

# PROTIPOŽÁRNÍ OBKLADY Z LEHKÉHO KAMENIVA PRO TUNELOVÉ STAVBY ■ FIRE PROTECTION CLADDING FOR TUNNEL STRUCTURES FROM LIGHT AGGREGATE

Vladimír Junek, Tomáš Míčka,  
Jiří Kolísko, Martin Kroc,  
Isabela Bradáčová

V příspěvku jsou shrnuty výsledky požárních zkoušek, jejichž cílem bylo zkoumat vliv dodatečných konstrukcí, resp. předsazeného obkladového panelu a kontaktního obkladu z mezerovitých tvárníc LA blok, na ochranu tunelového ostění před teplotním namáháním. ■ This contribution summarizes results of fire tests aiming at the impact of additional structures, resp. slab cladding and contact cladding from LA blocks with open structure to protect the tunnel cladding against temperature stress.

Požár představuje pro betonová tunelová ostění fatální příčinu porušení, kvůli které může být významně narušena statická únosnost ostění a v krajním případě může dokonce dojít i k jeho kolapsu. Jednou z možností, jak zajistit spolehlivou a bezpečnou statickou funkci tunelového ostění, jsou dodatečná opatření chránící před účinky požáru. Mezi tato opatření se řadí i překrytí konstrukce ostění další konstrukční vrstvou, která zamezí jeho přímému teplotnímu namáhání. Takto vy-

tvořená ochrana může být v krajním případě obětována a po požáru může být relativně snadno opravena, příp. vyměněna.

Cílem provedených požárních zkoušek bylo zjistit, zda takto „odstíněné“ tunelové ostění zůstane v porovnání s „nechráněným“ betonovým ostěním během probíhajícího požáru uchráněno extrémním teplotám a bude plně zachována jeho statická funkce.

Projekt byl řešen ve spolupráci výrobního podniku Lias Vintřřov a spoluřešitelů – vysokoškolských pracovišť Kloknerova ústavu ČVUT a Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB-TU Ostrava, projektové organizace Pontex a zkušební ústavu Pavus. V rámci již dokončeného projektu byla ověřena dvě možná řešení dodatečného opatření pomocí:

- předsazeného obkladového panelu,
- kontaktního obkladu z mezerovitých tvárníc LA blok.

Pro úroveň teplotního zatížení byla zvolena tzv. uhlovodíková křivka ( $HC_{inc}$ ). Ta se od běžně užívané ISO křivky (ISO) liší mnohem výraznějším

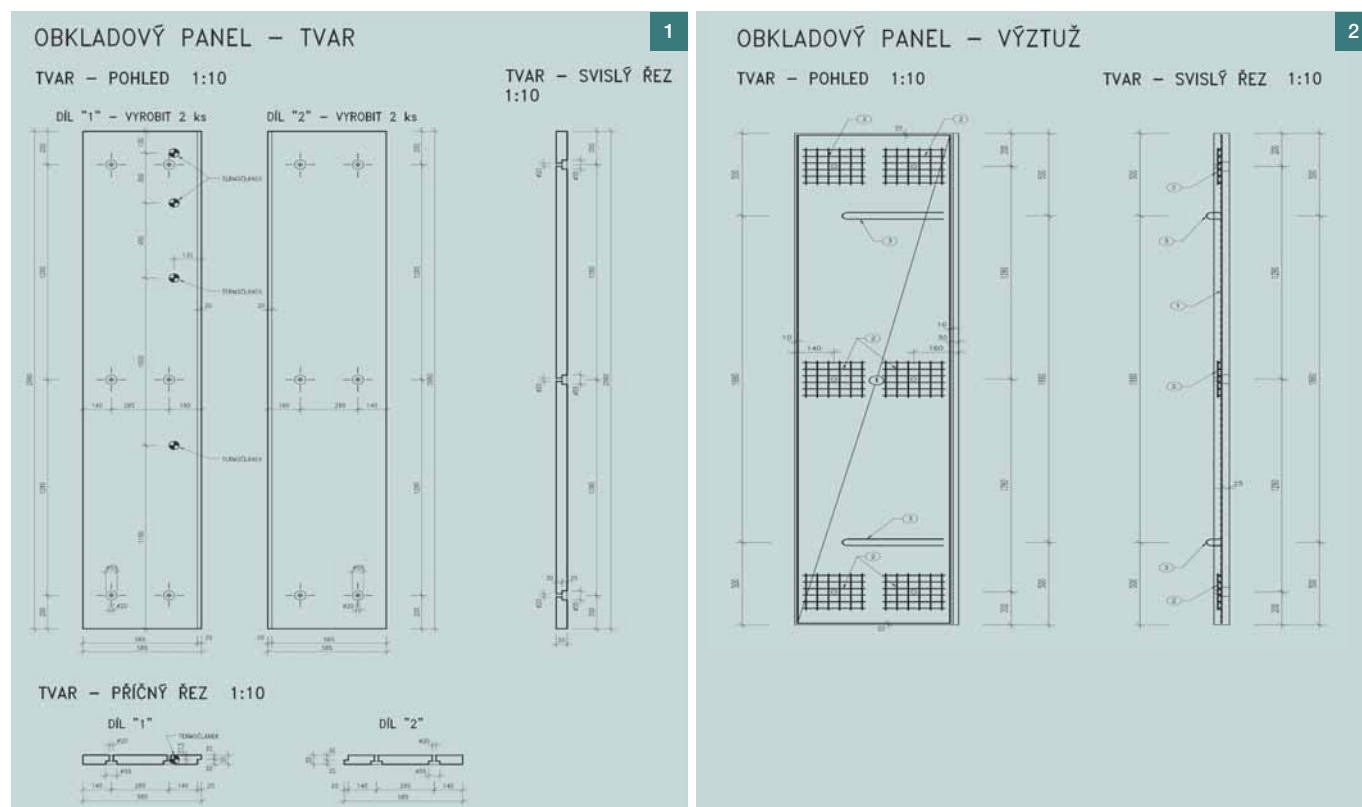
počátečním náběhem teplot a současně dosahuje i mnohem vyšších teplot koncových. Uhlovodíková křivka je sestavena na základě hoření vysoce hořlavých látek, jako jsou např. benziny. Odpovídá tak reálnému požáru, ke kterému by mohlo v tunelových stavbách dojít.

