

ZABEZPIECZENIE OGNIOPRONNE TUNELI DROGOWYCH WYKONANYCH Z GŁĘBOKO PROFILOWANYCH BLACH KORUGOWANYCH¹

Karol BZDAWKA*, Jacek ĆWIKLIŃSKI**

*) ViaCon sp. z o.o.

**) PROMAT Techniczna Ochrona Przeciwpożarowa Sp. z o.o.

Požary w tunelach drogowych stanowią bardzo duże zagrożenie dla znajdujących się w tunelu ludzi oraz dla samej konstrukcji tunelu. W momencie gdy w tunelu wybucha pożar, zamknięta przestrzeń powoduje bardzo szybki jego rozwój. Wzrost temperatury jest wtedy bardzo gwałtowny, szczególnie gdy mamy do czynienia z pożarem dużych ilości materiałów łatwopalnych – np. w przypadku pożaru cysterny paliwa. Dla takich właśnie warunków opracowano krzywą temperatura-czas najczęściej używaną w Europie przy projektowaniu tuneli – krzywą RWS. W artykule opisano zabezpieczenie na wymagania RWS dla tuneli z głęboko korugowanych blach falistych wykonywanych metodą wykopową. Badanie przeprowadzono dla konstrukcji SuperCor®, której głębokość fali wynosi 140 mm. Z tego powodu wypełnienie całej fali zaprawą ogniopronną pochłonęłoby bardzo dużo materiału i było nieekonomiczne. Zaproponowane rozwiązanie zakłada rozpięcie na górach fali siatki cięto-ciągnionej, na której wykonywany jest natrysk o grubości kilkudziesięciu mm. Skuteczność zabezpieczenia potwierdzono w testach ogniowych. Zabezpieczenie Cafco FENDOLITE® MII grubości 55 mm pozwoliło utrzymać temperaturę stali poniżej 300 °C przez okres 2 godzin i poniżej 450 °C przez okres 4 godzin. Dodatkowe badania mechaniczne potwierdziły, że zabezpieczenie jest odporne na zmęczenie od podciśnienia pochodzącego od przejeżdżających pojazdów i nadaje się do tuneli drogowych i kolejowych – z wyłączeniem KDP.

Słowa kluczowe: pożar, zabezpieczenie ogniowe, tunel, krzywa RWS, blacha falista, SuperCor, UltraCor, MultiPlate, Fendolite.

1. WPROWADZENIE

Konstrukcje inżynierskie z blach falistych pojawiły się na świecie w XIX wieku. Od początku swojego istnienia stosowane były głównie na przepusty lub małe mosty. Były to rury stalowe wykonane ze spiralnie zwijanej taśmy korugowanej blachy. W miarę rozwoju technologii wytwarzania oraz wymagań do-

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2018.26.05

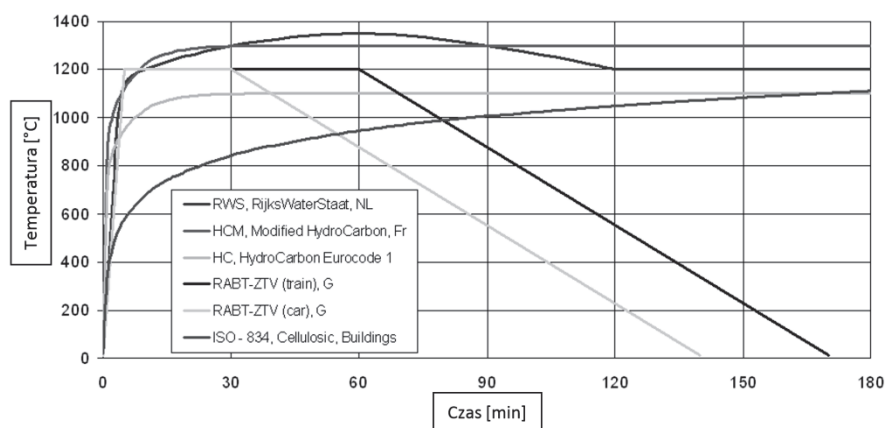
tyczących coraz to większych przęseł tego rodzaju konstrukcji, pojawiły się kolejno konstrukcje MultiPlate składające się z arkuszy blach łączonych na śruby, a następnie konstrukcje SuperCor® oraz UltraCor®, charakteryzujące się głęboką korugacją i pozwalające na budowanie większych obiektów. Konstrukcje z blach falistych mogą być z powodzeniem stosowane na ustroje nośne tuneli wykonywanych metodą wykopową – zwanych z ang. *cut-and-cover*. Projektowanie tuneli o konstrukcji z blach falistych wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na odpowiednie bierne zabezpieczenie przeciwpożarowe ustroju nośnego.

