

# PINGPONGOVÝ STŮL Z TENKOSTĚNNÝCH PRVKŮ Z UHPC

## TABLE TENNIS TABLE MADE FROM THIN-WALLED UHPC COMPONENTS

Ondřej Slabý, Vladimír Veselý,  
Stanislav Smiřinský, Jitka Vašková

Ultra vysokohodnotný beton (UHPC) je v současnosti předmětem řady výzkumných projektů a materiálem pro aplikace zejména tenkostěnných prvků. Článek se zabývá návrhem a výrobou stolu na ping-pong s víceúčelovým využitím složeného z tenkostěnných prvků vyrobených z UHPC. Zahnuje návrh konstrukčního řešení, analýzu zatěžovacích stavů a posouzení, vývoj a testování vhodného kompozitu pro výrobu desky o tloušťce 15 mm, jakož i vývoj formy, technologii betonáže, vyhodnocení pilotních experimentů a samotnou realizaci funkčního vzorku stolu. Závěr článku je věnován zhodnocení poznatků získaných vývojem a výrobou stolu. ■ Ultra high performance concrete (UHPC) is currently subject to a series of research projects and material applications, particularly those of thin-walled components. The article describes design and production of a table tennis table for multipurpose use; this table is composed of thin-walled components made of ultra high performance concrete. It includes structural design, structural analysis and assessment of the table. Development and testing of suitable composite for slab of 15 mm thickness is described. The project also includes development of forms and casting process, results of pilot experiments and the functional sample of the table. Results of the project are evaluated in the end of the article.

V současnosti jsou betonové pingpongové stoly pro exteriéry nejčastěji reprezentovány masivními produkty, které jsou typické pro česká sídliště a školy. Jejich design není příliš atraktivní a nejsou přemístitelné bez použití techniky (jeřáb, nákladní automobil apod.).

Cílem a hlavní myšlenkou vývoje nového produktu byl proto návrh stolu na ping-pong s víceúčelovým využitím sestaveného z prvků, které bude možné jednoduše jednotlivě přemístit. Podmínkou pro splnění cíle jednoduché manipulace bez manipulačního stroje, jen za použití lidské síly (dvou mužů), bylo omezení hmotnosti dílců maximálně na 100 kg a snadná montáž i demontáž.

Důležité pro stůl na ping-pong i další exteriérové využití jsou požadavky na rovinnost, kvalitu povrchu a trvanlivost. Důraz byl při návrhu kladen i na jednoduchý design.

Navržený hrací stůl je tvořen ze dvou samostatných polovin, které lze zároveň využívat i odděleně jako běžné stoly



Obr. 1 Stůl sestavený z tenkostěnných prvků z UHPC ■ Fig. 1 Finished table composed of thin-walled components made of UHPC

Obr. 2 Vizualizace spoje desky a nohy stolu ■ Fig. 2 Visualization of the slab and table leg joint

Obr. 3 Výsledné deformace stolu od plošného zatížení 1,5 kN/m<sup>2</sup> ■ Fig. 3 Result of slab deformation – surface load 1,5 kN/m<sup>2</sup>

Obr. 4 a) Zatěžovací stav – liniové zatížení hrany desky 1,5 kN/m', b) numerická analýza zatěžovacího stavu ■ Fig. 4 a) Load case – line load on the edge of the slab 1,5 kN/m', b) numerical analysis of the load case

Obr. 5 a) Zatěžovací stav – bodově působící síly 1 kN, b) numerická analýza zatěžovacího stavu ■ Fig. 5 a) Load case – point-acting 1 kN, b) numerical analysis of the load case

pro venkovní použití (např. pro stolování, oslavy či rauty apod.). Výhodou návrhu je tedy také možnost využití k různým účelům.

Projekt pingpongového stolu z UHPC byl navržen a detailně řešen v rámci bakalářské práce [1]. Betonáž zkušebních vzorků a pilotní zkoušky byly realizovány v akreditované laboratoři firmy Beto-tech v Berouně.

