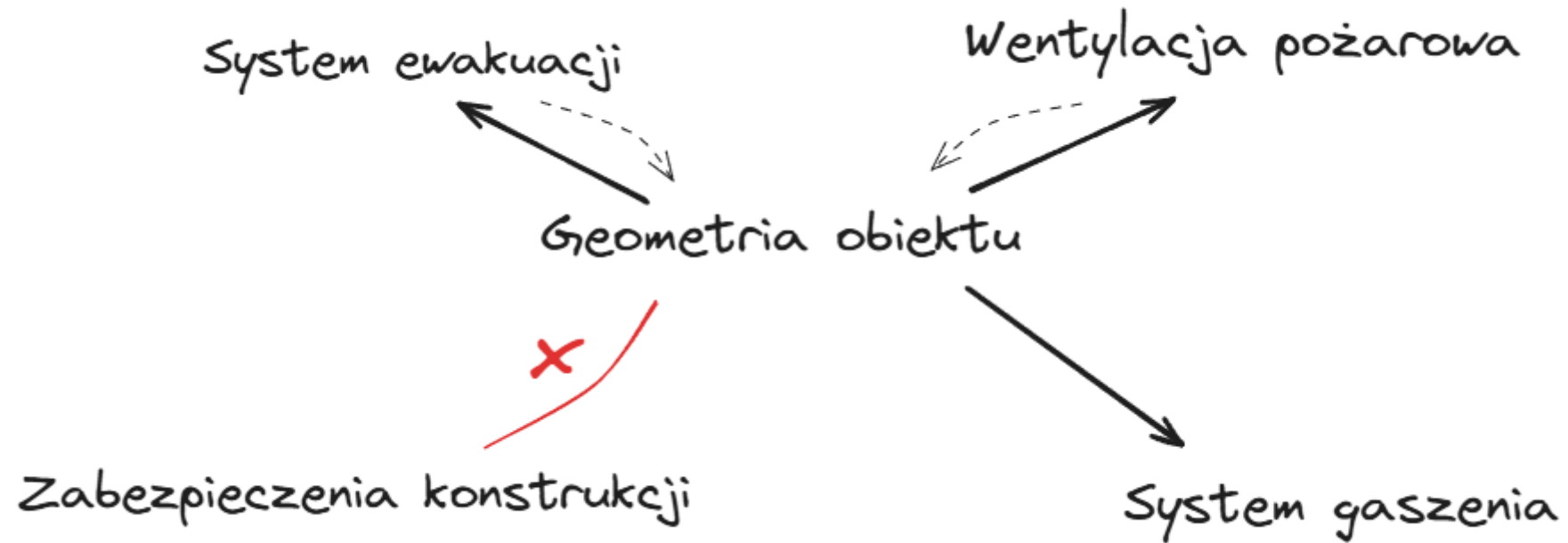
Ingason, H., Li, Y. Z., & Lönnemark, A. (2015). Runehamar tunnel fire tests. *Fire Safety Journal*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.11.015>

Wielkość obiektu w oczywisty sposób wpływa na przebieg, rozwój i wielkość pożaru. Tunele są na tyle duże, że zawsze umożliwiają powstanie pożaru o mocy ponad 100 MW (nie zabraknie tlenu), a odbicie ciepła od ścian powoduje intensyfikację spalania.

Wszystkie badania jakimi dysponujemy pochodzą z **bardzo małych tuneli**.

Wielkość tunelu wprost wpływa na wymiarowanie wentylacji. Bardzo duże tunele są z definicji bezpieczniejsze od małych, ale my tego bezpieczeństwa **nie różnicujemy** w procesie projektowania.