Požary w tunelach wyróżniają się spośród innych rodzajów pożarów bardzo gwałtownym wzrostem temperatury, która często przekracza 1000°C w ciągu paru minut. Tak szybki wzrost temperatury powoduje parowanie wody w betonie i wzrostem ciśnienia porowego. W połączeniu z szokiem termicznym prowadzi to do odpryskiwania kawałków betonu (z ang. *explosive spalling*). Jest to szczególnie niebezpieczne zjawisko dla tuneli żelbetowych, gdyż odsłonięciu ulega zbrojenie, które zaczyna się wtedy bardzo szybko nagrzewać. Z tego powodu nawet tunele żelbetowe wymagają specjalnego zabezpieczenia przeciwtemperaturze [1].

Požar w tunelu jest złożonym trójwymiarowym zjawiskiem, na które wpływ mają: tempo uwalniania ciepła (z ang. *heat release rate*), propagacja ciepła w tunelu oraz rozprzestrzenianie dymu. Najdokładniejszą metodą oszacowania zachowania pożaru jest obliczeniowa dynamika płynów (z ang. *CFD*), lecz wymaga to bardzo złożonego modelu i potężnej mocy obliczeniowej. Z tego powodu wykorzystanie krzywych temperatura-czas jest nadal modelem pożaru, który jest powszechnie spotykany w praktyce inżynierskiej. Najczęściej używane do projektowania tuneli zależności temperatura-czas przedstawiono poniżej oraz na rysunku 1.

- a) *ISO 834* – krzywa standardowa [2]. Odpowiada ona pożarowi materiałów celulozowych najczęściej spotykanych w budynkach. Była przez wiele lat stosowana przy projektowaniu tuneli jednak opisany nią wzrost temperatury okazał się nieadekwatny do pożaru materiałów łatwopalnych do którego może dojść w tunelu.
- b) *HC* – krzywa węglowodorowa [3]. Została opracowana dla materiałów niebezpiecznych np. paliw i chemikaliów, szczególnie produktów przemysłu petrochemicznego. Charakteryzuje się gwałtownym wzrostem temperatury, która osiąga maksimum po 30 minutach od rozpoczęcia pożaru.
- c) *HCM* – zmodyfikowana krzywa węglowodorowa [4]. Została po raz pierwszy zaproponowana we Francji. Odpowiada jeszcze bardziej skrajnemu przypadkowi szybkiego i całkowitego zapłonu materiału łatwopalnego. Wartości temperatury zostały zaczerpnięte z *HC* i pomnożone przez wartość zbliżoną do 1300/1100 – tak, aby temperatura początkowa nadal wynosiła 20 °C. Temperatura maksymalna *HCM* wynosi 1300°C w porównaniu do 1100 °C krzywej *HC*.

- d) *RWS (Rijkswaterstaat)* [5]. Nazywana krzywą tunelową, została opracowana w Holandii na podstawie badań eksperymentalnych, specjalnie dla pożarów w tunelach. Po 60 minutach pożaru osiągnięta jest maksymalna temperatura na poziomie 1350 °C po czym następuje obniżenie temperatury do poziomu 1200 °C, ale nie ma fazy chłodzenia jak w przypadku krzywych opisanych powyżej.
- e) *RABT/ZTV – krzywe pożarowe* [6]. Niemieckie regulacje określają inne wymagania temperatura-czas dla tuneli drogowych oraz kolejowych. Faza chłodzenia w przypadku tuneli kolejowych jest o 30 minut opóźniona w stosunku do tuneli drogowych. W drogowych chłodzenie następuje już po 30 minutach od rozpoczęcia pożaru.



