

POŽÁRNĚ ODOLNÉ KONSTRUKCE PRO TUNELOVÉ STAVBY S VYUŽITÍM LEHKÉHO BETONU ■ FIRE RESISTANT STRUCTURES FOR TUNNEL LINING USING LIGHTWEIGHT CONCRETE

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

Článek popisuje výsledky zkoumání požárně-technických vlastností lehkého betonu s ohledem na možnost jeho využití pro betonová ostění tunelových staveb. ■ The article introduces the results of the examination of fire-technical lightweight concrete characteristics with regard to the possibility of using lightweight concrete for concrete tunnels lining.

Projekt TA 020 10488 Požárně odolné konstrukce pro tunelové stavby s využitím lehkého betonu Liapor je řešen ve spolupráci výrobního podniku Lias Vintířov a spoluřešitelů – vysokoškolských pracovišť Kloknerova ústavu ČVUT a Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB TU Ostrava, projektové organizace Pontex, s. r. o., a Pavus, a. s., jako autorizované osoby AO 216 zabývající se požárním zkušebnictvím a autorizační a notifikační činností při prokazování shody výrobků.

Projekt je zaměřen na vývoj lehkého betonu pro konstrukční účely, který má příznivé vlastnosti z hlediska odolnosti vůči vysokým teplotám. Vývoj konstrukčních betonů s lehkým kamenivem je zaměřen na požární vlastnosti a na možnost aplikace v tunelovém stavitelství. Získané poznatky budou následně využitelné v celém oboru navrhování a posuzování konstrukcí z lehkého betonu na účinky požáru.

V roce 2013 byly provedeny dílčí oblasti výzkumu zaměřené na určení pevnostních charakteristik lehkého betonu při zvýšených teplotách, na teoretické výpočty prostupu tepla betonovým ostěním z lehkého betonu, na stanovení vhodných postupů pro statické posuzování prvků a byla dokončena příprava na provedení rozsáhlých zkoušek ve zkušebních požárních pecích. Dokončení projektu se předpokládá v roce 2015.

Navrhování konstrukcí z lehkého betonu na účinky požáru a posouzení jejich požární odolnosti je komplexní problém vyžadující vyřešení několika dílčích úkolů:

- určení materiálových vlastností (základních mechanických a teplotně-fyzikálních vlastností): pevnostní a de-

formační vlastnosti, tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a objemová hmotnost,

- provedení teplotní analýzy požární oblasti, určení požárního scénáře a následně požární teplotní křivky (normová, uhlovodíková křivka, eureka),
- určení tepelné odezvy zkoumaného materiálu, resp. stavební konstrukce,
- výpočet prostupu tepla konstrukcí,
- statické posouzení a návrh vhodných výpočetních modelů.

URČENÍ MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

Pro zkoušky materiálů byl zvolený postup, který je v souladu s ustanovením čl. 3. 2. v ČSN EN 1992-1-2. V roce 2013 byly zjišťovány pevnostní a deformační vlastnosti lehkého betonu v závislosti na teplotě.

Pro potřeby zkoušek byly vyrobeny vzorky z betonu C30/37 – hutný beton a z betonu LC35/38 – beton s kamenivem Liapor. Vzorky byly vyrobeny ze záměsi bez rozptýlené výtzuže a s různým množstvím rozptýlené výtzuže (PP vlákna, průměr 20 μm , délka 12 mm), 0,9 kg/m^3 pro beton hutný a 0,9, resp. 1,8 kg/m^3 pro beton lehký. Z každé záměsi bylo vyhotoveno 24 zkušebních vzorků – standardních krychlí o hraně 150 mm.

Zkušební vzorky byly umístěny do pece a zahřívány na požadovanou teplotu 200, 400, 600, 800 a 1 000 $^{\circ}\text{C}$. Rychlost nárůstu teploty byla cca 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Po vychladnutí byly vzorky podrobeny zkoušce mechanických vlastností – pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku.

Výsledky zkoušek uvedené v tab. 1 jsou vztažené k pevnosti betonu zjištěné při teplotě $t = 20^{\circ}\text{C}$. Tab. 2 uvádí poměr mezi krychelnou pevností betonu $f_{c,0}$, stanovenou při teplotě 20 $^{\circ}\text{C}$, a krychelnou pevností betonu $f_{c,\theta}$, stanovenou při teplotě betonu θ_c , a to pro beton obyčejný – hutný (NC) a lehký beton (LC). Výsledky jsou uvedené jako procentuální podíl pevnosti.

