

A photograph of a large fire in a tunnel. A semi-truck is in the foreground, its headlights on. The fire is intense, with thick smoke and bright orange flames. The tunnel walls are visible on the left.

Promat

**Wpływ okładzin ogniochronnych
na konstrukcję tunelu podczas
jego eksploatacji**

Jacek Ćwikliński

Mgr inż. Jacek Ćwikliński

Promat

- Absolwent wydziału budownictwa Politechniki Kopenhaskiej
- Absolwent wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej
- Od ponad 12 lat pracuję w PROMAT obecnie jako: Technical Development Manager





Fot: OSP Ujazd

Pożary w tunelach się zdarzają



FIRE ACCIDENT'S IN THE WORLD'S ROAD TUNNELS

YEAR	Tunnel Length	Location Country	Vehicle Where Fire Occurred	Most Possible Cause of Fire	Duration of Fire	CONSEQUENCES		
						Consequences People	Damaged Vehicles	Structures and Installations
1949	Holland 2,550 m	New York USA	Lorry with 11 tons of carbondisulfide	Load falling off lorry Explosion	4 h	66 Injured smoke inhalation	10 lorries 13 cars	Serious Damage Over 200 m
1974	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry	Motor	15 min	1 injured		
1976	Crossing BP-A6 430 m	Paris France	Lorry with drums of 16 tons polyester film	High Speed	1 h	12 light injuries (smoke)	1 lorry	Serious damage over 150 m
1978	Velsen 770 m	Velsen Nederland	4 lorries 2 cars	Front-rear Collision	1 h 20min	5 dead 5 injured	4 lorries 2 cars	Serious damage Over 30 m
1979	Nihonzaka 2,045 m	Shizuoka Japan	4 lorries 2 cars	Front-rear Collision	159 h	7 dead 1 injured	127 lorries 46 cars	Serious Damage Over 1,100 m
1980	Kajiwara 740 m	Japan	1 truck with 3600 litres of paint in 200 cans	Collision with side wall and overturning	n/a	1 dead	1 truck, 4t 1 truck 10t	Serious Damage Over 280 m
1982	Caldecott 1,028 m	Oakland USA	1 car, 1 coach, 1 lorry with 33000 litres of petrol	Front-rear collision	2 h 40min	7 dead 2 injured	3 lorries 1 coach 4 cars	Serious Damage Over 580 m
1982	Saing 2,700 m	Mazar-e-Sharif-Kabul Afghanistan	Soviet Military column. At least one petrol truck	Unknown, probably mine ex-plosion	n/a	>200 dead	n/a	n/a
1983	Pecorilla Galleria 662 m	Gênes Savone Italy	Lorry with fish	Front-rear coll-sion	n/a	9 dead 22 injuries	10 cars	Little Damage
1986	L'Arme 1,105 m	Nice France	Lorry with trailer	Braking after high speed	n/a	3 dead 5 injured	1 lorry 4 cars	Equipment destroyed
1987	Gumefens 343 m	Berne Switzerland	1 lorry	Front-rear Collision	2 h	2 dead	2 lorries 1 van	Slight damage
1990	Røldal 4,656 m	Røldal Norway	VW transporter With trailer	n/a	50 min	1 injured	n/a	Little damage
1990	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry with 20 tons of cotton	Motor	n/a	2 injured	1 lorry	Equipment destroyed
1993	Serra Ripoli 442 m	Bologna-Florence Italy	1 car+lorry with rolls of paper	Collision	2 h 30min	4 dead 4 injured	5 lorries 11 cars	Little damage
1993	Hovden 1,290 m	HØyanger Norway	Motor cycle 2 cars	Front-rear coll-sion	1 h	5 injured in the collision	1 motor- cycle 2 cars	111 m insulation material destroyed
1994	Huguenot 3,914 m	South-Afrika	Bus with 45 pas-sengers	Electrical fault	1 h	1 dead 28 injured	1 coach	Serious damage
1995	Pfander 6,719 m	Austria	Lorry with trailer	Collision	1 h	3 dead in the collision 4 injured	1 lorry 1 van 1 car	Serious damage
1996	Isola Delle Femmine 148 m	Palermo Italy	1 tanker with liquid gas + 1 little bus	Front-rear coll-sion	n/a	5 dead 20 injured	1 tanker 1 bus 18 cars	Serious damage, tunnel closed for 2.5 days
1999 14 July	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry with flour and margarine	Oil leakage Motor	n/a	39 dead	23 lorries 10 cars 1 motorcycle 2 fire engines	Serious damage, tunnel reopens 22.12.2001
1999	Tauern 6,401 m	A10 Salz Salzburg-Spittal Austria	Lorry with paint	Front-rear collision 4 cars and 2 lorries	n/a	12 dead 49 injured	14 lorries 26 cars	Serious damage
2000	Sejsestad 1,272 m	E134 Dram-men-Haugesund Norway	The trailer truck that caused the multiple collision had a diesel fire in the engine room before collision	Front-rear coll-sion A trailer- truck pushed a car into 4 cars that had stopped behind another truck	45 min	6 injured	1 lorry 6 cars 1 motorcycle	Serious damage. NOK 1 mill. Tunnel closed for 1 ½ days
2001 28 may	Prapontin 4,409 m	A 32 Torino-Bardonecchia Italy	Romanian truck, loaded with beets	Mechanical problem	n/a	19 injured by smoke	n/a	Closed until 6 June in westerly direction
2001	Gleinalm 8,320 m	A 9 near Graz Austria	Car	Front collision Lorry-car	n/a	5 dead 4 injured	n/a	n/a
2001	St. Gotthard 16,918 m	A 2 Switzerland	Lorry	Front collision Lorry-car	2 days	11 dead	13 lorries 4 vans 6 cars	Serious damage Closed for 2 months

