

STŘEŠNÍ VLÁKNOBETONOVÁ DESKA ■ FIBRE CONCRETE ROOFING PLATE

Aneta Rainová, Michaela Frantová,
Jan Vodička

Článek představuje střešní vláknobetonovou desku pro osazení střešní krytiny na šikmé střechy rodinných i bytových domů, která při prefabrikované výrobě napomůže urychlení výstavby a částečnému vyloučení vlivu počasí na průběh výstavby. ■ In this article, a roofing fibre-concrete plate performing as complex relief of roof tiles on sloping roofs of family houses and also larger apartment houses is introduced. The prefabricated plate contributes to speed up the building process and to reduce weather influence on construction site.

V současné době se ve všech odvětvích průmyslu a výroby stále více projevují tendence k urychlování procesů, zkracování technologických přestávek a k co nejrychlejšímu dosažení požadovaného výsledku. Ve stavebnictví stejně jako v dalších odvětvích je žádoucí hledat cesty vedoucí ke zrychlení tradičních postupů výstavby a alternativní způsoby provádění konstrukcí vzhledem k jejich materiálovým i technologickým řešením. Využívání nových materiálů a nových postupů vede kromě urychlování výstavby rovněž ke snižování nákladů.

Snaha urychlovat výstavbu a snižovat tak náklady často vede k návrhu prefabrikovaných konstrukčních dílců, které nabízejí vysokou geometrickou přesnost prvků, opakovatelnost typických tvarů a minimalizaci vlivu počasí na průběh výstavby, např. nezávislost výstavby na srážkách, venkovní teplotě a dalších povětrnostních vlivech. Prefabrikovaný prvek zjednodušuje a urychluje výstavbu, což do jisté míry závisí i na jeho komplexnosti, neboli jak velkou část a jaké množství prvků původní varianty skladby konstrukce prefabrikát nahrazuje či doplňuje.

Při návrhu prefabrikovaných prvků,

kteří mohou nahrazovat nebo doplňovat některé klasické způsoby a varianty skladeb konstrukcí, je vždy snahou, aby takovýto prvek vylepšoval nebo alespoň zachovával vlastnosti původní varianty návrhu. Přidanou hodnotou návrhu vláknobetonové desky je především urychlení výstavby. V závislosti na zpracovanosti návrhu to mohou být i další benefity vyplývající z charakteru střešní konstrukce a jejich specifik.

Cílem toho článku je představit střešní vláknobetonovou desku jako prefabrikát, jehož účelem je nahradit část skladby střešní konstrukce, a tím zvýšit rychlost výstavby jak rodinných, tak bytových domů. Vlastnosti střešních vláknobetonových desek přispívají v zajištění požadavků na konstrukci střechy a ke komplexnímu řešení střešní konstrukce.

Střešní vláknobetonové desky mají sloužit jako náhrada části střešní konstrukce šikmých střech, a to přímo k osazení střešních tašek. Nahrazují část skladby konstrukce střechy, která je v klasické variantě reprezentována latěmi, distančními latěmi a pojistnou hydroizolací. Jednotlivé desky pokládá se na nosné části střešní konstrukce, např. krokve, budou sloužit jako připravený rastr pro pokládku střešní krytiny (obr. 1). Podobné snahy v návrzích střech lze ve výstavbě rodinných domů sledovat i v jiných variantách materiálových řešení.

Z předpokládaného materiálového a konstrukčního návrhu vyplývají následující požadavky na vláknobetonové desky:

- dostatečná odolnost vůči působícímu zatížení,
- nízká vlastní tíha,
- snadná manipulace při dopravě a pokládání,
- houževnatost materiálu desky proti

oddělování žebírek desky a jejímu mechanickému poškození.