### TENKOSTĚNNÉ PRVKY A VYSOKOHODNOTNÝ BETON

Pokrok a vývoj v oblasti vysokohodnotných betonů v dnešní době umožňují vytvářet stále subtilnější, zajímavější betonové konstrukce a výrobky. V moderním stavebnictví není beton využíván pouze jako konstrukční materiál, ale stále více proniká i do oblasti architektury, výroby nábytku, městského mobiliáře, obkladových prvků fasád apod. Významné pro vývoj vysokohodnotného betonu je uplatnění vláken ve struktuře cementového kompozitu a též využití vhodných

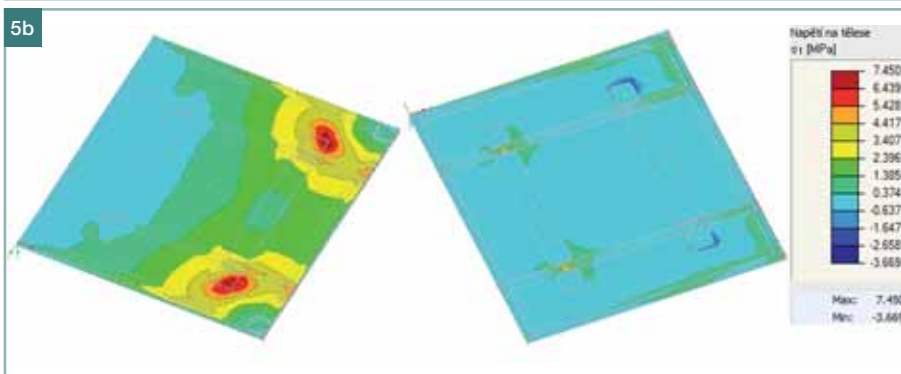
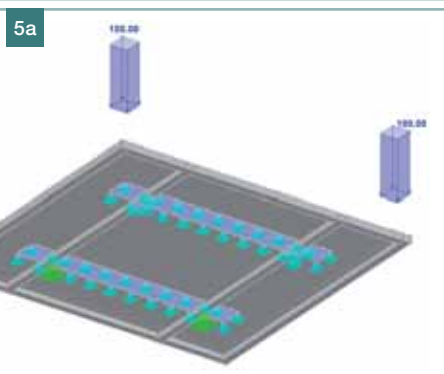
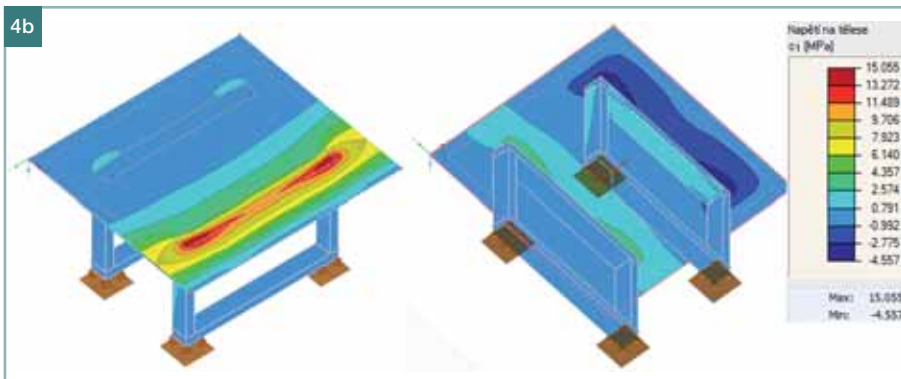
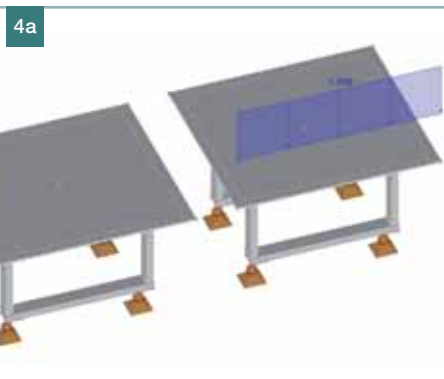
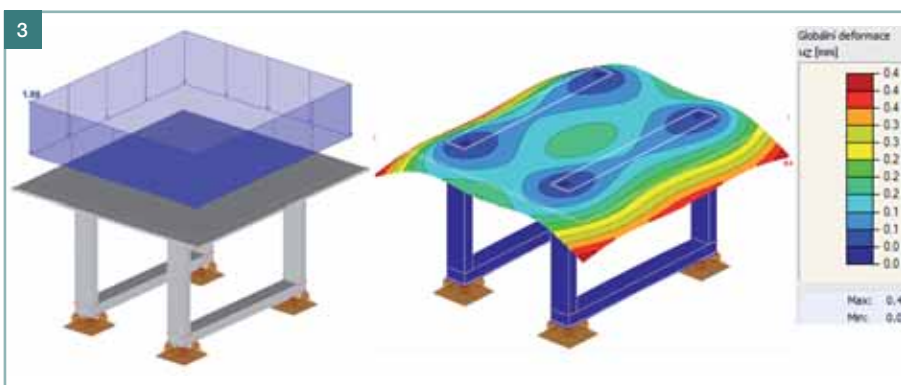
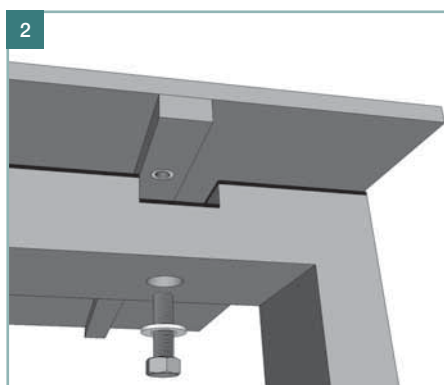
přísad a příměsí. Při užití vysokohodnotného vláknobetonu, který má oproti kompozitu bez vláken výrazně vyšší tahovou pevnost a houževnatost, lze realizovat tenkostěnné prvky o tloušťkách i 10 až 15 mm bez tradiční výztuže.