Pro potřeby zkoušky byly vyrobeny velkoprostorové zkušební dílce představující reálné části tunelového ostění. U těchto dílců byla vždy jedna polovina vyrobena s přídavkem PP vláken o délce 12 mm v množství  $0,9 \text{ kg/m}^3$ , druhá polovina byla vyrobena bez vláken. Obě části (poloviny ostění) byly betonovány současně a následně byly transportovány jako jeden dílec.

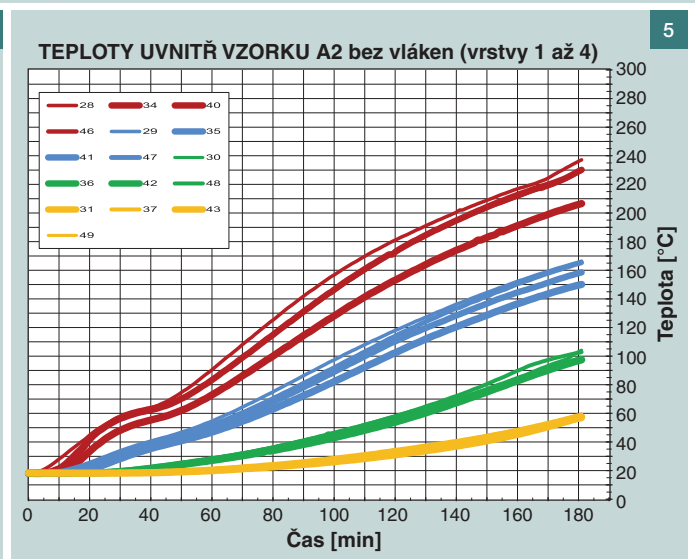
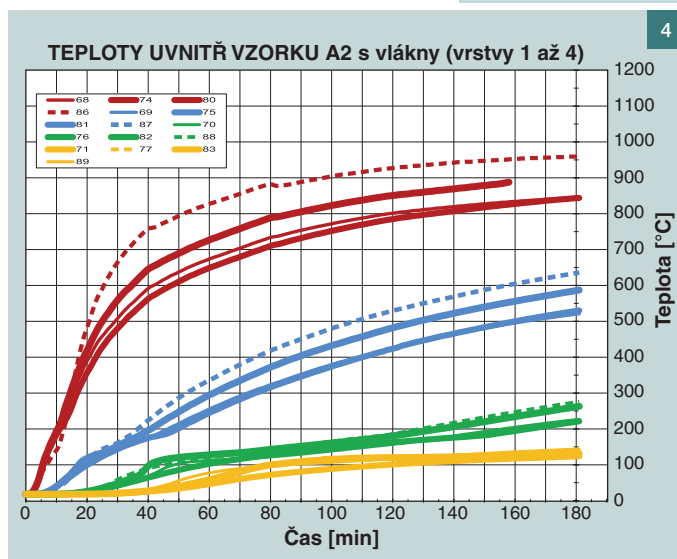
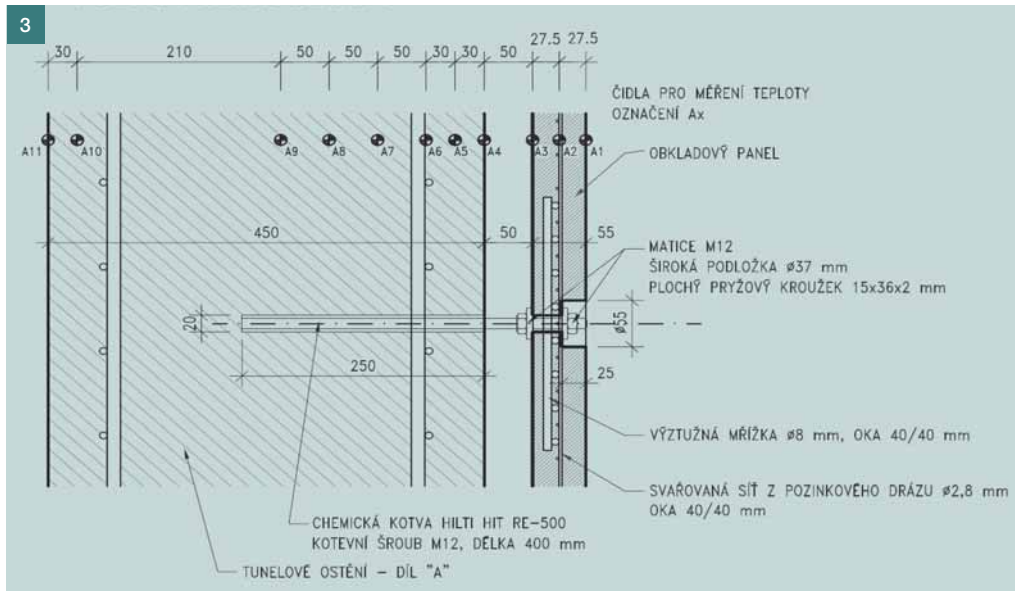
## PŘEDSAZENÝ OBKLADOVÝ PANEL

Tunelové ostění je proti požáru chráněno předsazenými železobetonovými obkladovými panely i na některých částech v tunelovém komplexu Blanka.

Pro potřeby prezentované zkoušky byly obkladové panely vyrobené z lehkého betonu LC35/38-XF4 namon-



továny svisle na zatěžovanou stranu vzorového tunelového ostění. Panely (dva dílce) zakrývaly polovinu vzorového tunelového ostění tak, aby bylo možné během jedné zkoušky současně provádět měření teplot i v nezakryté části ostění. Tvar, rozměry a způsob vyztužení jsou na obr. 1 a 2. Každý díl obkladového panelu je kotven pomocí šesti závitových tyčí M12 do kotev Hilti HIT RE-500 (obr. 3). Panely byly před-sazeny na ostění s mezerou 50 mm. Ve středu vzorku byla dutina kryta minerální vatou Rockwool s nominální objemovou hmotností 100 kg/m<sup>3</sup>. Vzájemný styk obkladových dílců byl tvořen polodrážkou s vlepeným pryžovým těsněním.