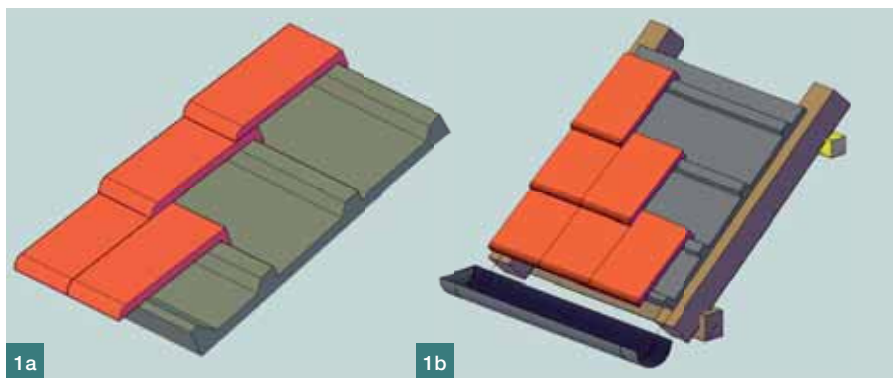
Z uvedených požadavků vyplývá nutnost zaměřit se především na návrh složení vláknobetonové směsi s důrazem na pevnost ztvrdlého vláknobetonu, jeho houževnatost a nízkou objemovou hmotnost, dále na geometrii desky s návazností pokládky desek a následně střešní krytiny.

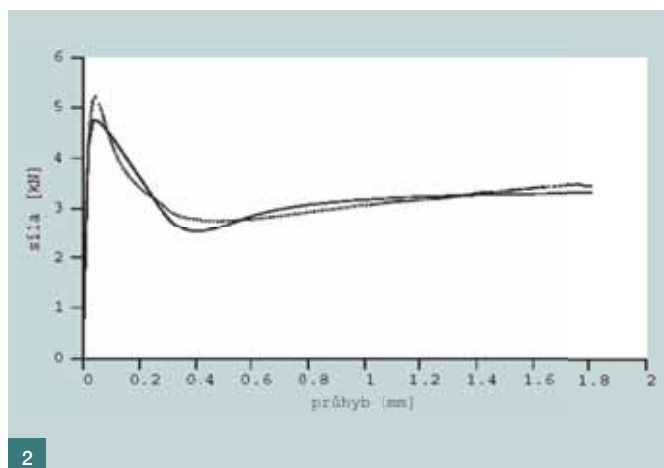
NÁVRH SLOŽENÍ VLÁKNOBETONOVÉ SMĚSI

Při návrhu složení vláknobetonové směsi pro výrobu střešních desek se vycházelo především z požadavků na nízkou hmotnost kompozitu, houževnatost – duktilitu a subtilnost desek při zachování jejich schopnosti odolávat maximálním možným namáháním od nahodilých zatížení, jako jsou zatížení sněhem a větrem, na hotové konstrukci střechy, a zatížením pohybem osob při pokládání desek na konstrukci [1, 2]. Kompozitní vláknobetonová směs má vyhovovat požadavkům na lehké betonové směsi a zároveň má být navržena tak, aby z ní vyrobená střešní deska splňovala kritéria spolehlivosti na ní kladená [3].

Zatížení vlastní tíhou střešního panelu nesmí klást nepřiměřené nároky na únosnost zbylých částí konstrukce střechy, proto byla směs navržena s lehkým kamenivem Liapor [4]. Při použití lehkého kameniva jako plniva se dají očekávat nižší pevnosti vláknobetonového kompozitu oproti užití přírodního kameniva. Přídavkem syntetických vláken lze získat ztužení struktury kompozitu a jeho houževnatost. Tak lze například bránit oddělení žebírek střešní desky při působení zatížení taškami a nahodilého zatížení, nebo mechanickému poškození rohů střešních desek při odbedňování, dopravě a manipulaci při pokládce desek i zabránění nebezpečí náhlého kolapsu celé desky.

Vzhledem k tomu, že vláknobetonové desky nebudou po zabudování do konstrukce chráněny před zatékáním vody, byla pro výrobu lehkého vláknobetonu zvolena syntetická vlákna typu Forta Ferro, která neohrozí životnost konstrukce a nekladou požadavky na krycí vrstvu či ochranu panelu před povětrnostními vlivy. Použitý typ syntetických vláken s ohledem na houževnatost vláknobetonu zároveň co nejpříznivěji ovlivňuje tvar klesající větve dia-





2

gramu odolnosti vyjádřeného závislosti síla-průhyb (obr. 2).

Při návrhu složení vláknobetonové směsi se vycházelo z pevnostních tříd lehkých betonů uvedených v tab. 1, u kterých jsou objemové hmotnosti nejnižší [4].