Pro výrobu stolu byl tedy zvolen vysokohodnotný vláknobeton. Následoval návrh vhodné receptury a technologie výroby včetně bednění. [2], [3]

### NÁVRH STOLU

Při návrhu stolu byl kladen důraz především na design jednotlivých prvků. Cílem bylo také ukázat, jak tenké prvky z betonu lze vyrobit.

Pingpongový stůl se skládá ze dvou samostatných stolů. Deska jedné poloviny hracího stolu má rozměry 1525 × 1370 mm a její hmotnost je 100 kg. U desky byla vytvořena obvodová lemuující žebra, která umožňují v případě vysokého zatížení na okraji desky roznášení namáhání do větší plochy. K roznosu zatížení přispívají též dvě podélná



žebra, v kterých jsou otvory pro uchytení noh k desce stolu.

Nohy stolu tvoří jednoduchý uzavřený rám, průřezy všech prvků jsou 120 × 60 mm. Každá noha je pak ve vrchní části opatřena dvojicí zářezů s otvory sloužících k uložení desky a upevnění, resp. usazení podélných žebér do těchto zářezů. Jedna noha stolu má hmotnost 60 kg, po spojení tak dosahuje jedna polovina stolu hmotnosti celkem 220 kg a celý stůl váží 440 kg.

Pro stůl bylo nutné navrhnout speciální styk k zajištění dokonalého spoje-

ní jednotlivých prvků, celkové stability a též k umožnění jednoduché a rychlé montáže s použitím pouze klíče na utahování šroubů (obr. 2). Desky stolu jsou s nohama spojeny pomocí osmi ocelových spojů – dvou v každé noze. V podélném žebře desky je epoxidovým lepidlem vlepeno závitové šroubení. Samotný styk je realizován pomocí šroubu, který prochází otvorem nohy a je ukotven do závitového šroubení vlepeného v desce. Důležitým prvkem jsou pryžové mezivložky o tloušťce 4 mm k snížení špiček napětí a rozložení na-

máhání do větší plochy. Pryžové prvky též vyrovnávají nerovnosti a odchylky způsobené výrobou, a tím zajišťují lepší kontakt obou prvků.

#### ZATÍŽENÍ STOLU A POSOUZENÍ

Pro návrh popisovaného stolu neexistují určité normou předepsané hodnoty zatížení, zatěžovací stavy či kombinace zatížení, pro které by bylo možné stůl bezpečně ověřit [5]. Pro statické posouzení bylo sestaveno celkem sedm zatěžovacích stavů zohledňujících rozdílné situace, které mohou při užívá-

## PROFESIONÁLNÍ ŘEŠENÍ

výzkum ■ vývoj ■ výroba ■ obchod ■ poradenství  
pro sanace betonových konstrukcí





ní stolu nastat. Bylo uvažováno zatížení  $1,5 \text{ kN/m}^2$  působící plošně na celé desce (obr. 3) nebo pouze v částech, liniové okrajové zatížení desky  $1,5 \text{ kN/m}$  (obr. 4a) odpovídající např. sezení osob na hraně stolu v různých místech a kombinacích či zatěžovací stavy simulující transport jednotlivých desek i stolu v sestaveném stavu.