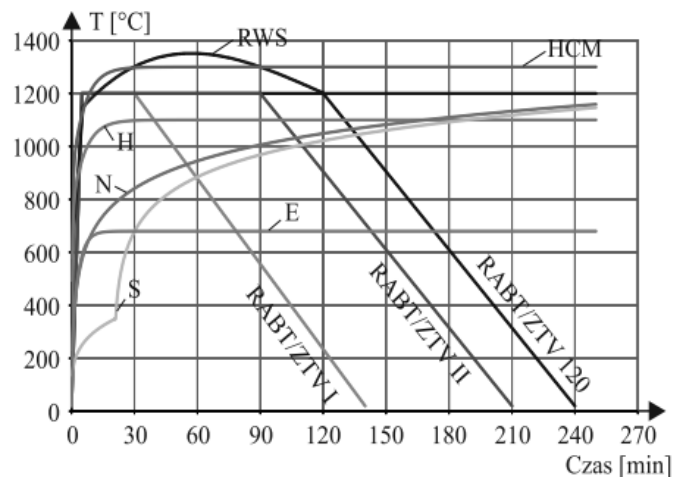
Geometria



Zabezpieczenia ogniochronne



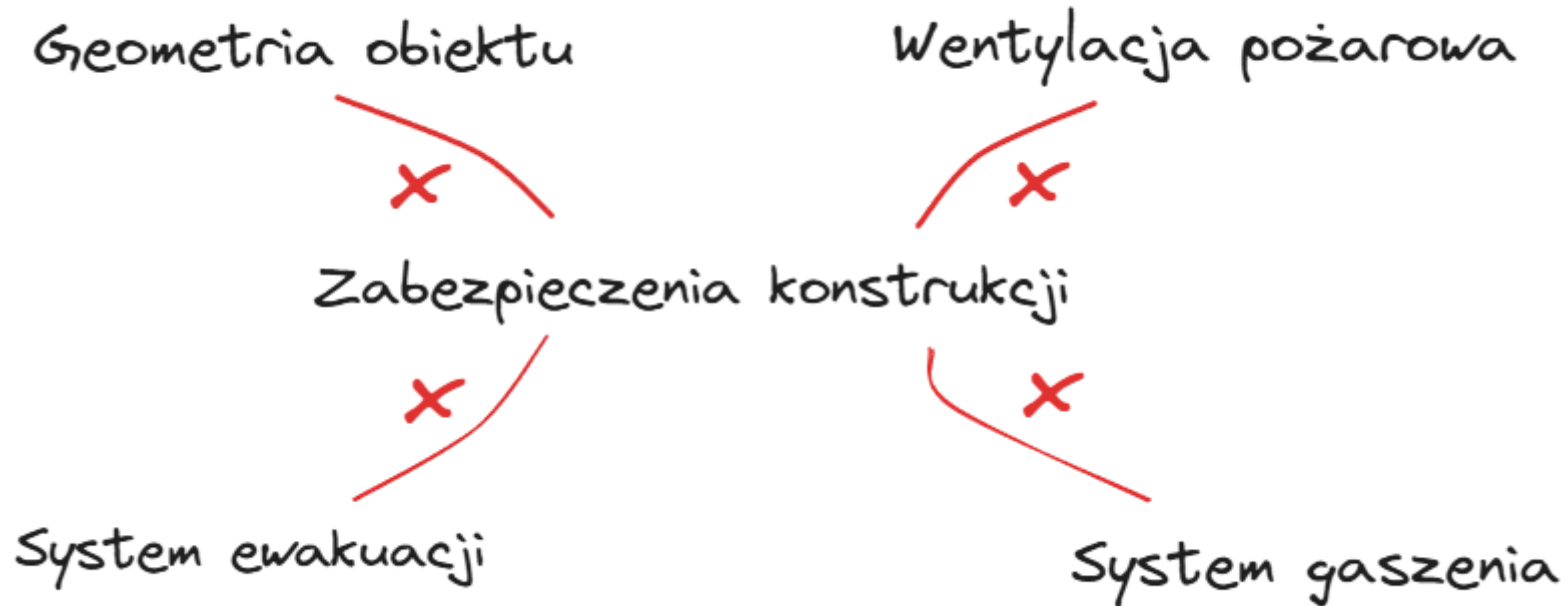
Projektowane według wytycznych RWS na ich własną krzywą temperaturową. Istnieją w ekosystemie niezależnym od inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Chronią przed zniszczeniem konstrukcji, ale także przed uszkodzeniem w formie eksplozyjnego odpryskiwania betonu. Warunki RWS możliwe są **lokalnie** nad samym pożarem, ale **globalnie** raczej nie występują w tak dużych tunelach, jak te które budujemy w Polsce. Globalnie, wymagały by pożaru o mocy wielokrotnie ponad 100MW.



Zależność temperatura-czas wykorzystywana w ocenie odporności ogniowej
Temperature-time curves used in the evaluation of fire resistance

Sulik, P. (2015). Wymagania dotyczące odporności ogniowej konstrukcji tuneli w kontekście nowelizacji przepisów. *MATERIAŁY BUDOWLANE*, 1(7), 64–65.
<https://doi.org/10.15199/33.2015.07.16>

Zabezpieczenia ogniochronne



Gaszenie



- Stałe urządzenia gaśnicze (SUG) wodne. Najlepsze przeciwdziałanie skutkom pożaru to ograniczenie samego pożaru.
- Systemy gaszenia mogą zapewnić **gaszenie** (działanie pozwalające zmniejszyć pożar), **tłumienie** (działanie pozwalające ograniczyć skutki pożaru) lub **kontrolę** (działanie pozwalające na ograniczenie rozwoju pożaru)
- Mamy dużą gamę systemów o doskonałych parametrach, badanych w tunelach – systemy zraszaczowe różnej konstrukcji, systemy mgłowe (nisko- i wysoko-ciśnieniowe), pianowe
- Uważane ogólnie za „drogie”. Jednocześnie, nic tak bardzo nie wpływa na **bezpieczeństwo**, jak bezpośrednie gaszenie w tunelu. To ratuje życie, ratuje konstrukcje, pozwala natychmiast przywrócić obiekt do działania...