Rys. 1. Zestawienie krzywych temperatura-czas

Przykład tunelu wykonanego z blach falistych, w którym zastosowano zabezpieczenie przeciwpożarowe na wymagania krzywej RWS, stanowi obiekt w Karpaczu [7]. Tunel ten ma długość 100 m i jest wykonany z blach MutliPlate o szerokość fali 200 mm i głębokości fali 55 mm. Zgodnie z Polskimi wymaganiami konieczne było zabezpieczenie tunelu na okres 4 godzin przy utrzymaniu temperatury stali poniżej wartości krytycznej 450 °C, powyżej której stal zaczyna szybko tracić swoje właściwości mechaniczne – obniżeniu ulega granica plastyczności, a wykorzystanie nośności przekroju rośnie. Jako zabezpieczenie ogniochronne zastosowano natrysk z torkretu. Eksperymentalnie określono wymagana minimalną grubość na 120 mm ponad fałę. Fale blachy zostały także w pełni wypełnione materiałem ogniochronnym. Fale głęboko korugowanych blach SuperCor® mają 381 x 140 mm, a blach UltraCor® 500 x 240 mm. Oznacza to, że wypełnianie ich materiałem ogniochronnym byłoby nieekonomicznie drogie. Z tego powodu opracowano alternatywne rozwiązanie przedstawione w niniejszym artykule.

2. ROZWIĄZANIE

Na etapie prac koncepcyjnych zdecydowano się na zabezpieczenie ogniochronne Cafco FENDOLITE® MII [8]. Zaprawa ogniochronna Cafco FENDOLITE® MII jest gotową mieszanką produkowaną na bazie wermikulitu oraz cementu portlandzkiego. Przeznaczony jest do natryskowego nakładania zarówno w warunkach wewnętrznych jak i zewnętrznych również w miejscach, gdzie jest wymagana aplikacja poza miejscem wbudowania.

Wymagana grubość natrysku została oszacowana na 30-35 mm, co oznaczało możliwość nałożenia go na blachę „po fali”. Oznaczałoby to, że zabezpieczenie jest bezpośrednio na blasze, a jego zewnętrzna powierzchnia jest pofalowana. Drugim zaproponowanym rozwiązaniem było rozpięcie na blasze falistej siatki cięto-ciągnionej o drobnych oczkach i natryśnięcie materiału ogniochronnego na tę siatkę. Oznaczało to zostawienie pustych przestrzeni w falach korugacji. Na poletku doświadczalnym przeprowadzono próby instalacji zabezpieczenia obiema metodami. Zdjęcia obu zabezpieczeń przedstawia rysunek 2. Na rysunku 3 zaprezentowano mocowanie siatki cięto-ciągnionej do konstrukcji. Najpierw do blach konstrukcji zostały zgrzane stalowe szpilki, następnie, po uzupełnieniu zabezpieczenia antykorozyjnego, do szpilek przymocowano nierdzewną siatkę cięto-ciągnioną. Zarówno siatka, szpilki oraz talerzyki mocujące stanowią elementy systemu Promat i są stosowane na konstrukcjach innych obiektów.



Rys. 2. Zaproponowane dwa rozwiązania „po fali” oraz na membranie



Rys. 3. Instalacja membrany z siatki cięto-ciągnionej

Jako rozwiązanie do dalszych badań wybrano natrysk na membranę z siatki cięto-ciągnionej. W dalszej kolejności przeprowadzono symulacje MES w celu określenia grubości natrysku koniecznej do spełnienia wymagań oraz laboratoryjne badania skuteczności w ten sposób wykonanego zabezpieczenia oraz jego odporności mechanicznej.