Obr. 1 Rozměry obkladového panelu  
 Fig. 1 Dimensions of the cladding panel  
 Obr. 2 Vyztužení obkladového panelu  
 Fig. 2 Reinforcement of the cladding panel  
 Obr. 3 Detail ukotvení a polohy termočlánků  
 Fig. 3 Detail of the anchoring and location of the thermocouple  
 Obr. 4 Záznam teplot uvnitř vzorku A2 s vlákny (část ostění nezakrytá obkladovými panely)  
 Fig. 4 Records of the temperature inside the A2 sample with fibres (part of the reveal not covered by the cladding panels)  
 Obr. 5 Záznam teplot uvnitř vzorku A2 bez vláken (část ostění zakrytá obkladovými panely)  
 Fig. 5 Records of the temperature inside the A2 sample without fibres (part of the reveal covered by the cladding panels)  
 Obr. 6 Obkladový panel po montáži  
 Fig. 6 Cladding panel after mounting  
 Obr. 7 Pohled na zatíženou stranu po zkoušce  
 Fig. 7 Loaded side after the test



Teploty v peci byly regulovány pro průběh teplot dle parametrů uhlovodíkové křivky. Teplotní čidla byla umístěna v ostění celkem v šesti hloubkách: 30, 60, 110, 160, 210 a 420 mm, další tři čidla byla umístěna v obkladových panelech (obr. 3).