STRUCTURAL FIRE PROTECTION FOR ROAD TUNNELS

ITA Working Group 6 Maintenance and Repair

N° ISBN: 978-2-9701122-0-4

ITA REPORT N°18 / APRIL 2017



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN

ITA
AITES

INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION
STRUCTURAL FIRE PROTECTION FOR ROAD TUNNELS

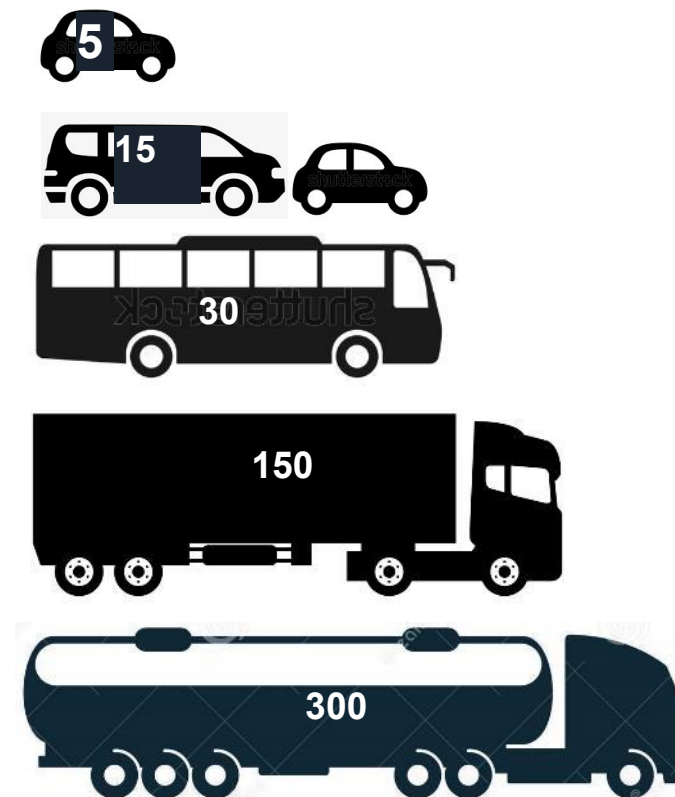
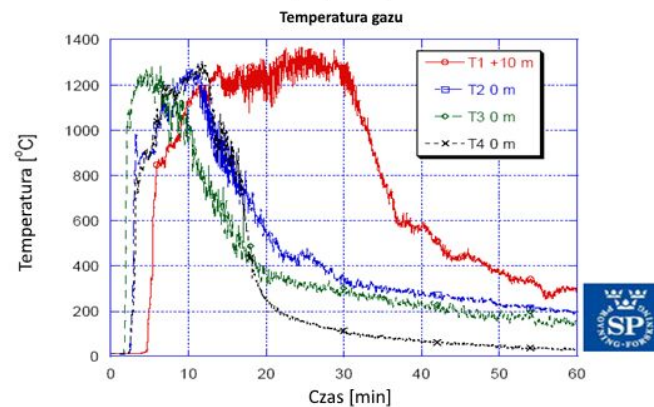
Wskaźnik wydzielania ciepła (HRR) zgodnie z NFPA 502

Promat

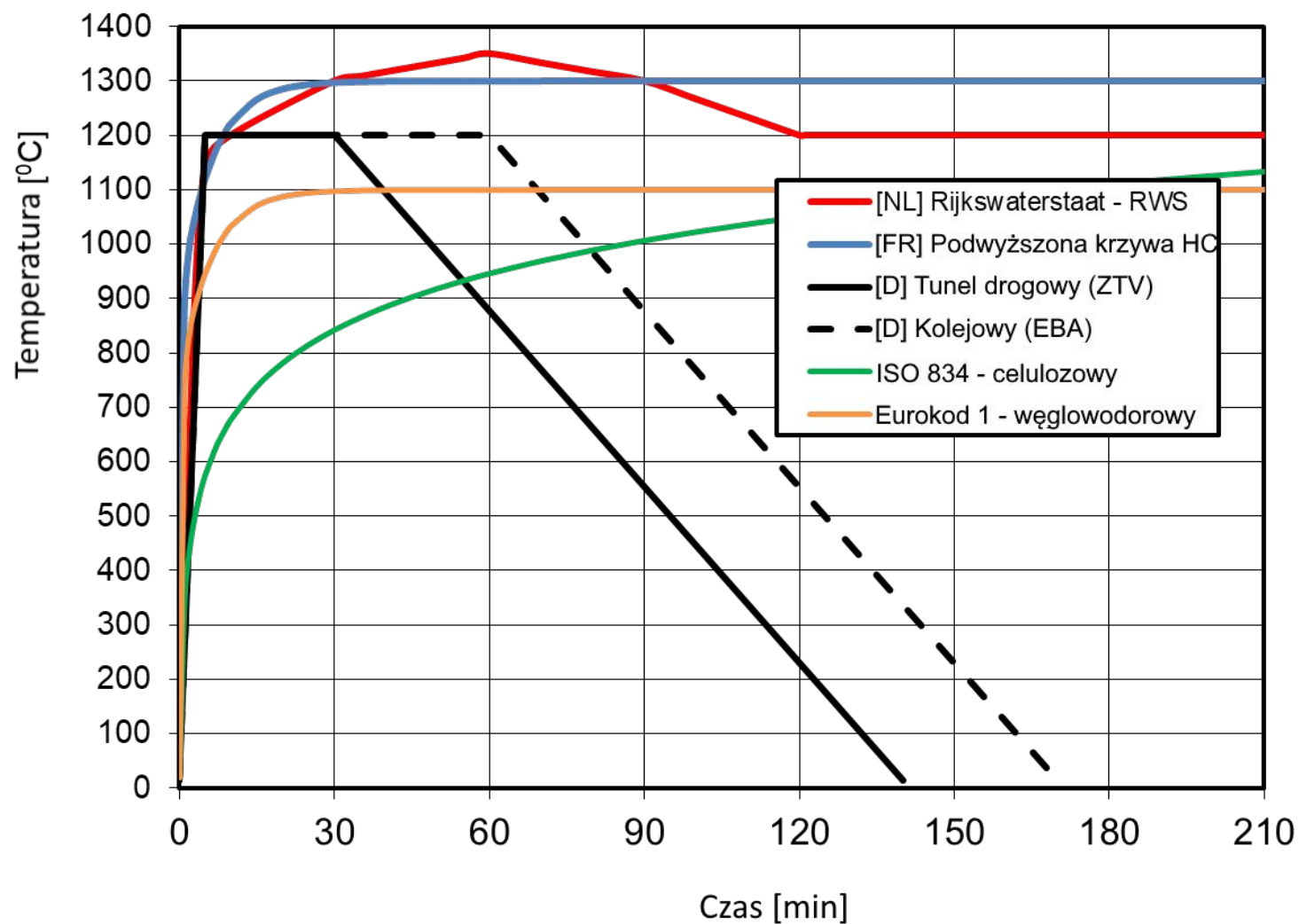
Tabela A.11.4.1 Dane ogniowe dla typowych pojazdów