3. ANALIZA MES

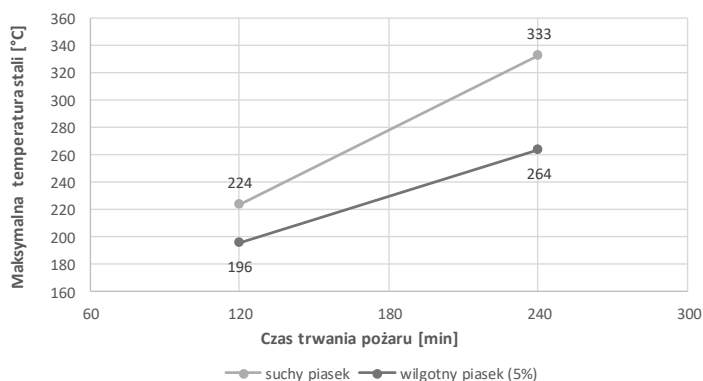
Analizy Metodą Elementów Skończonych przeprowadzono w laboratorium Efectis na autorskim oprogramowaniu. Celem analiz było określenie wymaganej grubości natrysku przy różnych wymaganiach: czas pożaru 2 lub 4 godziny (zgodnie z RWS) oraz temperatura krytyczna konstrukcji na poziomie 450 lub 300 °C.

W analizie zasymulowano blachę falistą SuperCor® grubości 7 mm, zabezpieczenie ogniochronne oraz 15 cm zasyпки powyżej konstrukcji z blach. W założeniu zasyпка miała działać jako konwekcyjne odprowadzenie ciepła, obniżając tym samym temperaturę stali. Z tego powodu zasymulowano zasyпку suchą oraz wilgotną – o zawartości wilgoci 5%. Właściwości fizyczne materiałów użyte w symulacji przyjęto na podstawie kart katalogowych firmy Promat [8] – dla Cafco FENDOLITE® MII, na podstawie normy PN-EN 1993-1-2 [9] – dla stali oraz na podstawie [10] dla zasyпки suchej i wilgotnej. Właściwości zasyпки i zabezpieczenia ogniochronnego w temperaturze pokojowej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizyczne materiałów użyte w symulacji MES

Właściwość fizyczna		Cafco FENDOLITE® MII	Zasyпка wilgotna	Zasyпка sucha
Gęstość	kg/m ³	775	1771	1677
Przewodność cieplna	W/mK (20°C)	0,19	1,6	0,6
Ciepło właściwe	J/kgK (25–35°C)	970	1100	900

W wyniku przeprowadzonych analiz określono maksymalne temperatury na stali po okresie 4 godzin w pożarze na poziomie 333 °C dla piasku suchego oraz 264 °C dla piasku wilgotnego – przy zastosowaniu zabezpieczenia o grubości 55 mm. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wyniki analiz MES

Z uwagi na duży wpływ zasyпки na temperaturę stali oraz niepewność jaka zasyпка będzie wykorzystana w rzeczywistym modelu i jaka będzie jej wilgotność, do dalszych badań wytypowano Cafco FENDOLITE® MII grubości 55 mm.

4. BADANIA LABORATORYJNE

Badania laboratoryjne na fragmentach konstrukcji SuperCor® zostały przeprowadzone w laboratorium firmy Promat (Promat Research and Technology Center) w Belgii. Dostarczono dwie próbki, na których zostało wykonane zabezpieczenie przeciwogniowe grubości 55 mm. Na jednej z próbek przeprowadzono w pierwszej kolejności mechaniczne badanie zabezpieczenia na odporność zmęczeniową. Następnie obie próbki poddano próbie ogniowej.

4.1. Badania zmęczeniowe

Z powodu sposobu instalacji zabezpieczenia ogniochronnego na konstrukcji konieczne było przeprowadzenie badania odporności zmęczeniowej na ssanie.

