

SAMOZHUTNITELNÝ BETON SELF-COMPACTING CONCRETE

HAJIME OKAMURA
A MASAHIRO OUCHI

Dokončení článku z 5. čísla

SOUČASNÝ STAV VÝVOJE SCC

Současné postavení SCC

Velké stavební společnosti v Japonsku používají SCC pouze jako „speciální beton“. Aby bylo možné tento beton zařadit mezi standardní betony, je třeba vytvořit nový systém jeho návrhu, výroby a zpracování. Těmito úkoly se zabývá několik komisí.

Nejefektivnějším se jeví systém, v němž by samozhutnitelný beton byl standardně produkován výrobcí transportbetonu, protože od nich pochází 70 % veškerého betonu v Japonsku.

Za předpokladu, že beton budou dodávat ponejvíce betonárny vyrábějící transportbeton, byl od vyvinutí prototypu výzkum nutný pro zavedení následujících zkoušek prováděných převážně na Tokijské univerzitě

- metoda testování samozhutnitelnosti
- metoda návrhu betonu
- testovací metoda při přejímce betonu na stavbě
- nový typ jemných podílů nebo přísad vhodných pro samozhutnitelný beton

O první z těchto položek jsme se již zmínili. Další tři jsou popsány dále.

METODA NAVRHOVÁNÍ BETONU

Racionální metoda návrhu

Samozhutnitelnost je do značné míry ovlivněna charakteristikami použitých materiálů a poměry míšení. Pro návrh SCC je nutné používat racionálních metod, které využívají široké škály materiálů. Předpokládalo se, že beton budou všeobecně dodávat betonárny vyrábějící transportbeton a byl vypracován jednoduchý systém návrhu betonu [9]. Obsah hrubého a jemného kameniva je pevně stanoven, takže samozhutnitelnosti lze snadno dosáhnout pouze upravením hodnoty vodního součinitele a správným dávkováním superplastifikátorů

- obsah hrubého kameniva je stanoven na max. 50 % objemu v pevné fázi

- obsah jemného kameniva je stanoven na 40 % obsahu malty
- součinitel voda-jemné podíly je v rozmezí od 0,9 do 1 v závislosti na vlastnostech jemných podílů
- dávkování superplastifikátoru a konečná hodnota vodního součinitele se určí tak, aby byla zajištěna samozhutnitelnost.

Při navrhování běžného betonu je hodnota vodního součinitele určena s ohledem na dosažení požadované pevnosti. U SCC se však při určování hodnoty vodního součinitele musí vzít v úvahu právě samozhutnitelnost, protože ta je na hodnotu vodního součinitele velmi citlivá. Ve většině případů není požadovaná pevnost určována vodním součinitelem, protože jeho hodnota je dostatečně malá pro pevnosti běžných konstrukcí, pokud ovšem není většina materiálů jemných podílů naprosto neaktivní.

Malta nebo kaše samozhutnitelného betonu musí mít vysokou viskozitu i deformovatelnost. Toho lze dosáhnout pomocí superplastifikátorů, jejichž použití má za následek požadovanou nízkou hodnotu vodního součinitele při vysoké deformovatelnosti.

Upravení hodnoty vodního součinitele a dávkování superplastifikátoru

Charakteristiky jemných podílů a superplastifikátoru značně ovlivňují vlastnosti malty, takže hodnotu vodního součinitele a dávkování superplastifikátoru nelze v tomto stádiu určit bez zkušebnímu návrhu. Proto je po určení poměrů míšení nutné otestovat samozhutni-

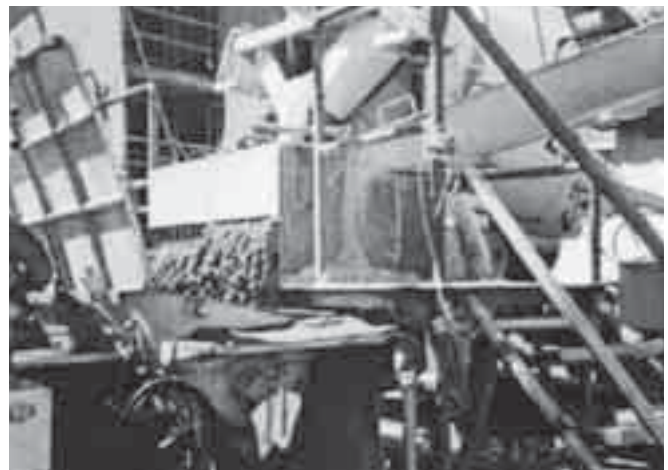
telnost pomocí testů U-flow, Slump-flow a Funnel test. Je nutné použít výsledků testů a metodicky posoudit, zda je hodnota vodního součinitele a dávkování superplastifikátoru větší nebo menší, než je zapotřebí. Vztahy mezi vlastnostmi malty SCC a poměru míšení jsou prozkoumány a formulovány. Těchto formulací lze použít při stanovení racionální metody upravení hodnoty vodního součinitele a dávkování superplastifikátoru tak, aby bylo dosaženo žádané deformovatelnosti a viskozity [10].