Výpočet pro jednotlivé zatěžovací stavy byl proveden programem Dlubal RFEM (lineární analýza). Zhodnoceny byly výsledné hodnoty napětí a deformací, ověřována byla i stabilita a posouzeno bylo namáhání spojů. Maximální hodnota tahového napětí ze všech uvažovaných zatěžovacích stavů byla  $14,9 \text{ MPa}$ .

### SLOŽENÍ DRÁTKOBETONU A OVĚŘOVÁNÍ MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

Desku stolu bylo vzhledem k tloušťce  $15 \text{ mm}$  nutné realizovat bez betonářské výztuže nebo uhlíkových či jiných výztužných sítí. Vzhledem k výsledkům výpočtů jednotlivých zatěžovacích stavů bylo nutné užít materiál s vysokou tahovou pevností. Receptura ultra vysokohodnotného vláknobetonu (UHPCFRC) byla navržena Ing. Smiřinským – užít byl portlandský cement CEM I 52,5, kame-



nivo zrnitosti do  $2 \text{ mm}$ , příměsi (mikrosilika a struska), superplastifikátor pro dosažení potřebné zpracovatelnosti při sníženém vodním součiniteli ( $w = 0,27$ ) a ocelové vysokopevnostní drátky délky  $10 \text{ mm}$  (obr. 6).

Pro ověření receptury byly ze zkušební záměsi vyrobeny trámečky  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  a vzorek desky o rozměrech  $700 \times 150 \times 15 \text{ mm}$  za účelem ověření betonáže a kvality výsledného povrchu a hran po odbednění. Ze zkušebních ohybem byla po 28 dnech zjištěna průměrná tahová pevnost  $22 \text{ MPa}$ . Zlomky trámek byly podrobeny tlakové zkoušce – napětí odpovídající maximální dosažené síle bez porušení vzorků (vyčerpaná kapacita lisu) bylo  $125 \text{ MPa}$ .

V další fázi byla zjišťována tahová pevnost ze zkušebních prvků tloušťky  $15 \text{ mm}$  (tělesa  $40 \times 15 \times 150 \text{ mm}$  vyřezaná ze zkušební vzorku desky). Byly zjištěny sice nižší výsledné hodnoty ( $15,5 \text{ MPa}$  – vliv menšího rozměru prvku na výrobu i zkoušení), avšak vyhovující při posouzení všech uvažovaných zatěžovacích stavů.

Výroba v pilotní fázi měla též za úkol ověřit, jak budou vypadat hrany a povrch desky po jejím odbednění. Hrany i povrch desky byly bez výrazných vad, bez drátků vyčnívajících z povrchu či jiných kazí a navržené bednění bylo možné použít. Z pohledu výroby je právě bednění, především desky stolu, klíčovým prvkem k celkovému úspěchu.



Obr. 6 Zkouška rozliti kuželu na desce – kompaktní struktura UHPC ■

Fig. 6 Flow test of the concrete by Hagermann funnel and structure of the fresh concrete

Obr. 7 Betonáž zkušební vzorku desky ■ Fig. 7 Concreting of the slab sample

Obr. 8 Zkouška v tahu za ohybu ■ Fig. 8 Bending test of concrete

Obr. 9 a) Zkouška pevnosti v tlaku, b) struktura betonu po porušení ■ Fig. 9 a) Test of the compressive strength, b) structure of the concrete after test

Obr. 10 Kontrola tloušťky desky ■ Fig. 10 Check of the wall thickness

Obr. 11 Detail lomové plochy desky ■ Fig. 11 Detail of the break surface



Obr. 12 a) Betonáž hrací desky, b) betonáž žeber desky ■ Fig. 12 a) Concreting of the slab, b) concreting of the ribs

Obr. 13 Montáž stolu ■ Fig. 13 Installation of the table

Obr. 14 Spodní pohled na stůl: a) detail žeber, b) uložení ■ Fig. 14 Bottom view of the table: a) detail of ribs, b) detail of placing

### PILOTNÍ VÝROBKÝ A OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Hlavním cílem zhotovení pilotních výrobků a vyhodnocení zkoušek bylo především ověření možnosti výroby takto tenkých rozměrných prvků. Navržená tloušťka 15 mm v ploše desky byla výzvou a velkým otazníkem z pohledu technologie a realizace.