Na základě experimentálně získaných výsledků – tedy reziduální pevnosti betonu po jeho vystavení různým teplotám – lze konstatovat velkou podobnost mezi výsledky experimentu a údaji o pevnosti betonu při zvýšených teplotách uváděných v ČSN EN 1992-1-2, resp. ČSN EN 1994-1-2. Shoda je zejména v oblasti vysokých teplot. V případě nižších teplot jsou výsledky získané ze zkoušek mírně příznivější. Zkoušky pevnosti v tlaku byly provedeny po vychladnutí vzorků.

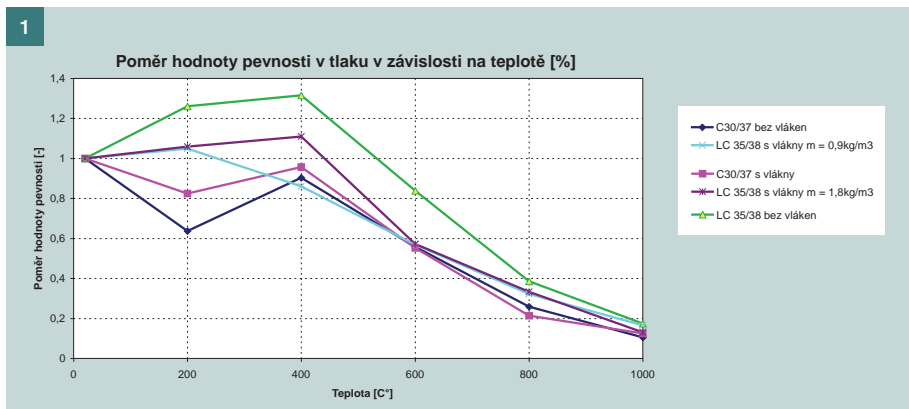
V dalším kole zkoušek v roce 2014 byly zjišťovány pevnosti betonu přímo

Tab. 1 Výsledky zkoušek pevnosti betonu v tlaku [MPa] po zahřátí a ochlazení ■
Tab. 1 Compression test results [MPa] after heating and cooling

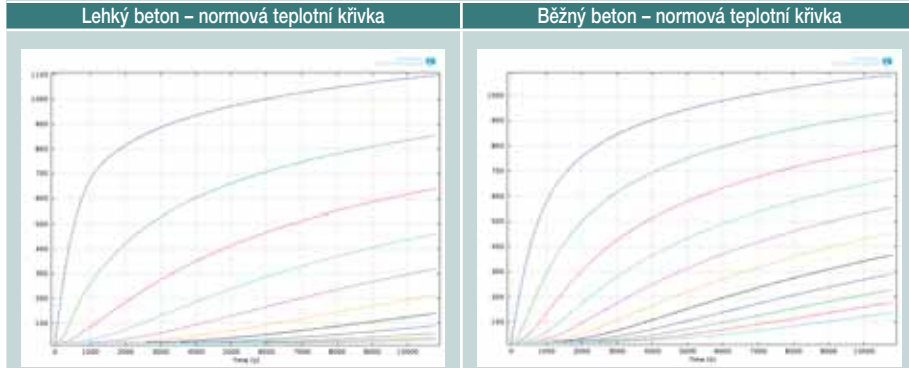
Receptura		Průměrné hodnoty pevnosti v tlaku [MPa]					
		$T = 20^{\circ}\text{C}$	$T = 200^{\circ}\text{C}$	$T = 400^{\circ}\text{C}$	$T = 600^{\circ}\text{C}$	$T = 800^{\circ}\text{C}$	$T = 1\,000^{\circ}\text{C}$
C 30/37	bez vláken	67,70	43,10	61,15	37,80	17,5	7,09
	s vlákny, $m = 0,9 \text{ kg}/\text{m}^3$	65,32	53,79	62,48	36,05	14,0	8,18
LC 35/38	bez vláken	44,09	55,61	58,02	36,98	17,0	7,67
	s vlákny, $m = 0,9 \text{ kg}/\text{m}^3$	50,15	52,63	43,19	28,54	16,2	8,30
	s vlákny, $m = 1,8 \text{ kg}/\text{m}^3$	44,45	47,08	49,35	25,40	14,8	5,78