Přejímací test na staveništi

Protože stupeň ztuhnutí konstrukce závisí zejména na samozhutnitelnosti betonu a špatnou samozhutnitelnost nelze kompenzovat konstrukčními zásahy, je nutné veškerý beton testovat na staveništi před započítím betonáže. Konvenční testy však vyžadují odběr vzorků, a to by při testování veškerého betonu bylo nesmírně pracné. Proto byla vyvinuta vhodnější testovací metoda samozhutnitelnosti [11]:

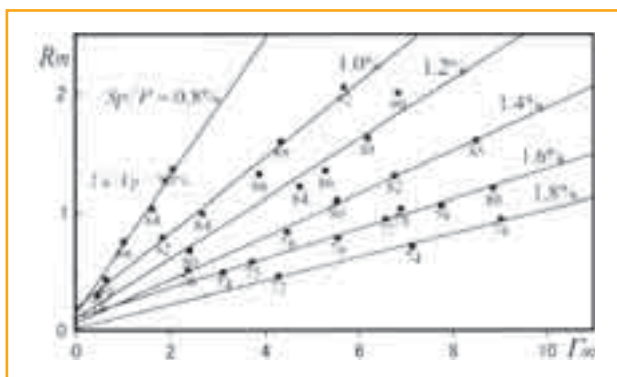
- Testovací aparatura je umístěna na stavbě mezi domíchávačem a pumpou a veškerý beton se lije do testovacího aparátu.
- Pokud beton aparaturou protéká, je pro danou konstrukci považován za samozhutnitelný. Pokud se tok betonu aparaturou zastaví, nemá dostatečnou míru samozhutnitelnosti a je třeba upravit poměr míšení.

Uvedená aparatura byla s úspěchem použita na stavbě nádrže na zkapalně-



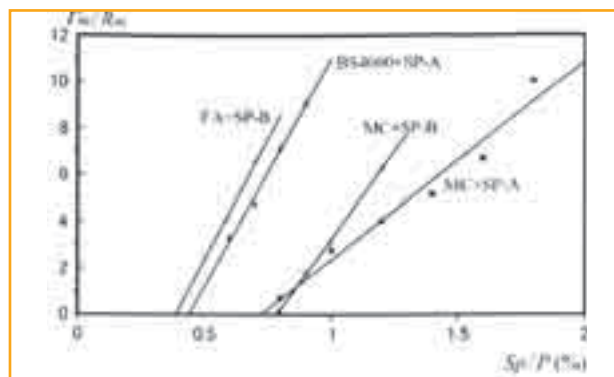
Obr. 25
Automatický
přejímací test
na staveništi

Fig. 25
Automatic
acceptance test
at job site



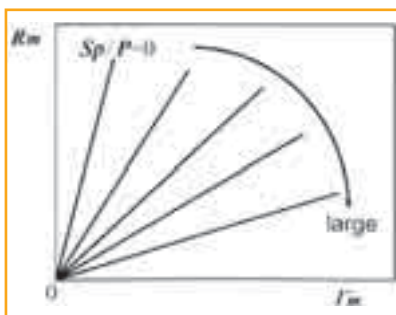
Obr. 26 Vztah mezi oblastí tečení a rychlostí tečení čerstvé malty ve Funnel testu s použitím různých dávek superplastifikátoru a s rozdílnými vodními součiniteli se započítáním jemných podílů

Fig. 26 Relationship between flow area and funnel speed of fresh mortar with variety of water-powder ratio and superplasticizer dosage



Obr. 28 Vztah mezi dávkováním superplastifikátoru a jeho účinkem podle použitého materiálu

Fig. 28 Relationship between superplasticizer dosage and its effect in accordance with material in use



Obr. 27 Definice disperzního účinku způsobeného superplastifikátorem za použití výsledků Flow testu a Funnel testu

Fig. 27 Definition of dispersing effect by superplasticizer by using flow and funnel test results

ný zemní plyn v Ósace a ušetřila značný objem testovacích prací (obr. 25) [5].