W tunelach od przejeżdżających pojazdów powstaje podciśnienie, które może zasysać okładziny tunelu. Każdy przejeżdżający pojazd powoduje takie zassanie, dlatego konieczne jest przeprowadzenie badań zmęczeniowych, aby sprawdzić czy takie oddziaływanie nie będzie powodowało odrywania zabezpieczenia od siatki, siatki od szpilek mocujących lub szpilek od konstrukcji. Niedopuszczalne jest także pęknięcie materiału ogniochronnego.

Badanie przeprowadzono zgodnie z tabelą 2 – w 8 cyklach dla różnego ciśnienia.

Tabela 2. Cykle badania zmęczeniowego

Ilość cykli	Ciśnienie	Komentarz
100 000	[-1,0; +1,0] kPa	
250 000	[-1,5; +1,5] kPa	
250 000	[-1,5; +1,5] kPa	jest wymaganiem stawianym tunelom drogowym
100 000	[-2,0; +2,0] kPa	
100 000	[-2,5; +2,5] kPa	
100 000	[-3,0; +3,0] kPa	
100 000	[-3,5; +3,5] kPa	
250 000	[-4,0; +4,0] kPa	jest wymaganiem stawianym tunelom dla kolei dużych prędkości

Badanie wykonano na próbce skrzyżowanych blach SuperCor® o wymiarach 1800 mm na 2250 mm. Do konstrukcji przygrzano stalowe szpilki $\phi 4$ długości 30 mm, w rozstawie co 350 mm w kierunku fali i 381 mm w drugim kierunku (co falę). Na szpilkach zainstalowano siatkę cięto-ciągnioną. Natrysk zabezpieczenia Cafco FENDOLITE® MII wykonano na próbce od spodu, tak że siatka znajdowała się powyżej natrysku. Pomierzona średnia grubość natryśniętej warstwy wynosiła 52,9 mm. Próbkę umieszczono na piecu do testów ogniowych. Krawędź próbki została uszczelniona, a ciężar samej próbki oraz zasypki na górze blach pozwolił zachować szczelność w czasie badania. Osprzęt komory pozwala na regulację ciśnienia wewnątrz. Ciśnienie było mierzone za pomocą ciśnieniomierza elektronicznego PFL 40 o zakresie ± 10 kPa. W czasie badania ciśnienie wewnątrz komory zmieniano z częstotliwością 0,8 Hz.

Po 8. cyklu badania na powierzchni natrysku zaczęły się pojawiać pęknięcia. Badanie zakończono po łącznie 1250000 cykli. Zabezpieczenie spełniło wymagania stawiane tunelom drogowym oraz tunelom kolejowym – z wyłączeniem kolei wysokiej prędkości.

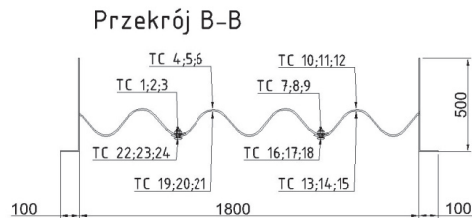
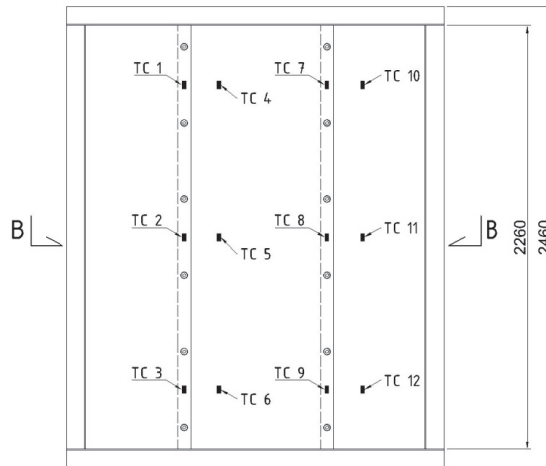
4.2. Badania ogniowe

Badania ogniowe przeprowadzono na dwóch próbkach. Jedną z nich jest próbka, która została wcześniej wykorzystana w badaniu zmęczeniowym – próbka A. Druga została przygotowana wyłącznie do badania ogniowego – próbka B.