Graf na obr. 4 ukazuje záznam teplot naměřených do 181. min (čas ukončení zkoušky) v nezakryté části ostění vystavené přímo účinkům vysokých teplot. Nejvyšší zaznamenaná teplota v hloubce 30 mm (čidla č. 68, 74, 80 a 86 – červené křivky) byla 959 °C. U čidel umístěných v hloubce 60 mm (č. 69, 75, 81 a 87 – modré křivky) byla zaznamenána maximální teplota 636 °C a u čidel umístěných v hloubce 110 mm (č. 70, 76, 82 a 88 – zelené křivky) byla zaznamenána maximální teplota 276 °C.

Záznam teplot v části kryté obkladovými panely je znázorněn na obr. 5. Opět se jedná o záznam dosažených teplot do 181. min (čas ukončení zkoušky). Nejvyšší teplota zaznamenaná čidly umístěnými v hloubce 30 mm (čidla č. 28, 34, 40 a 46 – červené křivky) byla 237 °C. U čidel umístěných v hloubce 60 mm (č. 29, 35, 41 a 47 – modré křivky) byla zaznamenána maximální teplota 167 °C a u čidel umístěných v hloubce 110 mm (č. 30, 36, 42 a 48 – zelené křivky) byla maximální teplota 104 °C.

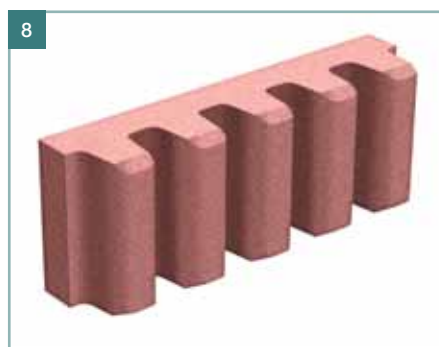
Hodnoty zaznamenané čidly v hloubkách 160, 210 a 420 mm a také v obkladových panelech nejsou uváděny. Cílem článku je prezentovat vliv předřazených obkladových panelů na redukci teplotního namáhání jednak povrchu tunelového ostění, a jednat v podpovrchové části ostění, kde lze předpokládat případné umístění betonářské výztuže.

### KONTAKTNÍ OBKLAD Z MEZEROVITÝCH TVÁRNIC

Pro druhou zkoušku požárních obkladů byly použity obkladové mezerovité tvárnice LA blok (obr. 8), které byly vyvinuty jako doplněk systému protihlukových stěn Liadur a umožňují montáž zvukově pohltivého obkladu na již stávající konstrukce. V rámci projektu bylo ověřováno chování obkladu při požárním zatížení.

Montáž LA bloků na vzorové tunelové ostění byla provedena dvěma způsoby. Polovina vzorku byla zmonolitněna, přičemž tvárnice byly použity jako ztracené bednění. Na druhé polovině ostění byly LA bloky kotveny mechanicky pomocí šroubů (obr. 9).

Teploty v peci byly regulovány pro průběh teplot dle parametrů uhlovodíkové křivky. Ve zmonolitněné části nebyla nejvyšší dosažená teplota ve 181. min (čas ukončení zkoušky) v hloubce 30 mm (čidla č. 68, 75 a 82 – červené křivky) větší než 245 °C (obr. 10). V hloubce