NOVÝ TYP SUPERPLASTIFIKÁTORU VHDNÝ PRO SAMOZHUTNITELNÉ BETONY

Vývoj přísad vhodných do SCC, jakými jsou např. superplastifikátory, ještě zdaleka není ukončen. Abychom dosáhli potřebných zlepšení, musíme materiály přesně charakterizovat. Požadavky na superplastifikátor vhodný do SCC jsou následující

- vysoký disperzní účinek při nízkém vodním součiniteli

- udržení disperzního účinku po dobu nejméně dvou hodin po namíchání
- menší citlivost na teplotní změny.

S vývojem nových typů superplastifikátoru vhodného pro SCC jsou již určité zkušenosti. Vždy je však třeba charakterizovat disperzní účinek nezávisle na vodním součiniteli se započítáním jemných podílů.

Autoři zjistili, že poměr I_m k R_m je při změnách poměru V_w/V_p (objem vody

vztážený k objemu jemných podílů) téměř konstantní v případě, že Sp/P je konstantní (obr. 26). Poměr I_m/R_m byl navržen jako index disperzního účinku způsobeného superplastifikátorem (obr. 27). Vztah mezi Sp/P a jeho účinkem I_m/R_m se výrazně odlišuje v závislosti na kombinaci použitého superplastifikátoru a materiálu jemných podílů (obr. 28) [13 a 16].

Z důvodů různého chemického působení superplastifikátoru v závislosti na volbě materiálu jemných podílů není v této fázi možné odhadnout vývoj bez experimentálních výsledků.

ČINIDLA PRO POTLAČENÍ ROZMĚŠOVÁNÍ

SCC lze podle zkušeností vyrábět ve stejné kvalitě, zejména beze změn samozhutnitelnosti. Každá změna charakteristik použitých materiálů však může samozhutnitelnost ovlivnit. Proměnnou s nejvyšším vlivem je obsah vody v jemných

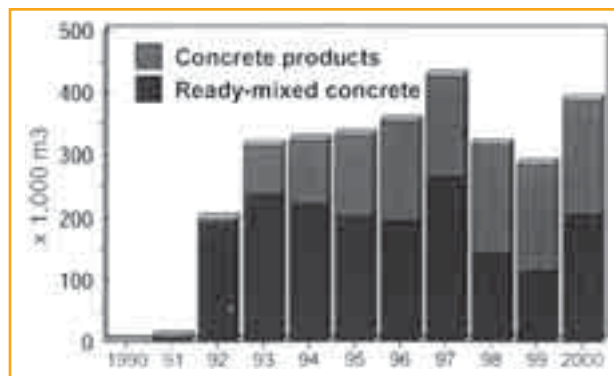
Obr. 29 Most Shin-kiba Ohashi

Fig. 29 Shin-kiba Ohashi bridge



Obr. 30 Objem SCC používaného v Japonsku

Fig. 30 Volume of SCC cast in Japan





Obr. 31 Kotevní blok 4A mostu Akashi-Kaikyo
 Fig. 31 Anchorage 4A of Akashi-Kaikyo bridge

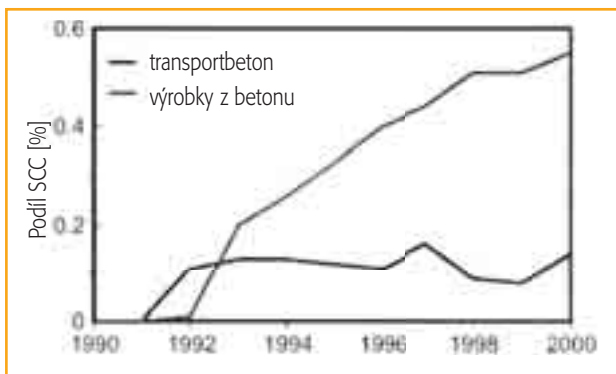
podílech, který následně ovlivňuje celkovou hodnotu vodního součinitele betonu. Některé společnosti tento problém řeší zavedením činidel pro potlačení rozměšování. Účinek těchto činidel spočívá ve snížení citlivosti betonu na celkový obsah vody.