Pojazdy	Eksperymentalny HRR		Reprezentatywny HRR	
	Szczytowy HRR (MW)	Czas do osiągnięcia szczytowego HRR (min)	Szczytowy HRR (MW)	Czas do osiągnięcia szczytowego HRR (min)
Samochód osobowy	5–10	0–54 ^a	5	10
Wiele samochodów osobowych	10–20	10–55 ^b	15	20
Autobus	25–34 ^c	7–14	30	15
Ciężarówka z ciężkimi towarami	20–200 ^d	7–48 ^e	150	15
Cysterna z płynami palnymi/ łatwopalnymi	200–300	–	300	–

Uwaga:

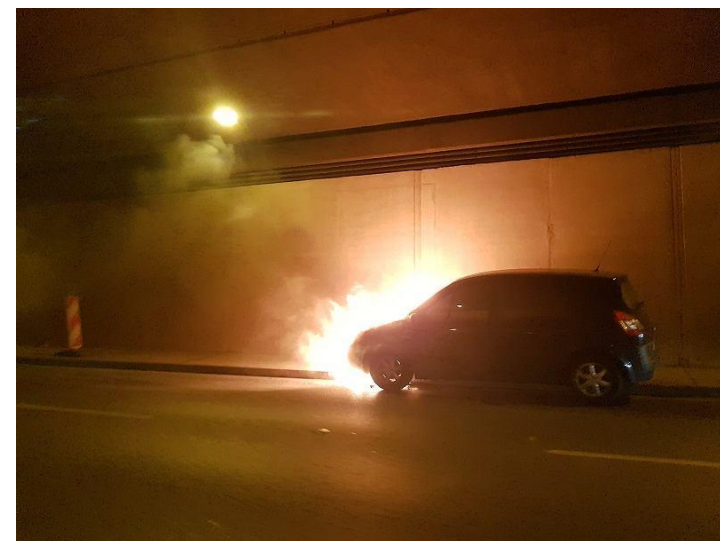


Rodzaje krzywych temperatura-czas



Pożar o dużej mocy vs małej mocy

Promat



Fot: metrowarszawa.pl

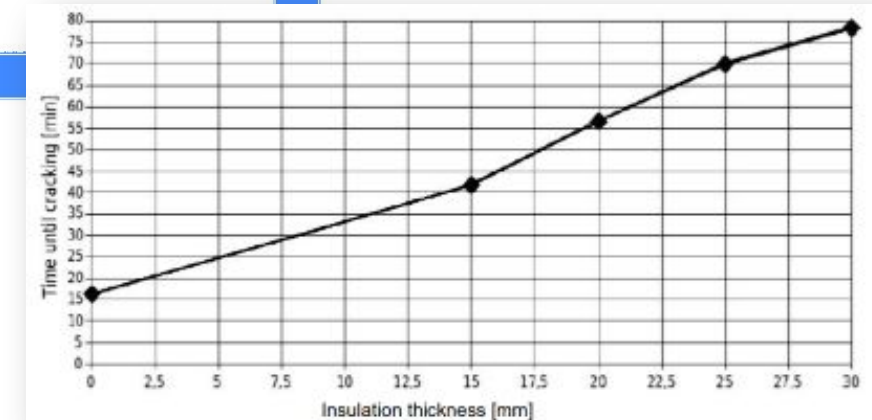
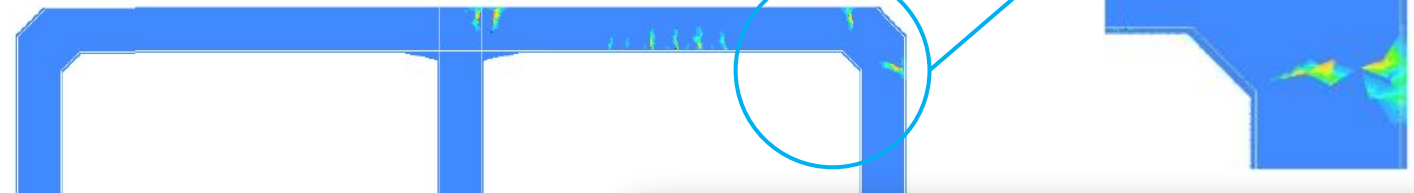
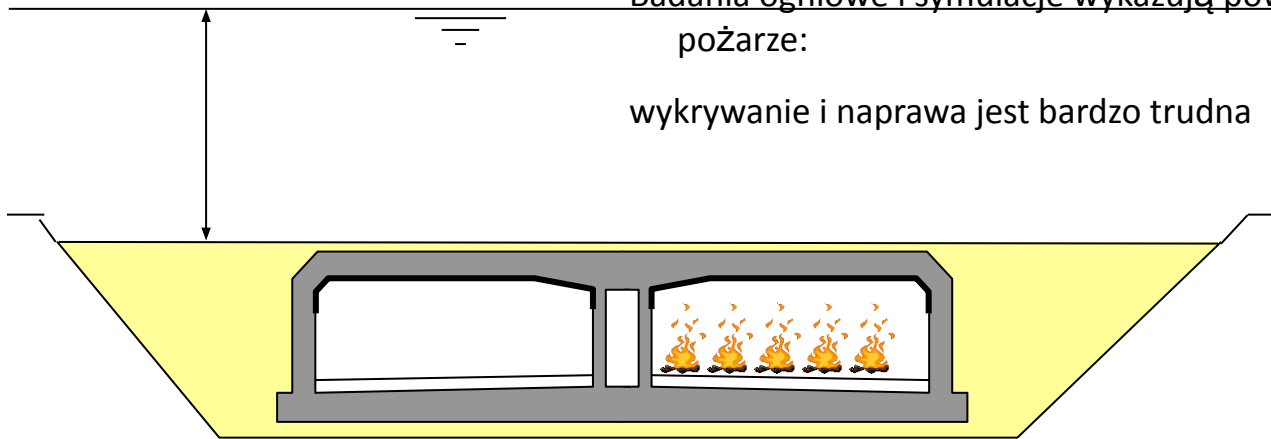