Tab. 2 Výsledky zkoušek pevnosti betonu v tlaku [%] po zahřátí a ochlazení ■
Tab. 2 Compression test results [%] after heating and cooling

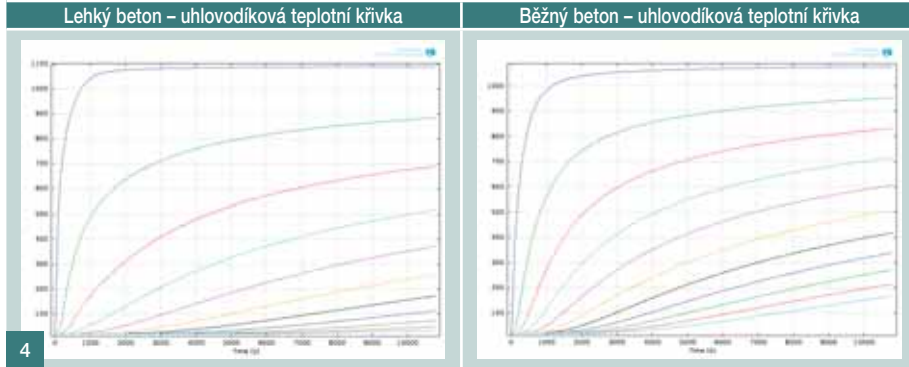
Receptura		Poměr hodnoty pevnosti v tlaku [%]					
		$T = 20^{\circ}\text{C}$	$T = 200^{\circ}\text{C}$	$T = 400^{\circ}\text{C}$	$T = 600^{\circ}\text{C}$	$T = 800^{\circ}\text{C}$	$T = 1\,000^{\circ}\text{C}$
C 30/37	bez vláken	100	63,66	90,32	55,83	25,85	10,48
	s vlákny, $m = 0,9 \text{ kg}/\text{m}^3$	100	82,35	95,66	55,19	21,43	12,53
LC 35/38	bez vláken	100	126,14	131,61	83,88	38,56	17,39
	s vlákny, $m = 0,9 \text{ kg}/\text{m}^3$	100	104,94	86,11	56,91	32,21	16,55
	s vlákny, $m = 1,8 \text{ kg}/\text{m}^3$	100	105,91	111,01	57,15	33,3	13,01



Tepotní rozvoj uvnitř betonového elementu (š = 1 m, v = 0,4 m)



Tepotní rozvoj uvnitř betonového elementu (š = 1 m, v = 0,4 m)



4

3

při působení vysokých teplot. Pro tyto účely Kloknerův ústav ČVUT disponuje elektrickou pecí s maximální dosažitelnou teplotou cca 1 200 °C, kterou lze umístit v zatěžovacím stroji a provádět zkoušky betonu v tlaku přímo během ohřívání, bez nutnosti další manipulace a ochlazování vzorků. Získané údaje jsou podkladem pro výpočet stability betonových konstrukcí z lehkého betonu přímo při požáru.

TEPELNÁ ODEZVA STAVEBNÍ KONSTRUKCE - VÝPOČET PROSTUPU TEPLA BETONOVÝM OSTĚNÍM

Při analýze tepelné odezvy stavebních konstrukcí se setkáváme se třemi základními procesy přenosu tepla, kondukcí, konvekcí a radiací, které se mohou vyskytovat samostatně nebo ve vzájemné kombinaci. Nejčastěji se při požáru počítá s působením ra-

diace a konvekce na povrch stavebního prvku a následně s kondukcí tepla uvnitř tohoto prvku.

V rámci řešeného projektu byly na VŠB TU Ostrava provedeny teoretické výpočty prostupu tepla stěnou tunelového ostění z hutného a lehkého betonu. Pro výpočet MKP byl použit program COMSOL Multiphysics. Výpočtový model představoval výšeč ostění o tloušťce 400 mm a délce 1 m. Vzorek ostění byl zatěžován normovou křivkou celulózového typu a uhlovodíkovou křivkou, teploty byly vyhodnocovány po 10 s až po dobu požadované požární odolnosti, tj. po dobu 180 min., na ohříváném povrchu a dále v hloubkách 20 až 200 mm. Ve větších vzdálenostech od ohříváného povrchu již byl nárůst teplot v konstrukci ostění nepodstatný. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v grafech na obr. 4.