Pilotní zkoušky ukázaly i některé problémy, které bylo nutné zohlednit a navrhnout nutné úpravy před realizací samotného funkčního vzorku stolu. Jednalo se především o technologii betonáže a bednění. Betonáž desky byla původně uvažována na výšku (obr. 7), což bylo po realizaci pilotních vzorků přehodnoceno a bednění bylo navrženo pro betonáž ve vodorovné poloze.

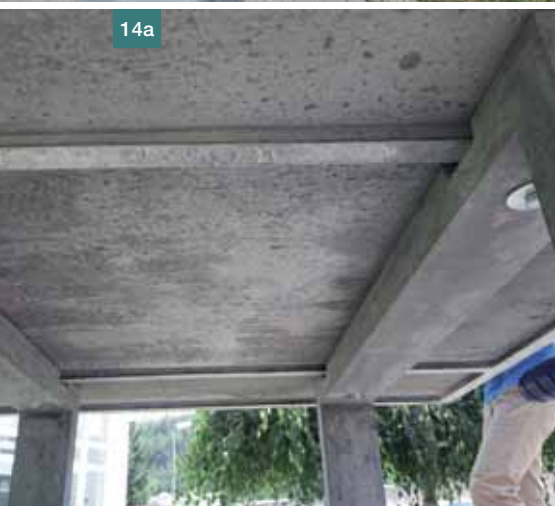
Po provedení pevnostních zkoušek bylo zjištěno, že lomové plochy zkušebních těles obsahovaly množství vzduchových pórů. Tento problém byl vyřešen úpravou frakcí kameniva, a to přidáním frakce s maximální velikostí zrna do 4 mm. Po provedení úpravy při dalších zkouškách již póry nebyly tak četné, byly výrazně menší a beton dosahoval tlakových pevností vyšších o cca 15 % oproti původní receptuře (obr. 9a,b).

### REALIZACE FUNKČNÍHO VZORKU STOLU

Po sérii pilotních zkoušek a odstranění nedostatků bylo přikročeno k samotné výrobě funkčního vzorku stolu. Pro stůl byly doladěny detaily bednění a byl navržen dvoufázový způsob betonáže desek. Po odlití desky (obr. 12a) byla forma zaklopena a dobetonována žebra (obr. 12b). Bednění nohou bylo výrazně jednodušší – pouze jednoduché.

Všechny prvky funkčního vzorku byly ošetřovány po dobu 14 dní, a to ve vlhkém uložení v klimatizované komoře. Po odbednění byla kontrolována kvalita povrchu a po vyvržení byly díly připraveny k montáži. Po vyvrtání otvorů pro spojení nohy a desky stolu a vlepení závitového šroubení do předem vybedněných otvorů v žebrech desky byly ošetřeny hrany. Jednotlivé desky byly pomocí ocelových spojů připevněny k nohám, obě poloviny stolu sestaveny a vyrovnány (obr. 13).

V průběhu betonáže jednotlivých dílců byly vždy odebrány vzorky a vyrobeny zkušební tělesa, která byla následně podrobena zkouškám tahové i tlakové pevnosti. Tlakové zkoušky realizované na zkušebních krychlích o hraně 100 mm ukázaly, že tlaková pevnost be-







tonu dosahovala hodnoty až 152 MPa.

V další fázi byly ověřeny jednotlivé zatěžovací stavy v praxi, z nichž nejzajímavější bylo zatížení hrací desky šesti osobami, celkem cca 500 kg (obr. 15). Ve všech zatěžovacích stavech stůl vyhověl. Pro vyzkoušení vlastností stolu byl samozřejmě stůl podroben i sérii prvních her ping-pongu, při kterých splnil všechna očekávání (obr. 16).