Použití SCC v Japonsku

Současné podmínky použití SCC v Japonsku

Poté, co byl na Tokijské univerzitě vyvinut prototyp SCC, rozběhl se intenzivní výzkum na mnoha místech, zejména ve výzkumných institutech velkých stavebních společností. Poprvé byl SCC použit při stavbě budovy v roce 1990. Poté byl SCC použit při výstavbě věží zavěšeného mostu z předpjatého betonu v roce 1991 (obr. 29) a dále k výstavbě hlavního nosníku zavěšeného mostu v roce 1992. Od té doby využití SCC stoupá při stavbě mnoha různých konstrukcí. Součas-

Obr. 33 Podíl SCC na výrobě betonu v Japonsku
 Fig. 33 Volume of SCC for concrete products in Japan



né důvody používání tohoto typu betonu jsou následující:

- zkrácení doby výstavby
- zajištění zhutnění celé konstrukce, zejména v zúžených místech, kde je vibrování obtížné
- eliminace hluku z vibrování, což je výhodné zejména v provozech zabývajících se výrobou betonových dílů.

Objem používaného SCC v Japonsku je zobrazen na obr. 30. Procentuální zastoupení SCC v oblasti transportbetonu, jehož výroba představuje 70 % veškerého betonu vyrobeného v Japonsku, je pouhých 0,1 %. Současný status SCC je „speciální beton“, není tedy považován za standardní beton.

Další možnosti použití SCC jsou:

- mosty (ukotvení, klenby, trámce, nosníky, věže, pilíře, spojení nosníků a trámů)
- skříňové propustky
- budovy
- ocelové sloupy vyplněné betonem
- tunely (ostění, podvodní tunely, sekundární ostění)
- přehrady (betonové konstrukce)
- výrobky z betonu (bloky, propustky,



Obr. 32 Ukládání SCC na segmentu tunelu
 Fig. 32 Casting of SCC for tunnel segment

stěny, vodní rezervoáry, desky a segmenty)

- těsnící stěny
- rezervoáry (boční stěny, spoje mezi bočními stěnami a deskami)
- prostory pro potrubí

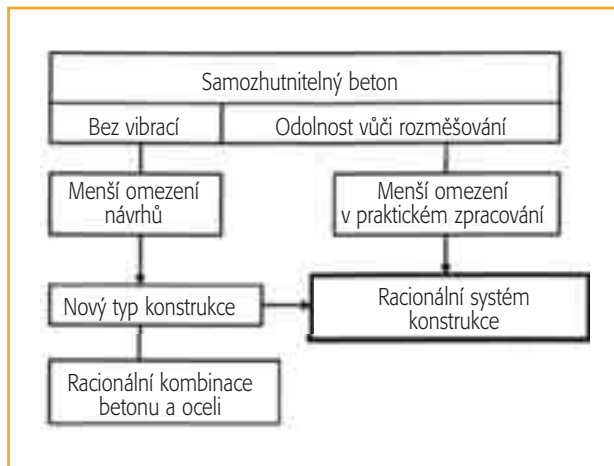
STAVBY VĚTŠÍHO ROZSAHU

V současné době je SCC používán při výstavbě konstrukcí většího rozsahu z důvodu úspory času.

Typickými příklady jsou ukotvení mostu Akashi-Kaikyo (úžina Akashi), visutého mostu s největším rozpětím na světě (1991 m), otevřeného v dubnu 1998 (obr. 31) [4]. SCC byl použit při výstavbě obou ukotvení mostu. Za tímto účelem byl zaveden nový systém konstrukce, který plně využívá výhod SCC. Beto-

Obr. 34 Nový systém konstrukce založený na plném využití SCC [14]

Fig. 34 New construction system achieved by making full use of SCC (proposed by Ozawa)



nová směs byla připravena v betonárně v blízkosti stavby a na stavbu byla čerpána. Potrubím o délce 200 m byl beton dopravován na místo ukládky, kde bylo potrubí uspořádáno v řadách vzdálených od sebe 3 až 5 m. Beton byl ukládán z šoupátkových ventilů rozmístěných podél potrubí v pětimetrových intervalech. Ventily byly automaticky ovládány tak, aby bylo možné udržovat požadovanou hladinu ukládaného betonu. Maximální velikost hrubého kameniva v použitém SCC byla 40 mm. Beton padal z výšky až 3 m, a navzdory velikosti hrubého kameniva nedošlo k rozměšování. Podle závěrečné analýzy zkrátilo použití SCC celkovou dobu výstavby ukotvení o 20 %, ze 2,5 na 2 roky.