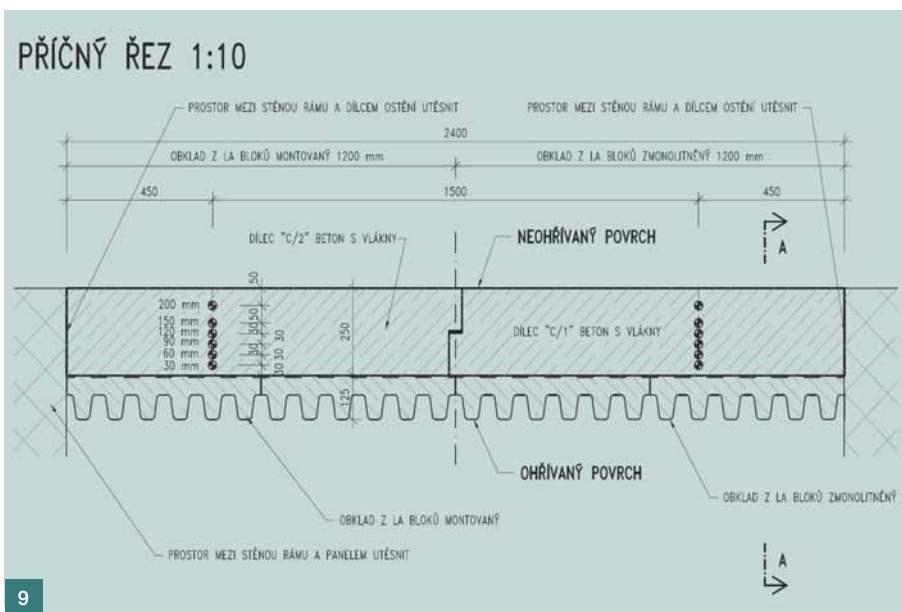


Obr. 8 Tvarovité LA bloky  
Fig. 8 Profiled LA block

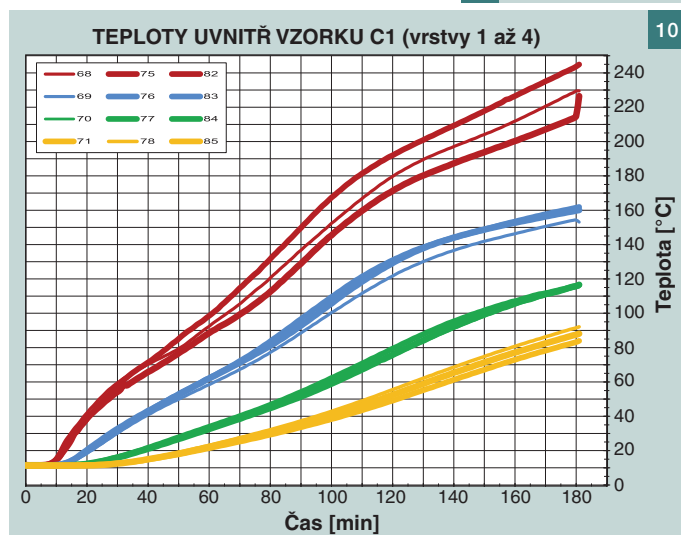
Obr. 9 Příčný řez dílcem s vyznačením umístění teplotních čidel  
Fig. 9 Cross-section of the element with marked location of the heat sensitive elements

Obr. 10 Záznam teplot v části zmonolitněné  
Fig. 10 Record of temperatures in the part with monolithic connection

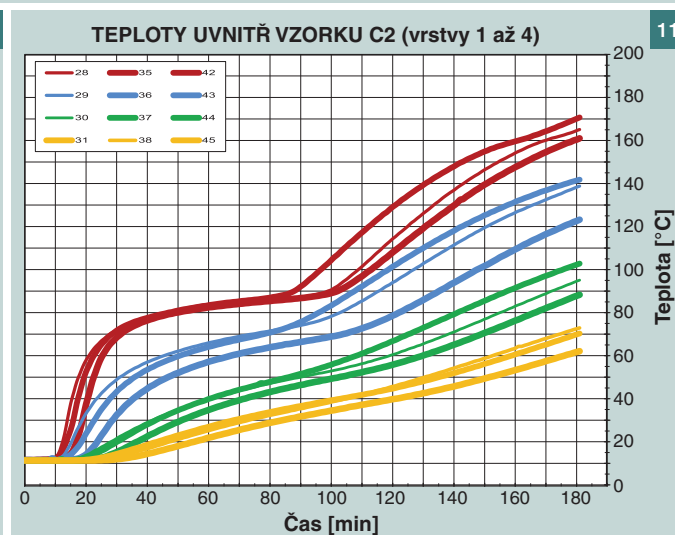
Obr. 11 Záznam teplot v části s mechanickým kotvením  
Fig. 11 Record of temperatures in the part with mechanical anchorage



9



10



11





Obr. 12 Pohled na vzorek C1 po zkoušce, část zmonolitněná ■ Fig. 12 C1 sample after the test, part with monolithic connection

Obr. 13 Pohled na vzorek C2 po zkoušce, část mechanicky kotvená ■ Fig. 13 C2 sample after the test, mechanically anchored part

#### Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha, ČNI, 2006.
- [2] ČSN EN 14388 ed. 2. Zařízení pro snížení hluku silničního provozu – Specifikace. Praha: ÚNMZ, 2016.