Zachowanie podczas deformacji: ograniczenia powodują powstawanie pęknięć ...

Promat

Badania ogniowe i symulacje wykazują powstawanie pęknięć po stronie nieekspozowanej w trakcie i po
pożarze:

wykrywanie i naprawa jest bardzo trudna

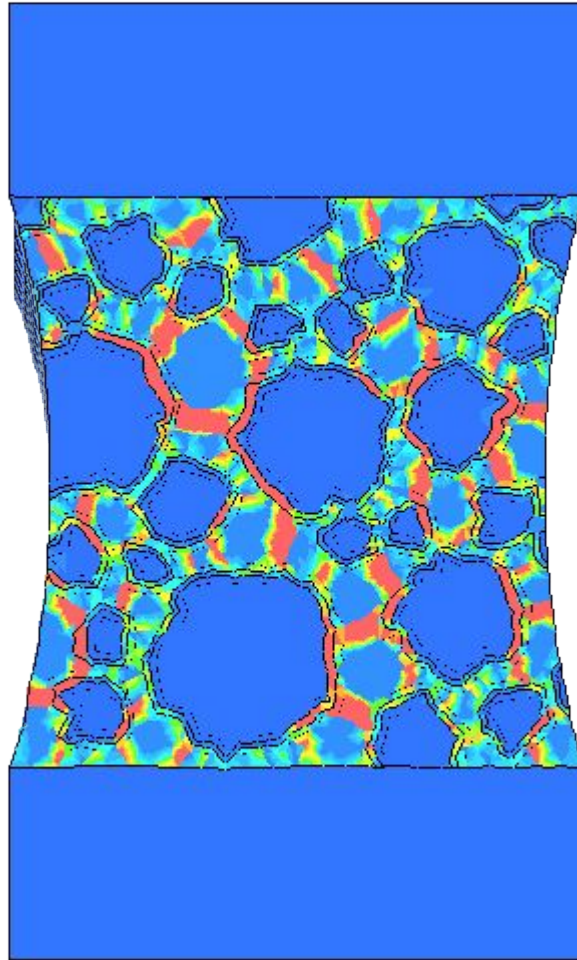


[Patrz:

Nieman, B., "Cracking on the unheated side during a fire in an immersed tunnel" [Pęknięcie po stronie nieogrzewanej podczas pożaru w tunelu podwodnym], praca magisterska Delft University of Technology, 2008;
Leander.M. Noordijk, P.G. Scholten, A.J. Breunese i C. Both, "Emerging Problem for Immersed Tunnels: Fire Induced Concrete Cracking" [Problem pojawiający się dla tuneli zanurzonych: Pęknięcie betonu pod wpływem pożaru], 4th International Symposium on Tunnel Safety and Security [4-te Sympozjum Naukowe dotyczące Bezpieczeństwa Tuneli], 2010]