Kompozitní směs vláknobetonu byla navržena s kamenivem Liapor, frakcemi 0/4 o sypané hmotnosti 500 kg/m^3 a 4/8 o sypané hmotnosti 350 kg/m^3 . V rámci předběžných výpočtů byla ověřena možnost snížení hmotnosti desky použitím lehkého kameniva až na 40 kg/m^2 , v závislosti na tloušťce desky. Přestože je hmotnost desky na m^2 plochy střechy přibližně 5x vyšší než hmotnost srovnatelného množství řeziva, deska navržena v dané materiálové variantě má nízkou hmotnost a lze jí zatížit běžnou konstrukci krovu. Hmotnost desky je přijatelná i z hlediska manipulace a pokládání desek na střešní konstrukci.

NÁVRH GEOMETRIE A TVARU STŘEŠNÍ DESKY

Hlavní rozměry desky byly navrženy tak, aby bylo možné s deskami manipulovat při přepravě a pokládce a zároveň aby ve směru kladení střešní krytiny bylo zajištěno pravidelné opakování skladby střešních tašek na ploše desek. Ve směru rovnoběžně s okapo-

vou hranou má deska modulovou délku 1 m, ve směru rovnoběžně s krokvelemi je délka u typické desky cca 1 m (závisí na typu a velikosti užitých střešních tašek). U desky určené pro spodní hranu střechy je na dolním okraji vyšší žebro pro podepření první řady střešních tašek (obr. 3 a 4). Na desce byla dále navržena žebra o velikosti průřezu dřevěných latí pro osazení střešní krytiny. Rozteč žebor se řídí velikostí použité střešní krytiny a sklonem střechy. Při výrobě prototypu byla zvolena rozteč 0,33 m odpovídající počtu tří běžných latí na 1 m. Výška žebor byla navržena 30 mm. Žebra jsou na jedné straně zkosená (obr. 1, 3 a 4), čímž je zajištěno snadné odbedňování výrobku. Tloušťka desky, která společně s průřezem žebor tvoří celkovou velikost průřezu odolávajícího zatížení, byla předmětem optimalizace.

ZKOUŠKY A MECHANICKÉ CHARAKTERISTIKY VLÁKNOBETONU

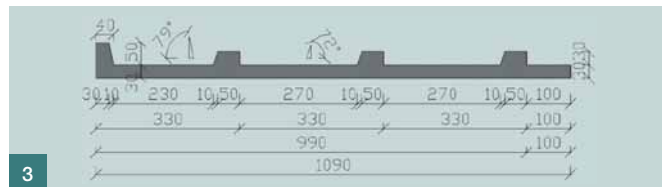
Vláknobeton byl zkoušen na sérii krychelných vzorků o hraně cca 150 mm (obr. 5) zkouškou určující pevnost vláknobetonu v tlaku a v příčném tahu. Výsledky zkoušek (tab. 2 a 3) jako průměrné hodnoty pro tlak a příčný tah ukazují, že lze vyrobený vláknobeton (FLC) pevnostně přibližně zařadit do třídy LC12/13

Obr. 1 Vizualizace střešní desky s kladením střešní krytiny | Fig. 1 Visualization of roofing plate with roofing tiles lay-out

Obr. 2 Ilustrační diagram odolnosti vláknobetonu s vlákny Forta Ferro převzatý ze zkoušek vláknobetonu s užitím přírodního kameniva (hutný vláknobeton) | Fig. 2 An illustrative resistance diagram of FRC with Forta Ferro fibres, adopted from testing of FRC with utilization of natural stone (dense fibre concrete)

Obr. 3 Geometrie střešní desky – řez | Fig. 3 Geometry of the roofing plate – cross-section

Obr. 4 a) Půdorys desky, b) izometrie desky | Fig. 4 a) Plan view of the plate, b) isometry of the plate



3

s objemovou hmotností $1\,100 \text{ kg/m}^3$.

Na trámcích $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ (obr. 5) byla v rámci zkoušky mrazuvzdornosti realizována zkouška ohybem pro orientační prokázání pevnosti v tahu za ohybu. Zkušební trávce byly dále testovány na mrazuvzdornost [5]. V tab. 4 jsou zřejmé průměrné hodnoty pevnosti v tahu za ohybu prokázané zkouškou.