60 mm (č. 69, 76 a 83 – modré křivky) byla teplota nižší než 165 °C. Hodnoty zaznamenané čidly v dalších hloubkách nejsou uváděny ze stejného důvodu jako v prvním případě.

V části ostění, kde bylo použito mechanické kotvení, byla ve 181. min (opět čas ukončení zkoušky) nejvyšší zaznamenaná teplota v hloubce 30 mm (čidla č. 28, 35 a 42 – červené křivky) 171 °C. U čidel umístěných v hloubce 60 mm (č. 29, 36 a 43 – modré křivky) byla zaznamenána nejvyšší teplota maximálně 139 °C (obr. 11).

Vyšší dosažené teploty v jednotlivých hloubkách u části ostění s monolitickým spojením oproti části s mechanickým kotvením jdou na vrub postupné degradaci obkladu během zkoušky. Monolitické spojení není v případě namáhání vysokými teplotami únosné po stejnou dobu jako v případě s kotvením mechanickým (obr. 12 a 13).

#### ZÁVĚR

Provedenými požárními zkouškami byl ověřen zásadní vliv dodatečné ochranné konstrukce na prostup teplotního namáhání do betonového průřezu. U zkoušek provedených na nechráněném tunelovém ostění dosahovaly teploty na konci popsané požární zkoušky hodnot téměř 1000 °C na povrchu a více než 600 °C v hloubce 60 mm (resp. v hloubce uložení nosné betonářské výztuže). Při takové teplotě je statická funkce betonářské výztuže jen ve-

Tab. 1 Hodnoty redukčního součinitele

betonu dle ČSN EN 1992-1-2 [1] ■

Tab. 1 Values of the reduction coefficient of concrete acc. to ČSN EN 1992-1-2 [1]

Teplota betonu $\theta_c$ [°C]	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_c$	
	NC	LC
20	1	1
100	1	1
200	0,95	1
300	0,85	1
400	0,75	0,88
500	0,6	0,76
600	0,45	0,64
700	0,3	0,52
800	0,15	0,4
900	0,08	0,28
1000	0,04	0,16
1100	0,01	0,04
1200	0	0

lice nízká. V případě provedených dodatečných opatření bránících působení požáru přímo na tunelové ostění byl ověřen značný pokles teploty, a to až na 200 °C na povrchu a na méně než 165 °C v hloubce 60 mm. Dle ČSN EN 1992-1-2 [1] je pro takovéto teploty uváděna jen minimální redukce pevností v rádech jednotek procent a ztráta únosnosti je tak minimální. Naopak pro teploty okolo 600 °C dosažené u nechráněné konstrukce ostění představuje redukci únosnosti betonu téměř o 36 až 55 % (tab. 1). Vliv použitých PP vláken nebyl posuzován. Jejich aplikace v části zakryté deskovými obklady, příp. obkladem, by vzhledem k nižšímu teplotnímu gradientu (oproti nezakryté části)

a k dosažené poměrně nízké teplotě byla víceméně bezvýznamná.

Ochranné vrstvy z předsazených obkladových panelů z lehkého betonu i obklad z mezerovitých tvárníc LA blok prokázaly při zkouškách velmi dobré výsledky. V případě použití obkladu z mezerovitých tvárníc lze počítat i se zvukovou pohltivostí v kategorii A3 dle ČSN EN 14388 [2].

Tento příspěvek byl připraven za podpory projektu TA02010488 Požárně odolné konstrukce pro tunelové stavby s využitím lehkého betonu Liapor.

Ing. Vladimír Junek  
Pontex, spol. s r. o.  
e-mail: junek@pontex.cz



Ing. Tomáš Míčka  
Pontex, spol. s r. o.  
e-mail: micka@pontex.cz



doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.  
Kloknerův ústav ČVUT v Praze  
e-mail: jiri.kolisko@cvut.cz



Ing. Martin Kroc  
Lias Vintířov,  
lehký stavební materiál, k. s.  
e-mail: martinkroc@seznam.cz



Ing. Isabela Bradáčová, CSc.  
VŠB-TU Ostrava  
Fakulta bezpečnostního inženýrství  
e-mail: isabela.bradacova@vsb.cz