Reliable®

dynamika rozwoju pożaru i gaszenie



Przepływ powietrza na nagraniu – około 2 m/s, moc pożaru (szczytowa) około 20 MW
Nagranie wideo dzięki uprzejmości Reliable i Baltic Fire Laboratory

Gaszenie

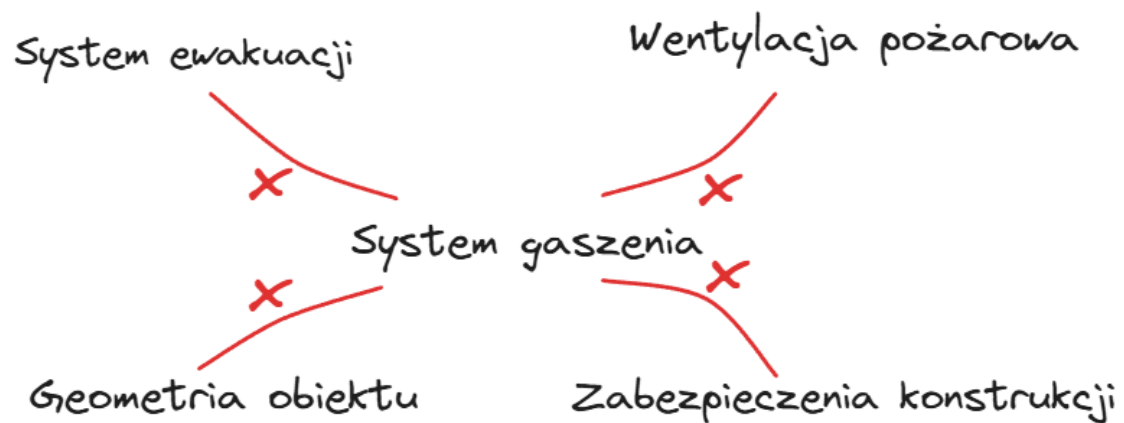


- Główna bariera – brak **bezpośredniego wymagania przepisów prawa** i jednocześnie, brak możliwości zainstalowania urządzenia w ramach inżynierii bezpieczeństwa pożarowego jako rozwiązanie zastępcze – element inżynierii kosztu.
- Przy zastosowaniu urządzenia gaśniczego (teoretycznie) możliwe jest:
 - Zmniejszenie mocy pożaru projektowego – ze 100MW do np. 30 MW (przełożenie na system wentylacji)
 - Zwiększenie odległości pomiędzy wyjściami – czas przestaje być istotny, bo przy obecności wody warunki krytyczne **nie występują** w pierwszych minutach
 - Rezygnacja z obudowy ogniochronnej lub zmiana klasy odporności ogniowej
- W naszych realiach, powyższe **nie jest możliwe**, ponieważ musimy posiadać wszystkie wymienione wyżej punkty bez względu na obecność SUG wodnych...

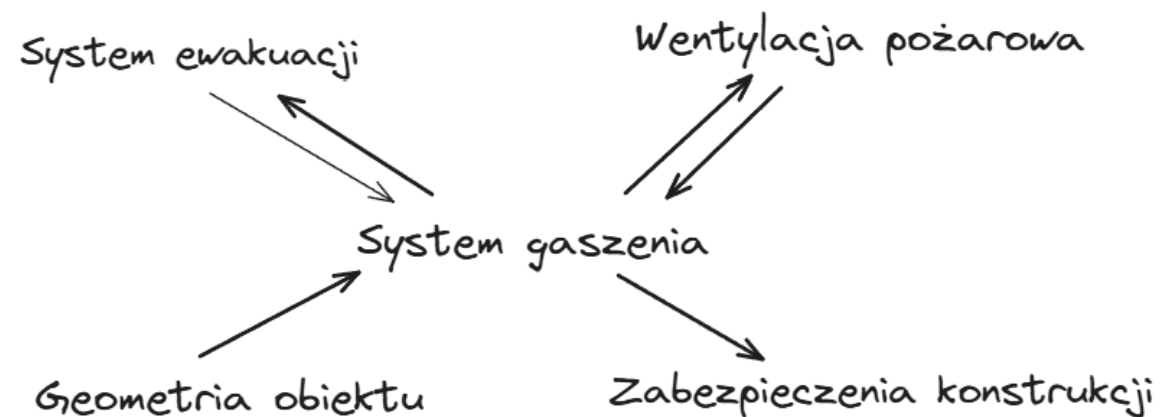
Gaszenie



W Polsce



Powinno być...