Na obu próbkach przed instalacją siatki i natryskiem zabezpieczania zainstalowano termopary po obu stronach blachy SuperCor® – TC 1 do TC 12 po stro-

nie górnej (zimnej) i TC 13 do TC 24 po stronie dolnej (gorącej). Rozmieszczenie termopar przedstawia rysunek 5.

Grubość zabezpieczenia na próbce B wyniosła średnio 53 mm. Natrysk Cafero FENDOLITE® MII na próbkę przedstawia rysunek 6.

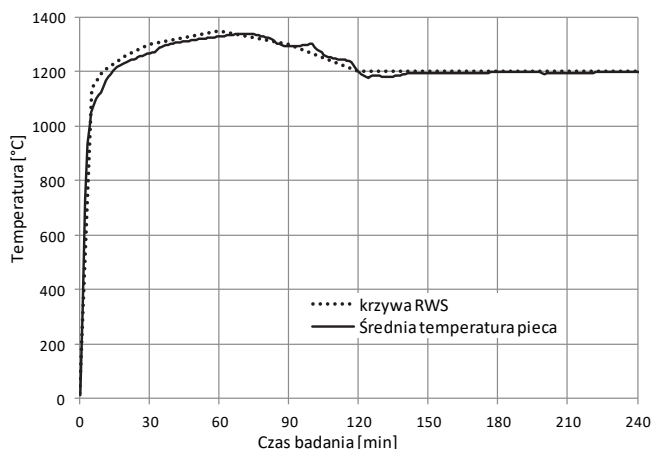


Rys. 5. Rozmieszczenie termopar na próbkach



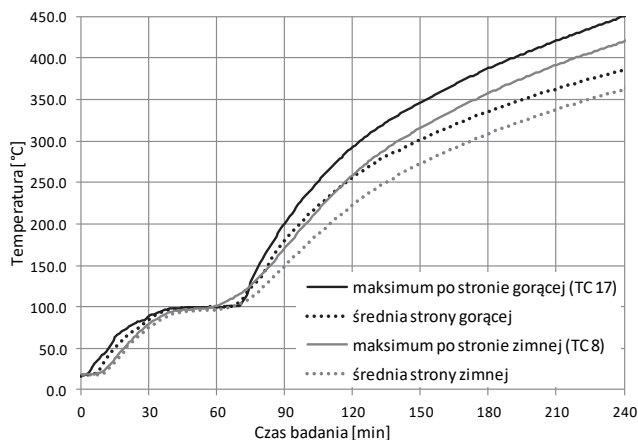
Rys. 6. Natrysk Cafero FENDOLITE® MII na próbkę B

Po sezonowaniu przez okres 2 miesięcy, próbka została umieszczona na piecu opalonym gazem. Temperatura w piecu była kontrolowana tak, aby odpowiadała krzywej RWS. Krzywa RWS zakłada zmianę temperatury przez okres 2 pierwszych godzin pożaru. Po tym czasie temperatura stabilizuje się na poziomie 1200 °C. Wykres temperatury wg krzywej RWS oraz rzeczywistej temperatury w piecu w trakcie badania próbki B przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Zadana oraz pomierzona temperatura w piecu w czasie badania ogniowego

W wyniku badania w piecu ogniowym otrzymano wykresy temperatura czas dla każdej termopary osobno. Dla próbki A, dla której przeprowadzono uprzednio badania zmęczeniowe nastąpił większy wzrost temperatury. Było to spowodowane pęknięciami zabezpieczenia w wyniku badania mechanicznego. Na rysunku 8 przedstawiono temperatury zarejestrowane w czasie badania próbki B.