Zróżnicowana rozszerzalność cieplna: pękanie nagrzewanie bez obciążenia

Promat

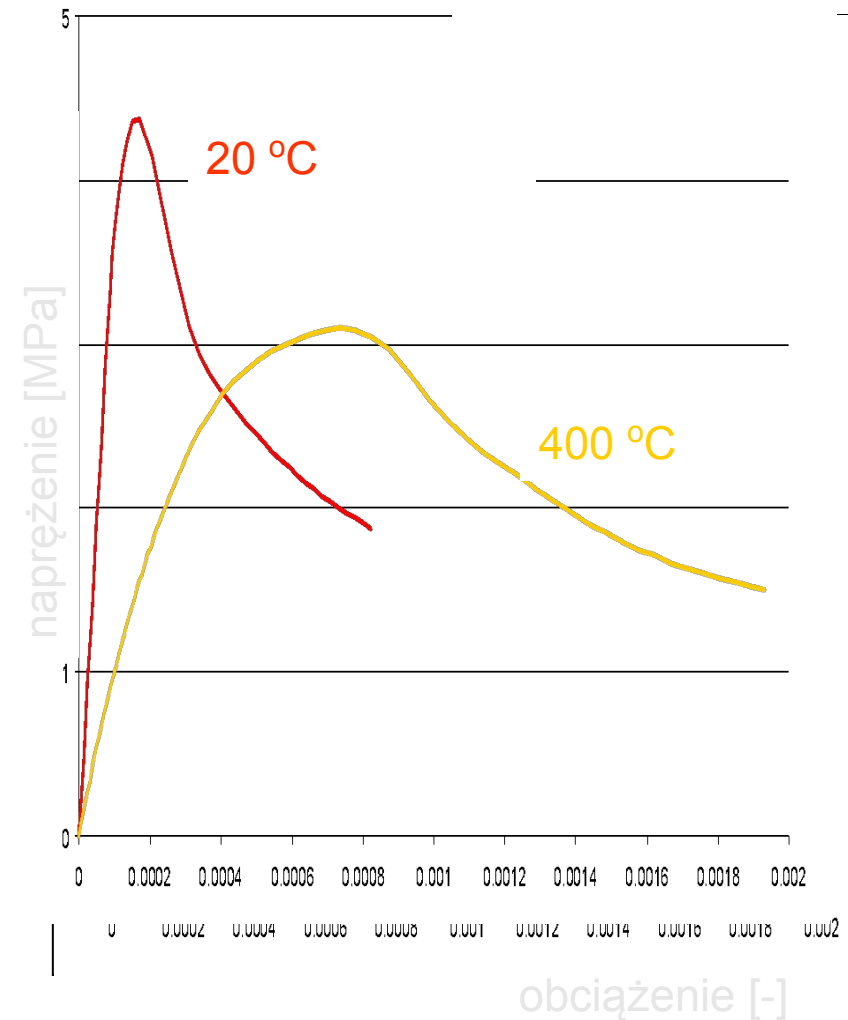
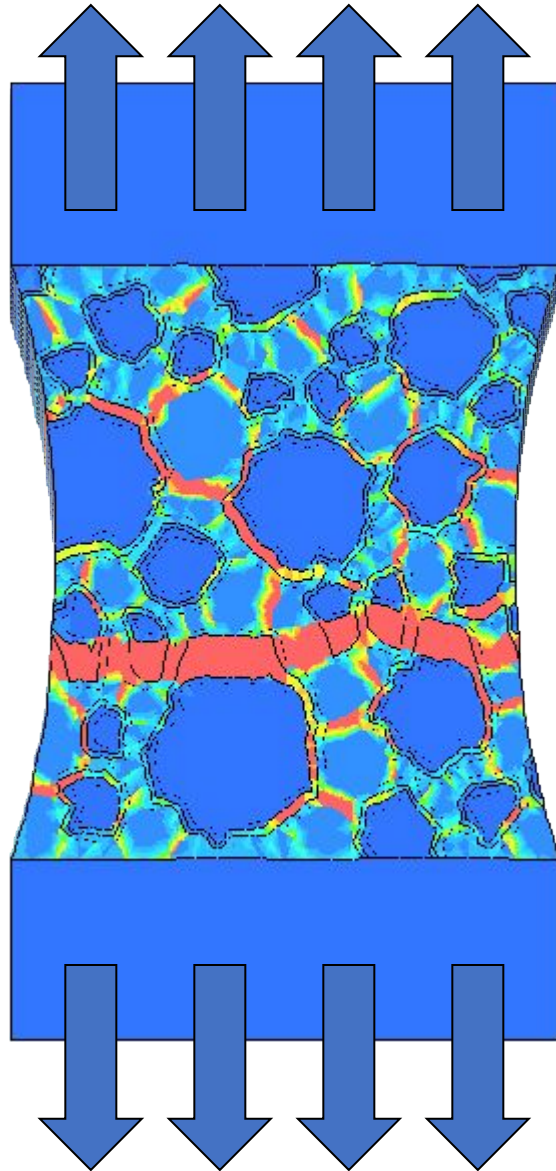


500 °C

Mikropęknięcia, już przy 150°C

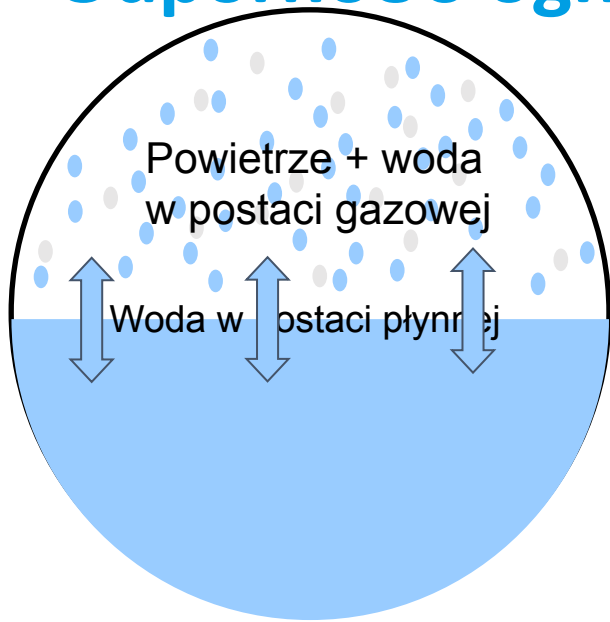
Nagrzewanie do 400°C: obciążenie rozciągające

Promat



[Patrz:
BREUNESE, A.J.: 2001, Tensile Properties of Concrete during Fire [Własności mechaniczne przy rozciąganiu betonu podczas pożaru], Delft University of Technology –
Raport TNO Centre for Fire Research 2001-CVB-R04634, Rijswijk ZH, Holandia

Odporność ogniowa żelbetu - odpryskiwanie betonu (spalling) Promat



1l wody – 1700 litrów pary

Odpryski niezabezpieczonego betonu

- Zwykle zaczyna się w mniej niż 5 minut po rozpoczęciu pożaru.
- Stopniowo zmniejsza przekrój betonu, zwykle odsłaniając stalowe zbrojenie w ciągu 10-30 minut, w zależności od szybkości odpryskiwania i głębokości zbrojenia..