Teoretickými výpočty byly prokázány

Obr. 1 Poměr hodnot pevnosti v tlaku v závislosti na teplotě ■ Fig. 1 Ratio of compressive strength versus temperature

Obr. 2 Zkušební pec Ronde ■ Fig. 2 Ronde test furnace

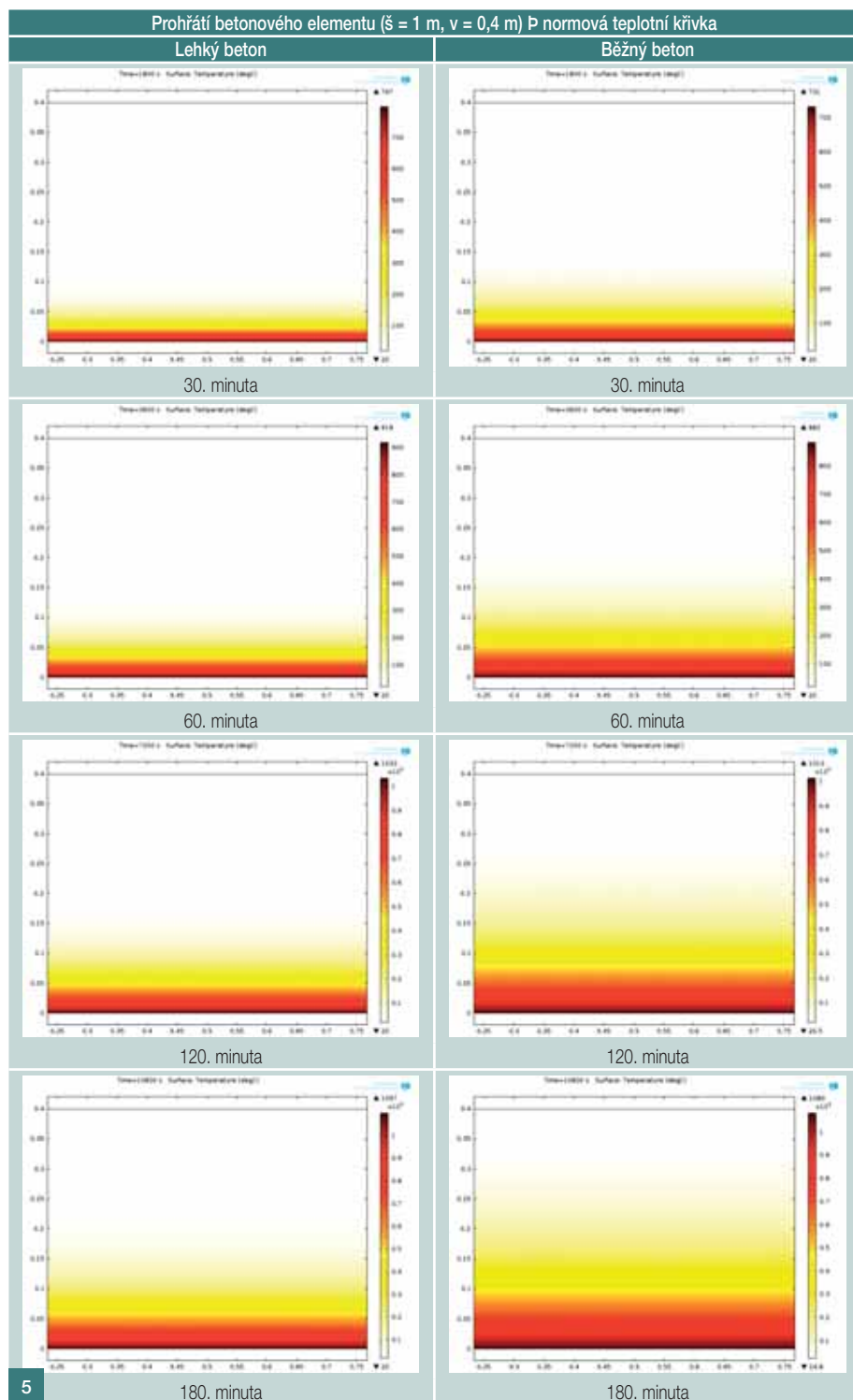
Obr. 3 Zatěžovací stroj Instron 3 000 kN ■ Fig. 3 Instron load machine 3 000 kN

Obr. 4 Teoretický přestup tepla betonovým ostěním ■ Fig. 4 Theoretical heat transfer concrete lining

dobré tepelně izolační vlastnosti lehkého betonu. Nárůst teplot ve zkoumané konstrukci z lehkého betonu je při obou druhích tepelného zatížení (uhlovodíková a normová požární křivka) pomalejší než u konstrukce z hutného betonu, a tím dochází k pomalejšímu prohřívání především oblastí s vloženou nosnou výztuží.