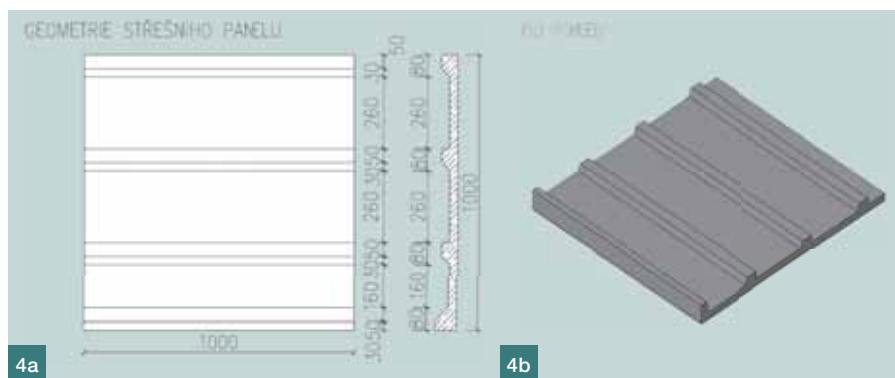
ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA STŘEŠNÍ DESKY

Na prototypu střešní desky byla provedena zatěžovací zkouška formou umístění osamělého břemene, simulovaného ocelovými broky, na okraji a uprostřed desky (obr. 6 a 7). Nejprve byl zatěžován okraj desky do hodnoty odpovídající hmotnosti 150 kg, přičemž nebyl pozorován vznik trhliny. Deska byla odtížena a následně zatížena uprostřed až na hodnotu 350 kg. Přibližně při dosažení hodnoty zatížení 200 kg byl pozorován vznik první trhliny. Podle zjištěné únosnosti (obr. 6) byla stanovena skutečná pevnost v tahu ohybem, jejíž výsledky jsou promítnuty do posouzení střešní desky v tab. 5b.

POSOUZENÍ TLOUŠTKY DESKY

Vyrobený vláknobeton lze na základě zjištěných pevností (tab. 2 a 3) přibližně zařadit do pevnostní třídy LC12/13. Pro posouzení byly uvažovány tři třídy objemové hmotnosti, dvě, $1\,200 \text{ kg/m}^3$ a $1\,400 \text{ kg/m}^3$, s odstupňovanými pevnostmi podle tab. 1 a třetí třída FLC objemové hmotnosti $1\,100 \text{ kg/m}^3$ s pevnostmi průměrnými $1,36 \text{ MPa}$ pro příčný tah a $12,85 \text{ MPa}$ pro tlak (tab. 2 a 3).

V tab. 5a a 5b jsou uvedeny výsledky výpočtů provedených na základě pevnostní třídy LC12/13 a výsledků plynoucích ze zatěžovací zkoušky. Z tab. 5a je zřejmé, že podle pevností prokázaných při zatěžovací zkoušce tloušťka desky



4a

4b

30mm nevyhovuje, zatímco ze zjištěné únosnosti (tab. 5b, obr. 6) se ukazuje, že deska vyhoví. K uvedenému rozdílu dochází zřejmě vlivy nestejně kvality betonu ve zkušebních tělesech a zkušební desce zapříčiněnými použitým způsobem hutnění čerstvého vláknobetonu (vibrační stůl), rozdílem velikostí vzorků a desky, vlivem nedostatečného podkladu, tj. součinitelů, kterými se převádí pevnost vláknobetonu stanovená ze zkoušky pro výpočet (součinitele byly pro posouzení uvažovány hodnotami pro prostý beton), ale především vlivem skutečného prostorového působení deskového prvku.

VÝROBA DESKY

Pro výrobu prototypu střešní desky bylo připraveno dřevěné bednění. Betonáž desky proběhla v obrácené poloze oproti jejímu zabudování ve střešní konstrukci. Z důvodu snadného vyjmutí výrobku z bednění bylo toto vyráběno jako rozebíratelné, zároveň žebra desky jsou na jedné straně zkosená, což napomáhá snadnému vyjmutí desky z formy.

Při výrobě čerstvého vláknobetonu je důležité dodržet správné pořadí míšení složek v míchačce, kdy je potřeba nejprve nechat dobře nasát lehké kamenivo vodou, poté jsou vmíchána syntetická vlákna a následně je přidán cement a zbytek záměsové vody (obr. 8).