Odpryskiwanie niezabezpieczonego betonu

- Zwykle zaczyna się przy temperaturach powierzchni betonu w zakresie od 200 do 400 °C

Odpryskiwanie betonu jest rezultatem

- Dużych geometrii, wysokich kompresji i dużej wytrzymałość betonu
- Większa wilgotność (niż w budynkach)
- Szybszy wzrost temperatury pożaru i wyższe temperatury maksymalne (wszystkie bardzo różnią się od zastosowań budowlanych objętych obecną normą EN 1992-1-2 – stąd również środki takie jak włókna PP określone w EN 1992-1-2 nie mają zastosowania)

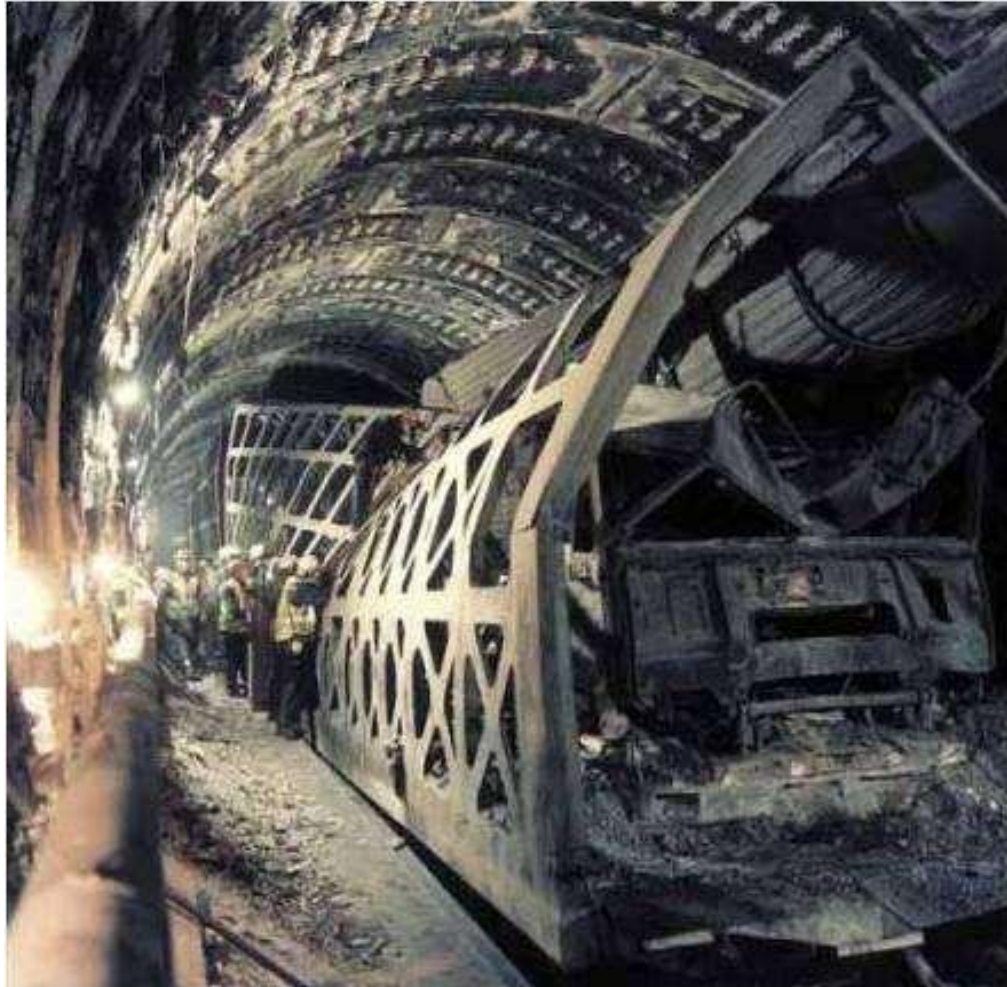
Odpryskiwanie betonu

Promat



Odpryskiwanie betonu

Promat



Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich

01-20 21.03.02

Wzorce i standardy
rekommendowane przez
Ministra właściwego ds. transportu

WR-M-41



DZIENNIK USTAW RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Warszawa, dnia 29 sierpnia 2019 r.

Poz. 1642

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY¹⁾

z dnia 1 sierpnia 2019 r.

zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowie obiekty inżynierskie i ich usytuowanie²⁾

Na podstawie art. 7 ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2019 r. poz. 1186, 1309 i 1524) zarządza się, co następuje:

§ 1. W rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowie obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 735, z 2010 r. poz. 408, z 2012 r. poz. 608, z 2013 r. poz. 528, z 2014 r. poz. 858 oraz z 2015 r. poz. 331) wprowadza się następujące zmiany:

1) w § 2 dotychczasową treść oznacza się jako ust. 1 i dodaje się ust. 2 i 3 w brzmieniu:

„2. W przypadku drogowych obiektów inżynierskich, dla których wojewódzki konserwator zabytków określił w pozwoleniu na prowadzenie robót budowlanych zakres i sposób ich prowadzenia powodujący niemożność zastosowania wybranych przepisów niniejszego rozporządzenia, a projektant potwierdził możliwość spełnienia wymagań określonych w § 1 ust. 3, warunki wojewódzkiego konserwatora zabytków w tym zakresie uznaje się za warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogowie obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.