Rys. 8. Temperatury blachy pomierzone w badaniu ogniowym próbki B

Najwyższe temperatury pomierzono na termoparach po dolnej (gorącej) stronie próbki, na szczytach fal bezpośrednio dotykających zabezpieczenia ogniochronnego. Termopary położone dalej od ognia (w dołach fal) po 4 godzinach pożaru pomierzyły średnio o 56 °C niższe temperatury - po gorącej stronie blachy, oraz średnio 30 °C niższe - po chłodnej stronie blachy. Średnia temperatura po stronie gorącej była o 23 °C wyższa niż po stronie chłodnej. Maksymalna temperatura blachy SuperCor® zarejestrowana po 2 godzinach badania wynosiła 299,8 °C, a po 4 godzinach 450,8 °C.

5. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań odporności mechanicznej określono przydatność zaproponowanego zabezpieczenia dla tuneli drogowych oraz kolejowych z wyłączeniem kolei wysokich prędkości.

W wyniku przeprowadzonych badań ogniowych otrzymano wartości temperatur dużo wyższe od wyników analiz MES. Maksymalna temperatura stali po 4 godzinach oddziaływania krzywej RWS była w teście laboratoryjnym o 117 °C wyższa niż w symulacji MES. Prawdopodobną przyczyną tego było nieuwzględnienie zmiany parametrów termicznych zasyпки w zależności od temperatury. Badania laboratoryjne pokazały, że zasyпка w stanie suchym jest nieefektywna jako odprowadzenie ciepła z konstrukcji – świadczy o tym niewielka różnica temperatury stali po stronie gorącej i chłodnej.

Zabezpieczenie przetrwało całe badanie bez wykruszeń, ani odpadania fragmentów izolacji. W trakcie badania obserwowano wprawdzie pewne spękania zabezpieczenia, zarówno na próbce A jak i próbce B, ale w przypadku próbki B – nie poddanej uprzedniemu badaniu zmęczeniowemu – nie miały one wpływu na zachowanie się zabezpieczenia.

6. PODSUMOWANIE

Z powodu dużych rozmiarów i głębokości fal blach SuperCor® i UltraCor®, nieekonomiczne stało się stosowanie analogicznego rozwiązania ogniochronnego jak na konstrukcjach tuneli z blach MultiPlate. Autorzy zaproponowali dwa rozwiązania alternatywne natrysk cieńszej warstwy zabezpieczenia „po fali” oraz natrysk na rozpiętą na konstrukcji membranę z siatki cięto-ciągnionej. Na podstawie przeprowadzonych prób instalacji do dalszych prac wybrano opcję z membraną. Dla tego rozwiązania przeprowadzono analizy MES, na podstawie których określono grubość zabezpieczenia jaka powinna zostać przebadana w warunkach laboratoryjnych. Badania laboratoryjne obejmowały próby odporności zabezpieczenia na zmęczenie od podciśnienia wywoływanego przez przejeżdżające w tunelu pojazdy oraz próby ogniowe na obciążenie krzywą RWS. Badanie mechaniczne potwierdziło, że zaproponowane zabezpieczenie jest od-

powiednie dla konstrukcji tuneli drogowych i kolejowych z wyłączeniem kolei wysokich prędkości. Badania ogniowe wykazały, że zabezpieczenie wykonane z natrysku FENDOLITE® MII na cięto-ciągnioną siatkę stalową rozpiętą na konstrukcji SuperCor®, o grubości 55 mm, pozwoli na utrzymanie temperatury stali przez okres 2 godzin poniżej 300 °C w warunkach pożaru zgodnego z krzywą tunelową RWS, co jest wymaganiem stawianym stalowym konstrukcjom tuneli w normie NFPA® 502 [11]. Wymaganiem, jakie stawia się konstrukcjom tuneli w Polsce, jest utrzymanie nośności przez okres 4 godzin [12]. Najczęściej jest to realizowane przez utrzymanie temperatury konstrukcji poniżej wartości krytycznej. Temperatura krytyczna powinna być każdorazowo obliczana przez projektanta, jednak założenie jej na poziomie 450 °C jest po stronie bezpiecznej. Również w takim wypadku zabezpieczenie konstrukcji SuperCor® 55 milimetrową warstwą natrysku Cafco FENDOLITE® MII jest wystarczające.