Vlivem charakteru směsi lze očekávat její nesnadnou zpracovatelnost a menší tekutost. Pro dokonalé vyplnění formy čerstvým vláknobetonem byla deska hutněna vibrováním na vibračních stolech. Po vyrobení desky můžeme očekávat, že na rubové straně vznikne drsný povrch zapříčiněný vystoupením lehkého kameniva a vláken během vibrování. Vznik drsné rubové strany panelu je žádoucí, protože zvyšuje tření mezi deskou a nosnou kroví a zabraňuje tak posunu desek po konstrukci střechy při pokládce (obr. 9).

ZÁVĚR

Vyrobený prototyp subtilní střešní vláknobetonové desky je zobrazen na obr. 10 a 11 [6]. Povrch desky je na lici sli nutý (povrch v kontaktu s formou), s občasnými vzduchovými póry, a nedochází k přiznání vláken nebo lehkého kameniva. Povrch je rovný a hladký, hrany žebek jsou ostré. Rubová strana je dle očekávání drsná s viditelnými vystupujícími vlákny a lehkým kamenivem, což je z hlediska stabilní polohy desky při pokládce žádoucí. Desky v takovéto podobě jsou určeny přímo k poklád-

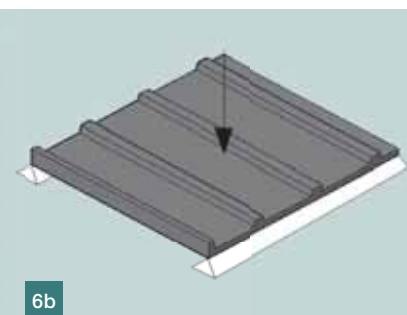
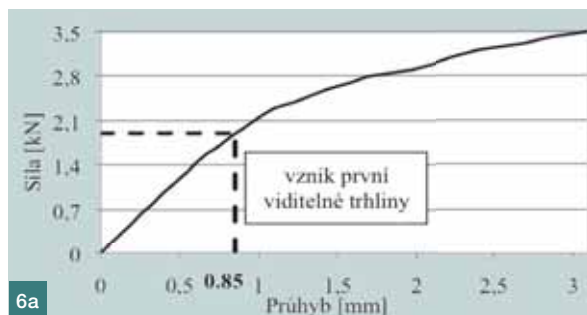
Tab. 1 Pevnost v tahu hutných lehkých betonů ■ Tab. 1 Tensile strength of dense lightweight concrete

Třída objem. hmotnosti	Horní mez objemové hmotnosti [kg/m³]	η_1^*	LC12/13	LC16/18	LC20/22	LC25/28
1	1 000	0,67	1,06	1,28	1,49	1,73
1,2	1 200	0,73	1,14	1,39	1,61	1,87
1,4	1 400	0,78	1,23	1,49	1,73	2,01
1,6	1 600	0,84	1,32	1,59	1,85	2,15
1,8	1 800	0,89	1,4	1,7	1,97	2,29
2	2 000	0,95	1,49	1,80	2,09	2,43

* kde η_1 je koeficient, kterým se upravuje pevnost v tahu lehkého betonu oproti pevnosti obyčejných betonů.

Tab. 2 Výsledky zkoušky v prostém tlaku ■ Tab. 2 Results of compression test

Vzorek číslo	Hmotnost [kg]	Velikost průřezu [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
1	3,76	148 x 149	277	12,56
2	3,775	147 x 149	326	14,88
3	3,71	150 x 151	252	11,12
Průměrná pevnost v tlaku				12,85



Tab. 3 Výsledky zkoušky v příčném tahu ■ Tab. 3 Results of splitting test

Vzorek číslo	Hmotnost [kg]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
1	3,145	39	1,29
2	3,31	45,6	1,4
3	3,97	50,1	1,39
Průměrná pevnost v příčném tahu			1,36

Tab. 4 Výsledky zkoušky v tahu za ohybu na referenčních vzorcích ■ Tab. 4 Results of bending test on reference specimens