podsumowanie



- Co to jest **bezpieczeństwo** i ile go potrzebujemy?
- W jaki sposób mamy je osiągnąć?
- Jak to regulować? Nakazowo? Funkcjonalnie? DTS?
- Dlaczego w jednym miejscu procesu projektowania jesteśmy gotowi wydawać miliony na poprawę skuteczności o ułamek %, a w innym miejscu nie możemy wprowadzić systemu który **realnie i zawsze** poprawi wynik katastrofy, jaką jest każdy pożar?

podsumowanie



Marzy mi się, że kiedyś nasze projektowanie będzie oparte o cele funkcjonalne.

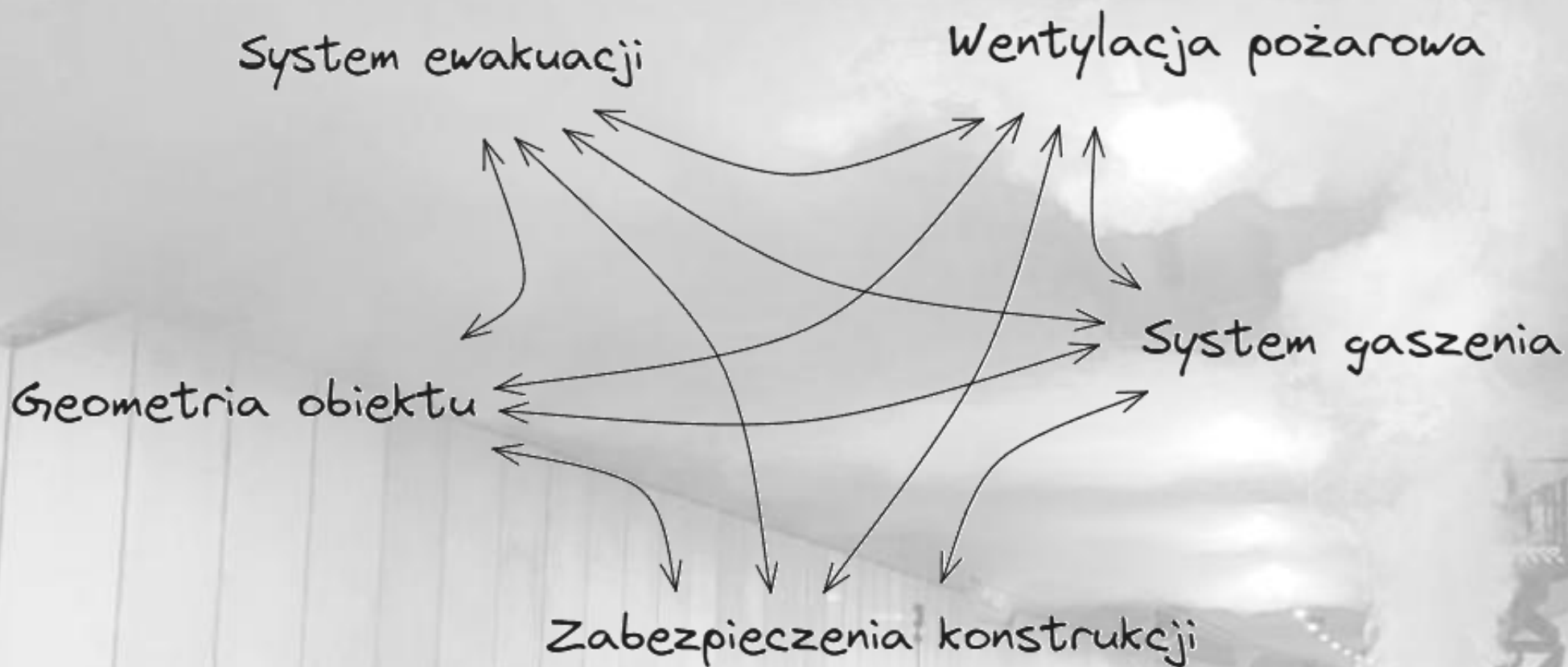
Cele funkcjonalne, które będą jasno i czytelnie zdefiniowane. Już dzisiaj Polska ma niezwykle dobrze wykształconą kadrę inżynierską która jest na to gotowa. Kadrę która może to projektować, kadrę która jest w stanie to oceniać i podejmować decyzje, kierować procesem.

Zostawmy prawo prawnikom, a sami zajmijmy się inżynierią.

podsumowanie



Marzy mi się, że kiedyś nasze projektowanie będzie wyglądać tak.



Dziękuję za uwagę



w.wegrzynski@itb.pl

+48 696 061 589

FireScienceShow.com

 @WojciechITB