3. Przy przebudowie lub rozbudowie istniejących drogowych obiektów inżynierskich dopuszcza się stosowanie rozwiązań zamiennych do wymagań ochrony przeciwpożarowej określonych w niniejszym rozporządzeniu, w trybie art. 6a ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. z 2019 r. poz. 1372, 1518 i 1593).”;

2) § 9 otrzymuje brzmienie:

„§ 9. W obiektach mostowych usytuowanych w strefach ochronnych ujęć wody, z uwagi na możliwość wystąpienia poważnych awarii w rozumieniu przepisów o ochronie środowiska, stosuje się rozwiązania zapewniające w szczególności:

- 1) bezpieczeństwo ruchu pojazdów na obiekcie mostowym,
- 2) zabezpieczenie gruntu oraz wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem, będącym skutkiem zdarzeń drogowych.”;

3) w § 39 ust. 2 otrzymuje brzmienie:

„2. Kąt między osią przepustu a osią drogi nie powinien być mniejszy niż 60°.”;

¹⁾ Minister Infrastruktury kieruje działem administracji rządowej – transport, na podstawie § 1 ust. 2 pkt 3 rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów z dnia 11 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego zakresu działania Ministra Infrastruktury (Dz. U. poz. 101 i 176).

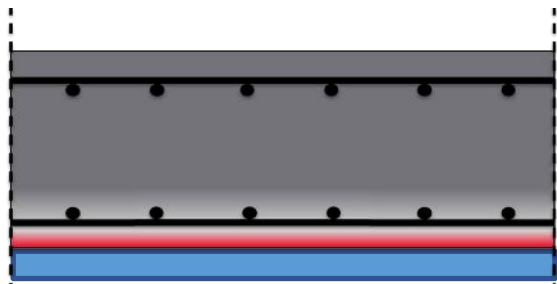
²⁾ Niniejsze rozporządzenie zostało notyfikowane Komisji Europejskiej w dniu 10 kwietnia 2019 r. pod numerem 2019/167/PL, zgodnie z § 4 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie sposobu funkcjonowania krajowego systemu notyfikacji norm i aktów prawnych (Dz. U. poz. 2039 oraz z 2004 r. poz. 597), które wdraża dyrektywę (UE) 2015/1535 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 9 września 2015 r. ustanawiającą procedurę udzielania informacji w dziedzinie przepisów technicznych oraz zasad dotyczących usług społeczeństwa informacyjnego (Dz. Urz. UE L 241 z 17.09.2015, str. 1).



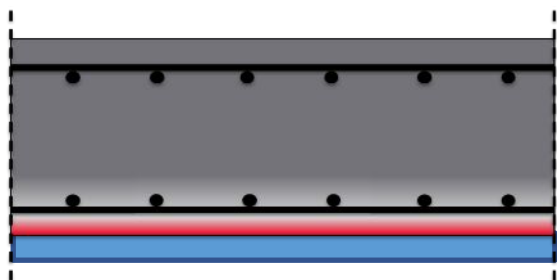
- Obecne wersje Eurokodów nie zawierają wytycznych do projektowania tuneli – wymagają modyfikacji. Do projektowania jest powołana krzywa standardowa (jak dla budynków)
- norma EN 1991-1-2 (oddziaływanie na konstrukcje w warunkach pożaru) wymaga modyfikacji, aby można ją było zastosować do tuneli (np. dodając krzywą pożarową tunelu RWS i HCM)
- norma EN 1992-1-2 (projektowanie betonu w warunkach pożarowych), również wymaga modyfikacji, aby mogła być stosowana do tuneli (właściwości materiałów zależne od temperatury i zasady projektowania dotyczące odprysków, jak również tabele z zasadami projektowania otuliny prętów zbrojeniowych itp.).

Projekt 3 generacji Eurokodów Komisji Europejskiej dedykowany jest aplikacjom tunelowym (tyt. Use of the Eurocodes for the design of tunnels and other underground structures) będzie skupiał się głównie na ograniczeniu strat ekonomicznych takich jak czas zamknięcia tunelu i przywrócenie go jak najszybciej użytkownikom

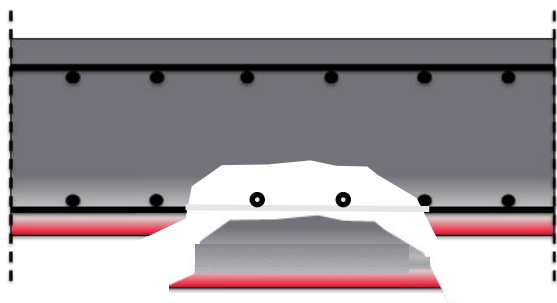
Na podstawie przepisów i wytycznych można przyjąć założenia jako ogólna zasada praktyczna



- **Beton** nie odnosi permanentnych uszkodzeń jeżeli temperatura pozostaje **poniżej 380 °C**



- Brak utraty połączenia i nieodwracalnej deformacji tworzywa sztucznego jeżeli temperatura **prętów zbrojeniowych** pozostaje **poniżej 250 °C**



Uwaga: powyższe dwa warunki w wystarczający sposób ograniczają ryzyko „pękania i odpryskiwania” i problemy związane z trwałością

- **Brak odpryskiwania**

Wynik badania: w znaczącym stopniu zależny od warunków projektu (mieszanina betonu/wylewanie/wiązanie, oraz geometria/obciążenia)

Czym jest bierna ochrona przeciwpożarowa w tunelach

Promat

Ma na celu zapobieganie nagrzewaniu się konstrukcji do krytycznych poziomów temperatury i gradientów termicznych oraz wykluczyć ryzyko odpryskiwania betonu