SCC byl použit na výstavbu stěny nádrže na stlačený zemní plyn, která patří Ósacké plynárenské společnosti. Použití SCC při této stavbě mělo následující přednosti:

- počet dávek byl snížen ze 14 na 10,

Obr. 35 Sendvičová konstrukce ponořeného tunelu

Fig. 33 Sandwich structure for immersed tunnel



protože velikost jedné dávky betonu se zvýšila,

- počet pracovníků se snížil ze 650 na 150
- doba výstavby se zkrátila z 22 na 18 měsíců.

Při této stavbě byl navíc poprvé použit racionální test samozhutitelnosti při pře-

jímce na staveništi. Ukládání betonu bylo dokončeno v červnu 1998.

VÝROBKY Z BETONU

SCC se často používá při výrobě betonových stavebních dílců z důvodu odstranění hluku, který vzniká při vibračním zhutňování (obr. 32). Protože snížením hluc-

Literatura:

- [1] Gagne R., Pigeon M., an Aitcin P. C.: „Driver salt scaling resistance of high performance concrete“, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, SP-122, ACI 1989
- [2] Hayakawa M., Matsuoka Z., and Shindoh T.: „Development and application of superworkable concrete“, RILEM International Workshop on Special Concretes: Workability and Mixing, 1993
- [3] Hibino M., Okuma M., and Ozawa K.: „Role of viscosity agent in self-compactibility of fresh concrete.“ Proc. of the Sixth East-Asia, Conference on Structural Engineering and Construction, 2, 1313–1318, 1998
- [4] Kashima S., Kanazawa K., Okada R., and Yoshikawa S.: „Application of self-compacting concrete made with low-heat cement for bridge substructures of Honshu-Shikoku Bridge Authority“, Proceedings of the International Workshop of Self-Compacting Concrete, 255–261, 1999
- [5] Kitamura H., Nishizaki T., Ito H., Chikamatsu R., Kamada F., and Okudata M.: „Construction of pre-stressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete“, Proceedings of the International Workshop of Self-Compacting Concrete, 269–291, 1999
- [6] Maekawa K., and Ozawa K.: „Development of SCC's prototype.“ (japonsky), Self-Compacting High-Performance Concrete, Social System Institute, 20–32, 1999
- [7] Nagamoto N., and Ozawa K.: „Mixture proportions of self-compacting high-performance concrete“, ACI International, SP-172, 623–636, 1997
- [8] Okamura H., Maekawa K., and Ozawa K.: „High-Performance Concrete“, Gihodo Publishing, 1993
- [9] Okamura H. and Ozawa K.: „Mix-design for self-compacting concrete“, Concrete Library of JSCE, 25, 107-120, 1995
- [10] Ouchi M., Hibino M., Ozawa K. and Okamura H.: „A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete“, Proceedings of the Sixth East Asia-Pacific Conference of Structural Engineering and Construction, 2, 1307–1312, 1998
- [11] Ouchi M.: „State-of-the-art report on self-compactibility evaluation“, Proc. of the Internat. Workshop on Self-Compacting Concrete (CD-ROM), Also available from Concrete Engineering Series, 30, JSCE, 1999
- [12] Ouchi M. and Edamatsu Y.: „A Simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in self-compacting concrete“, Transaction of JCI, 2000
- [13] Ouchi M., Hibino M., Sugamata T. and Okamura H.: „A quantitative evaluation method for the effect of superplasticiser in self-compacting concrete“, Transactions of JCI, 15–20, 2001
- [14] Ozawa K., Maekawa K., Kunishima M., and Okamura H.: „Development of high-performance concrete based on the durability design of concrete structures“, Proc. of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), 1, 445–450, 1989
- [15] Shishido T., Shiraiwa S., Ishii J., Yamamoto S., and Kume H.: „Pouring works of high-fluidity concrete for immersed tunnel by steel-concrete composite structure.“ Proceedings of the International Workshop of Self-Compacting Concrete, 328–346, 1999
- [16] Sugamata T., Hibino M., Ouchi M., and Omakura H.: „Effects of molecular structures of polycarboxylate polymers on cement particles dispersibility“, Concrete Library International, 38, JSCE, 2001
- [17] Uno Y.: „State-of-the art report on concrete products made of SCC“, Proc. of the Internat. Workshop on Self-Compacting Concrete, 262–291, 1999

nosti se zlepšuje kvalita pracovního prostředí, je tím umožněno umístění takových výroben i na území měst. Použití SCC navíc prodlužuje životnost používaných forem [17]. Výroba betonových dílců z SCC postupně roste (obr. 33).