W dalszej części badań przeprowadzone zostaną testy ogniowe w akredytowanym laboratorium. Testy te zostaną wykonane bez zasypki, a grubość natrysku będzie dokładniej kontrolowana.

LITERATURA

1. Maraveas C., Vrakas A., *Design of Concrete Tunnel Linings for Fire Safety*, Structural Engineering International, **24**, 3 (2014) 319-329
2. International Organization for Standardization, *ISO 834: Fire resistance tests – elements of building construction – Part 1: General requirements*, 1999
3. European Committee for Standardization, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, ENV 1991-1-2, 2002.
4. Ministère de l'Équipement, *Instruction technique annexée à la Circulaire interministérielle no 2000-63 du 25 Aout 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier français*, Bulletin officiel du Ministère de l'Équipement n°0 20000-6 dnia 01.09.2000, Paryż, 2000.
5. Efectis Nederland BV, *Fire testing procedure for concrete tunnel linings*, 2008
6. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln*, Ausgabe 1985 ed., 1985.
7. Kunecki B., *Laboratory Test of the Fire Protection Layer Used in the Soil-steel Tunnel in Poland*, Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, 13-3015, Waszyngton, Stany Zjednoczone, 2013.
8. Promat, *Zaprawa ogniochronna Cafco® FENDOLITE MII – Dane techniczne*, [http://az668117.vo.msecnd.net/-/media/files/promat/countries/pl/repository%20content/karty%20techniczne/strona%20\(30\).ashx?la=plpl&rev=808487d0b13341ef8b4de6d20042ffe0&hash=3F76157BFD4086B9A4E6FC01AC51ABE74CAE64D0](http://az668117.vo.msecnd.net/-/media/files/promat/countries/pl/repository%20content/karty%20techniczne/strona%20(30).ashx?la=plpl&rev=808487d0b13341ef8b4de6d20042ffe0&hash=3F76157BFD4086B9A4E6FC01AC51ABE74CAE64D0), ostatnia wizyta na stronie: 30.05.2018.
9. Polski Komitet Normalizacyjny, *PN-EN 1993-1-2:2007, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych -- Część 1-2: Reguły ogólne -- Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*, Warszawa, 2007.
10. Ižvolta L., Dobeša P., *Test Procedure Impact for the Values of Specific Heat Capacity and Thermal Conductivity Coefficient*, Procedia Engineering 91 (2014) 453 – 458.

11. National Fire Protection Association, *NFPA® 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*, Quincy, Stany Zjednoczone, 2011
Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej, *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*, Dziennik Ustaw Nr 63, Poz. 735, 3842-3932, Warszawa, 2000.

FIRE PROTECTION OF ROAD TUNNELS MADE OF DEEP-CORRUGATED PLATES

Summary

Fires in road tunnels pose a great threat to the people present and to the structure of the tunnel itself. When a fire breaks out in a tunnel, the confined space of a tunnel leads to very fast development. The temperature increase is very rapid, especially in case of a fire of a tanker full of gasoline. For exactly such case the most used in Europe time-temperature curve was developed – the RWS curve. The article describes a fire protection system for the requirements of RWS fire, dedicated for cut-and-cover tunnels made of deep-profiled steel corrugated plates. The study considered SuperCor® structure, which corrugations are 140 mm deep. Because of that, filling the whole corrugation with thermal insulation would take too much material and be uneconomical. The proposed solution assumes installation of a steel lath on which a tens of millimetres thick fire protection is sprayed-on. The effectiveness of the fire protection has been confirmed by fire tests. 55 mm thick insulation material – Cafco FENDOLITE®MII – was able to keep the steel temperature below 300 °C for 2 hours and below 450 °C for 4 hours. Additional mechanical tests on the proposed fire protection showed that the protection can withstand fatigue from the passing vehicles in road tunnels and in railway tunnels – with the exception of HST.