Vzorek číslo	Hmotnost [kg]	Velikost průřezu [mm]	Objemová hmotnost [kg/m³]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
13	4,688	400,4 x 99,2 x 104,2	1 113	6,7	1,4
14	4,699	402,1 x 100,2 x 104,6	1 115	5,9	1,2
15	4,695	400,9 x 99,8 x 102,5	1 145	7,1	1,5
Průměrná pevnost v tahu za ohybu					1,4

Tab. 5a Posouzení únosnosti desky z prostého vláknobetonu pro uvažované pevnostní třídy | Tab. 5a Assessment of FRC plate resistance according to strength classes

Specifikace	LC dle normy	LC dle normy	Navržený kompozit – provozní stadium	Navržený kompozit – stavební stadium
Objemová hmotnost [kg/m ³]	1 400	1 200	1 100	1 100
Tloušťka desky [mm]	Posudek únosnosti při dané tloušťce a objemové hmotnosti			
40	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
30	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Nevyhovuje

Tab. 5b Posouzení únosnosti desky z prostého vláknobetonu dle výsledků zatěžovací zkoušky | Tab. 5b Assessment of FRC plate resistance according to results of loading test

Specifikace	LC dle normy	LC dle normy	Navržený kompozit – provozní stadium	Navržený kompozit – stavební stadium
Objemová hmotnost [kg/m ³]	1 400	1 200	1 100	1 100
Tloušťka desky 30 [mm]	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

Literatura:

- [1] ČSN EN 1991-1-3:2005: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem; s mapou sněhových oblastí – Z1/2006
- [2] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] www.liapor.cz
- [5] Závěrečná zpráva ke grantovému projektu G103/06/0865 – „Lehké konstrukční betony prosté a vyztužené“
- [6] Užitečný vzor „Střešní panel pro osazení střešní krytiny“, číslo přihlášky 2009-21482, číslo zápisu 20091



Obr. 5 Zkušební tělesa | Fig. 5 Test specimens

Obr. 6 a) Diagram odolnosti vláknobetonu s vlákny Forta Ferro, zjištěný při zatěžování osamělým břemenem s vyznačenou mezí vzniku první viditelné trhliny, b) schéma zatěžování | Fig. 6 a) Resistance diagram of FRC with Forta Ferro fibres, estimated during loading by concentrated load, and with marked point of first crack observation, b) loading scheme

Obr. 7 Měření průhybu při zatěžování desky | Fig. 7 Measurement of bending deformation during a load test

Obr. 8 a) Lehké kamenivo se syntetickými vlákny a vodou, b) směs po přidání cementu a zbytku záměsové vody | Fig. 8a) Lightweight aggregate with synthetic fibres and water, b) mixture after addition of cement and remaining mixing water

Obr. 9 Drsná rubová protiskuzová strana desky | Fig. 9 Coarse reverse side of the roofing plate

Obr. 10 Prototyp střešní desky | Fig. 10 Prototype of the roofing plate

Obr. 11 Deska po osazení střešní krytiny | Fig. 11 Roofing plate after laying of roof tiles

ce na nosnou konstrukci střechy a k pokrytí střešní krytinou.

Z provedených výpočtů únosnosti desky se ukazuje, že bude třeba se zabývat otázkou užití vyšší pevnostní třídy lehkého vláknobetonu oproti dosažené při výrobě prototypu. Navržený rozměr desky se i přes stanovené výpočty ukazuje jako reálný na základě výsledků provedené zkoušky.

Cílem článku je představit střešní vláknobetonovou desku s užitím lehkého kameniva určenou k náhradě části klasické konstrukce střechy. Záměrem projektu bylo vytvořit alternativu ke klasické skladbě střech, která napomůže urychlení výstavby a v mnoha ohledech zjednoduší proces. Výroba prefabrikátů je stále oblíbenější formou v oblasti betonových konstrukcí a střešní vláknobetonová deska doplňuje řadu možných prefabrikovaných částí celého rodinného či většího obytného domu, u kterých lze navrženou technologii využít.

Tento výsledek byl získán za finančního příspěví MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Ing. Aneta Rainová
e-mail: aneta.rainova@fsv.cvut.cz
tel.: 224 354 629



Ing. Michaela Frantová, Ph.D.
e-mail: michaela.frantova@fsv.cvut.cz
tel.: 224 354 619

Doc. Ing. Jan Vodička, CSc.
e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz
tel.: 224 354 622



všichni: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Text článku byl posouzen odborným lektorem.