Zabezpieczenie płytami ogniochronnymi PROMATECT



Zabezpieczenie natryskiem ogniochronnym Fendolite MII



Statystyki pożarów w tunelach w Austrii od 2006 do 2012 roku, wydane przez Austriacki zarząd autostrad ASFINAG

- Pprawdopodobieństwo pożaru pojazdu i ciężarówki ($\geq 3,5$ t) przy 25 pożarach na przejechany miliard km jest znacznie większy niż dla samochodów osobowych
- Wg statystyk na każdy 1 miliard kilometrów ciężarówek w tunelach przypada **25 pożarów**, co oznacza że w każdym tunelu raz na **30 lat** dojdzie do poważnego pożaru ciężarówki.
- Cykl trwałości tunelu przyjmują się średnio na **100 lat** co daje **3 poważne** pożary podczas istnienia tunelu

Scenariusz uszkodzeń i strat spowodowanych pożarem

- **Koszty Naprawy:** w zależności od zniszczeń koszt naprawy konstrukcji żelbetowej niezabezpieczonej jest dużo większy niż w przypadku konstrukcji z okładzinami ogniochronnymi [1]
- **Czas potrzebny na naprawę:** Na podstawie statystyk, tunel bez płyt przeciwpożarowych zostanie zamknięty na około **7,5 miesiąca** w celu naprawy uszkodzeń. Czas zamknięcia po pożarze tuneli z okładzinami ogniochronnymi określono na **1,5 miesiąca**. Zamknięcie tunelu obejmuje demontaż uszkodzonych okładzin i montaż nowych.[1]
- **Koszty przekierowania ruchu:** Do oszacowania przekierowania ruchu uwzględnia się dodatkowe koszty uczestników ruchu z tytułu przekierowania: wydłużony czas przejazdu, dłuższa trasa, koszt postoju samochodów i ciężarówek, koszt godzinowy kierowcy, itp [2]
- **Utracone opłaty drogowe**

(SKRIBT (2013): Analiza skuteczności środków ochrony obiektów inżynierskich: tunele; Publiczna wersja raportu z badania wspólnego projektu SKRIBT „Ochrona krytycznych mostów i tuneli w zakresie dróg”)

PTV, TCI, Röhling (2016): Instrukcja o metodach dla dróg 2030 2030; Badanie zlecone przez BMVI (Federalne Ministerstwo Ruchu i Infrastruktury Cyfrowej), 2016.

Scenariusz uszkodzeń i strat spowodowanych pożarem

Poza wymienionymi parametrami istnieją inne czynniki kosztowe, dla których wartość pieniądza nie jest możliwa do określenia lub jej wyznaczenie jest zbyt kosztowne takie jak:

- oddziaływanie hałasu i emisji gazów,
- dodatkowa emisja CO₂
- uszkodzenia dróg lokalnych,
- zwiększone wydatki z powodu wypadków samochodowych w wyniku zwiększonego natężenia ruchu
- inne koszty firm w pobliżu tunelu

Porównanie kosztów wynikających z pożaru w tunelu z okładzinami ogniochronnymi i bez nich

Promat

Koszty [€]	Bez okładzin ogniochronnych	Z okładzinami ogniochronnymi
Koszty cyklu życia (100 lat) przy założeniu 1 pożaru	–	5.016.600
Koszty naprawy	282.400	136.200
Koszty zapewnienia ruchu	150.700	112.800
Koszty przekierowania całkowity	91.917.000	18.801.200
Który:		
Koszty jazdy (pojazdy osobowe)	39.177.600	8.013.600
Koszty jazdy (samochody ciężarowe)	14.814.800	3.030.300
Czas potrzebny na objazd (pojazdy osobowe)	14.430.400	2.951.700
Czas wymagany dla objazdów ciężarówek)	9.116.800	1.864.800
Czas postoju (pojazdy osobowe)	10.307.400	2.108.300
Czas postoju (samochody ciężarowe)	4.070.000	832.500
Utracone opłaty drogowe	24.651.000	5.042.300
Całkowity	117.001.100	29.109.100

Okładziny ogniochronne jako optymalizacja kosztów utrzymania tunelu

- **Straty w tunelach** bez okładzin ogniochronnych przy założeniu tylko jednego dużego pożaru na 100 lat są **kilkukrotnie większe** niż koszty cyklu eksploatacji z okładzinami ogniochronnymi w tym samym okresie.[4]
- Okładziny ogniochronne **pełnią funkcję filtra**: ochrona betonu przed szkodliwymi czynnikami jak chlorki, siarczany, spaliny, itp, co zwiększa żywotność betonu.
- Ochrona przed **mikropęknięciami** betonu nawet w przypadku małych pożarów
- Warstwa wykończeniowa sprzyjająca odpowiedniemu oświetleniu, wyglądowi i czyszczeniu
- Bezpieczeństwo ekip ratunkowych podczas prowadzenia akcji ratowniczych (brak odpryskiwania kawałków betonu na ratowników)

[4] DAUB (2018): Rekomendacja do określania kosztów cyklu życia tuneli drogowych I; Deutscher Ausschuss für unter-irdisches Bauen e. V. (DAUB). Kolonia, listopad 2018.

Webinarium Bezpieczeństwo Pożarowe Tuneli

Promat

16 MARCA 2023



Jacek Ćwikliński

Projektowanie konstrukcji tuneli z uwagi na
bezpieczeństwo pożarowe



Ewa i Grzegorz Sztarbała

Projektowanie wentylacji w tunelach

**Zapisy na stronie www.cssip.pl
mailowo: Jacek.cwiklinski@etexgroup.com**

**„To nie nasze możliwości sprawiają, że
jesteśmy niebezpieczni, tylko nasze wybory”**

Josephine Angelini