Pro pingpongové stoly je platná norma [6], v které jsou uvedeny požadavky na kvalitu stolu v rámci různých kategorií úrovně hry ping-pongu, zahrnující především rozměrové tolerance, rovinnost desky či odskok míčku. Vyrobený stůl by v porovnání s požadavky této normy splňoval přibližně druhou nejvyšší kategorii pro profesionální hru za předpokladu, že by hrací deska byla natřena na zeleno a zároveň ohraničena čarami vymezujícími hrací plochu.

## ZÁVĚR

Hlavním cílem popsaného projektu byl návrh pingpongového stolu víceúčelového použití vyrobeného z jednotlivých prvků tenkostěnného drátkobetonu. Celkové řešení vycházelo především z maximální hmotnosti jednoho dílce 100 kg, jednoduchého atraktivního vzhledu, jednoduché a rychlé montáže a dlouhé životnosti v exteriéru. Předem stanovené cíle projektu byly výrobou funkčního vzorku dosaženy a stůl celkově splnil předpoklady a očekávání.

Reálná výroba funkčního pingpongového stolu umožnila vyzkoušet navržené teorie a úvahy v praxi a zároveň zdokonalit některé výrobní postupy. Bylo

## Literatura:

- [1] SLABÝ, O. *Tenkostěnné prvky z vysokopevnostního betonu – návrh a použití*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- [2] COLLEPARDI, M. *Moderní beton*. Praha: ČKAIT, 2009.
- [3] VÍTEK, J. *Vysokohodnotné betony – úvod a poznámky k možnostem jejich aplikace. Beton TKS. Betonové konstrukce 21. století – betony s přidanou hodnotou (samostatná příloha časopisu)*. 14. 12. 2012, roč. 12, s. 7–9.
- [4] BARTOŠ, P. *Vláknobeton. Beton TKS. Betonové konstrukce 21. století – betony s přidanou hodnotou (samostatná příloha časopisu)*. 14. 12. 2012, roč. 12, s. 69–77.
- [5] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004.
- [6] ČSN EN 14468-1. *Stolní tenis – Část 1: Stoly na stolní tenis, funkční a bezpečnostní požadavky, zkušební metody*. Praha: ČNI, 2005.

Obr. 15 Realizační tým při zatěžovací zkoušce ■ Fig. 15 Implementation team and the load test

Obr. 16 První hra ping-pongu ■ Fig. 16 The first game of table tennis

lů projektu bylo také ukázat, že beton není pouze konstrukčním stavebním materiálem, ale že jeho využití má se stále se rozvíjejícími technologiemi velký potenciál.

Príspevek bol čiastočne podporovaný projektom SGS16/044/OHK1/1T/11. Poděkování patří společnosti Betotech, s. r. o., jejím zaměstnancům jakkoli se podílejícím na práci na projektu, a to za jejich spolupráci a obětovaný čas. Dále pak společnosti PERI, spol. s r. o., která navrhla a zhotovila bednění pro výrobu funkčního vzorku a svými zkušenostmi přispěla k návrhu postupu betonáže.

ověřeno, že takto tenký a rozměrný prvek, který bude zároveň odolávat vysokým hodnotám zatížení, je při vhodném konstrukčním řešení možné vyrobit.

Je nutné však zmínit, že cena výroby stolu z UHPC je výrazně vyšší než cena za běžně dostupné pingpongové stoly. Vyšší cenu však vyvažuje vyšší životnost betonového pingpongového stolu, jeho atraktivní vzhled a praktická víceúčelová využitelnost s možností trvalého umístění v exteriéru, což u běžných dřevěných či laminátových pingpongových stolů není možné.

Článek poukazuje na jednu z neřešených možností využití jedinečného materiálu – betonu. Jedním z cí-

Bc. Ondřej Slabý  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
e-mail: ondrej.slaby@fsv.cvut.cz



Ing. Vladimír Veselý  
Betotech, s. r. o.  
e-mail: vladimir.vesely@betotech.cz



Ing. Stanislav Smiřinský  
Betotech, s. r. o.  
e-mail: stanislav.smirinsky@betotech.cz



doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Katedra betonových  
a zděných konstrukcí  
e-mail: jitka.vaskova@fsv.cvut.cz