STATICKÉ POSOUZENÍ

Pro statické posouzení tunelového ostění z lehkého betonu je vhodné využít vý-



5

početní metody uvedené v ČSN EN 1992-1-2 – zónovou metodu nebo metodu izotermu 500 °C. Obě tyto metody jsou založeny na znalosti prostupu tepla konstrukcí a znalosti pevnostně-deformačních charakteristik posuzovaného materiálu.

U zónové metody jsou v závislosti na teplotě konkrétní vrstvy (zóny) sníženy její mechanické vlastnosti. Statickému výpočtu tak předchází rozdělení posuzované konstrukce na jednotlivé vrstvy.

U metody izotermu 500 °C jsou ze

spolupůsobení zcela vyloučeny části průřezu s teplotou vyšší než 500 °C. U části konstrukce s teplotou nižší je uvažována plná únosnost.

U obou metod je nutné redukovat napětí v betonářské výztuži v závislosti na teplotě dosažené v okolí výztuže.

V rámci projektu byla provedena statická studie zaměřená na porovnání využití materiálů v tunelu s použitím klasického hutného betonu oproti lehkému betonu. Výsledky teoretické studie potvrdily, že konstrukce tunelového ostění navržená z lehkého betonu má nižší vy-

Literatura:

- [1] ČSN EN 1991-1-2, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1 – 2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Český normalizační institut, 2006
- [2] ČSN EN 1992-1-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Český normalizační institut, 2006
- [36] ČSN EN 1994-1-2, Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Český normalizační institut, 2006
- [4] ČSN EN 1363-1: Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky. Český normalizační institut, 2002
- [5] ČSN 73 7507: Projektování tunelů pozemních komunikací. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [6] ČSN 73 7508: Železniční tunely. Český normalizační institut, 2002
- [7] Bradáčová I., Mička T., Kolísko J., Kroč M.: Zpráva grantového projektu TAČR alfa, ev. č. projektu TA02010488, Průběžná zpráva za rok 2013, Praha, 2013

Obr. 5 Rozložení teplot betonového ostění v závislosti na čase ■ Fig. 5 Temperature distribution of a concrete lining in relation to time

užití, tedy je z hlediska požárního návrhu bezpečnější.

Ve výsledcích nebyl uplatněn možný vliv odprysku (tj. nadměrného odštěpování vrstvy betonu vystavené požáru). Pro správnou funkci tunelového ostění je odprysk betonu nutné snížit na minimum, např. vhodným návrhem betonové směsi nebo přidáním polypropylenových vláken.

DALŠÍ PLÁNOVANÝ VÝZKUM

V roce 2014 se pokračovalo výrobou a zkoušením požární odolnosti velkých stěnových dílců modelujících tunelové ostění. Zkušební dílce velikosti cca 2,5 x 3 x 0,45 m byly vyrobeny společností Lias Vintřřov podle odzkoušené receptury LC35/38. Zkoušeny byly vzorky z vytuženého betonu bez a s příměsí polypropylenových vláken (průměr 20 μm , délka 12 mm, cca 1 kg/m^3). Vyroběné dílce byly odzkoušeny v požární zkušebně PAVUSu ve Veselí nad Lužnicí. Zkouškami byla ověřena odolnost dílců na různé požární zatěžovací křivky, a to i pod statickým zatížením. Zatížení prvků odpovídalo jejich fungování v reálné tunelové konstrukci. Výběr požárních křivek byl proveden na základě rešerše teplotních křivek pro tunelové stavby používaných v Evropě a křivek požadovaných v českých předpisech pro tunelové stavby:

- Normová teplotní křivka (ISO 834),
- Uhlovodíková teplotní křivka HC (ČSN EN 1991-1-2),
- Křivka Eureka (předepsaná v ČR pro železniční tunely dle ČSN 73 7508).