NEZBYTNOST NOVÝCH STAVEBNÍCH NÁVRHŮ A SYSTÉMŮ KONSTRUKCE

Použitím SCC se ušetří náklady na vibrační zhutňování a zajistí se zhutnění betonové směsi v konstrukci. Celkové náklady na konstrukci však není možné vždy snížit s výjimkou staveb většího rozsahu. Je tomu tak proto, že konvenční systémy konstrukcí jsou navrhovány s předpokladem nutnosti vibračního zhutňování.

SCC může značně vylepšit starší systémy konstrukcí založené na běžných betonech, které vyžadovaly vibrační zhutňování. Zhutňování, které může mít za následek rozměšování betonu, tvořilo hlav-

ní překážku v procesu racionalizace stavebních prací. Protože použitím SCC se tato překážka odstraňuje, lze systém konstrukcí z betonu racionalizovat a vyvinout nový systém včetně bednění, armatur, podpěrných systémů a návrhů konstrukcí (obr. 34).

Příkladem nového systému je tzv. sendvičová struktura, v níž se beton plní do ocelového pláště. Taková struktura již byla realizována v Kóbe a bylo to umožněno pouze vývojem SCC (obr. 35) [15].

ZÁVĚR

Metoda racionálního návrhu i vhodná metoda testování při přejímce SCC na stavbě jsou stanoveny a ověřeny, můžeme proto hlavní překážky širokého využívání samozhutnitelného betonu považovat za odstraněné. Dalším úkolem je propagace rychlého rozšiřování nových technologií výroby a použití SCC. Je taktéž třeba zavést

racionální systém školení a kvalifikace stavebních inženýrů. Mělo by také dojít k zavedení nových konstrukčních řešení, které plně využijí možností SCC.

Až bude SCC využíván do té míry, že bude chápán jako standardní beton a nikoliv jako beton speciální, bude zřejmé, že jsme úspěšně přispěli k vytváření spolehlivých a trvanlivých konstrukcí s minimálními nároky na údržbu.

*Prof. Hajime Okamura
 Kochi University of Technology, Japonsko
 Ass. Prof. Masahiro Ouchi
 Kochi University of Technology, Japonsko
 e-mail: ouchi.masahiro@kochi-tech.ac.jp*

Otištěno s laskavým souhlasem autorů a redakce ACT.

Příklad článku prošel terminologickou korekturou

NOVÝ TROJSKÝ MOST V PRAZE

Magistrát hlavního města Prahy, odbor městského investora, vyhlásil v březnu t. r. veřejnou dvoukolovou architektonicko-konstrukční soutěž o návrh koncepce konstrukčního řešení na nový městský most přes Vltavu, který spojí Holešovice a Tróju v poloze ulic Partyzánská–Povltavská. Trojský most je součástí stavby Špejchar–Pelc Tyrolka, souboru staveb Městského okruhu. Koncem října porota vyhodnotila návrhy, které postoupily do 2. kola a vybrala vítězné řešení. Tím se stal společný návrh Mott MacDonald Praha, spol. s r. o. a Roman Koucký architektonická kancelář, s. r. o. (obr. 1). Druhé místo nebylo uděleno a o třetí se podělily dva návrhy projekčních kanceláří Stráský, Hustý a partneři, s. r. o. (obr. 2) a Architektonický atelier a projekční kancelář ARCHicon, s. r. o. (obr. 3).

Podrobnější článek o soutěži připravíme do 4. čísla časopisu v příštím roce.

redakce

Obr. 2 Návrh projekční kanceláře Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.

Obr. 3 Návrh Architektonického atelieru a projekční kancelář ARCHicon, s. r. o.

Obr. 1 Vítězný společný návrh Mott MacDonald Praha, spol. s r. o. a Roman Koucký architektonická kancelář, s. r. o.



2)



3)



1)