Zkoušky tunelového ostění v předloženém měřítku a za daných podmínek jsou dosud spíše výjimkou vzhledem k jejich velké náročnosti. Cílem zkoušek bylo zejména ověření prostupu tepla konstrukcí za pomoci osazených termočlánků uvnitř zkoušené konstrukce a ověření tak teoretických výpočtů a modelů. Během zkoušky může dojít k nežádoucímu jevu projevujícím se u betonových konstrukcí vystavených vysokým teplotám, tzv. odštěpování (někdy nazývané odprýsknutí) betonu.

Získané výsledky ze zkoušek budou porovnány s v minulosti provedenými

mi zkouškami jiných významných tunelů v ČR s ostěním z klasického hutného betonu.

ZÁVĚR

Očekávaným přínosem zkoušek požární odolnosti vzorků tunelového ostění je rozšíření souboru výsledků zkoušek konstrukcí tunelových staveb, ověření reálného chování těchto konstrukcí v různě simulovaných podmínkách požáru za současně působícího zadaného zatížení a sledování dalších možných následků požáru působícího na konstrukce z lehkého betonu Liapor. V rámci projektu je uvažováno s porovnáním výsledků zkoušek, teoretických modelů a výpočtů.

Tento příspěvek byl připraven za podpory projektu TA 02010488.

Ing. Vladimír Junek



Ing. Tomáš Míčka



oba: Pontex, spol. s r. o.

Ing. Martin Kroc



Lias Vintřov,

lehký stavební materiál, k. s.

Ing. Isabela Bradáčová, CSc.



Ing. Petr Kučera, Ph.D.



oba: VŠB TU Ostrava
Fakulta bezpečnostního
inženýrství

doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.



Kloknerův ústav, ČVUT Praha

BETONCONSULT®
www.betonconsult.cz

ODBORNÉ KURZY PRO STAVEBNICTVÍ 2015

Přednášejí:

Prof. Ing. Juraj Bilčík, CSc.
Ing. Ladislav Bukovský
Doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.
Ing. Hana Geiplová
Ing. Jan Hromádka
Ing. Pavel Hruza
Mgr. Ing. David Jedinák
PhDr. Eduard Justa
Doc. Ing. Daniel Makovička, DrSc.
Ing. Jiří Píček
JUDr., PhDr. Jiří Plos
Ing. Petr Ptáček, Ph.D.
Ing. Václav Pumpr, CSc.
Ing. Richard Schejbal
Dana Školová
Ing. Petr Tůma, Ph.D.
Doc. Ing. Milan Vašek, CSc.
Ing. Jan Zelenka
Ing. Jiří Zmek

26.1.2015	LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA PROJEKTOVOU DOKUMENTACI STAVEB
9.-10.2.2015	VADY A PORUCHY STAVEB - POUČENÍ Z CHYB. BETONOVÉ KONSTRUKCE
11.2.2015	VADY A PORUCHY STAVEB - POUČENÍ Z CHYB. OCELOVÉ A DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE
9.-12.3.2015	PROVÁDĚNÍ A KONTROLA SANACÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ
23.3.2015	JAK SPRÁVNĚ PROJEKTOVAT A PROVÁDĚT PRŮMYSLOVÉ PODLAHY
24.3.2015	JAK SPRÁVNĚ PROJEKTOVAT A PROVÁDĚT PODLAHY V BYTOVÉ A OBČANSKÉ VÝSTAVBĚ
25.3.2015	STAVBYVEDOUČÍ - KOMPETENCE, PRÁVA, POVINNOSTI
31.3.2015	NOVÝ ZÁKON O OBCHODNÍCH KORPORACÍCH A PODNIKÁNÍ VE STAVEBNICTVÍ
2.4.2015	SMLOUVY O DÍLO VE STAVEBNICTVÍ

Odborní garanti:

Doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.; Ing. Petr Tůma, Ph.D.

Tel./fax: +420/244 401 879

kurzy@betonconsult.cz

PŘIHLÁŠKY www.betonconsult.cz/kurzy



NOVÉ DIVADLO V PLZNI, PREMIÉRA V ČR:
BAREVNÉ PIGMENTY DO BETONU Sika® ColorFlo

www.sika.cz

STAVÍME NA DŮVĚŘE

