

PLOVOUCÍ TĚLESA Z VLÁKNOBETONU ■

CONCRETE FLOATING ELEMENTS

Ondřej Slabý, Stanislav Smiřinský,
Jitka Vašková

Vývoj v oblasti technologie betonu v posledních letech umožňuje využití vysokohodnotných betonů pro zcela nové aplikace a ve zcela nových oblastech. Příkladem invenčního použití se zabývá i tento článek věnovaný v současné době nepříliš rozšířené oblasti aplikace vláknobetonu – plovoucím betonovým prvkům tenkostěnného provedení. Pro tento účel se beton využívá již řadu let, avšak současné kompozitní materiály s cementovou maticí umožňují vyhnout se některým problémům běžných betonů a zároveň umožňují navrhovat neobvyklé tvary. V článku jsou uvedeny příklady dvou plovoucích prvků, včetně návrhu vhodné receptury vláknobetonu a technologie výroby. Součástí jsou i výsledky experimentálního ověření vlastností materiálu a výroba pilotního zmenšeného vzorku. V závěru je uvedena základní legislativa týkající se plovoucích prvků v České republice a srovnání s materiály běžně používanými pro tyto aplikace. ■ The progress in concrete technology in recent years enables the use of this material for completely new applications and in new areas. The aim of this article is an example of application of high-performance concrete in new suitable area – for concrete floating elements made of fibre-reinforced concrete. Concrete for floating elements has been used for many years, but contemporary cement matrix composite materials can avert some of the problems of conventional concrete and enable to design new shapes and things with better properties. The article deals with the design and realization of two examples of concrete floating elements, including a design of a suitable fibre-reinforced concrete mixture with results of the experimental verification of the material properties and manufacturing technology. A pilot product was produced in order to verify the technological parameters and characteristics of its production. At the end of the article, the basic legislation on floating elements in the Czech Republic and comparison of concrete with commonly used materials for similar types of application are presented.

Pro výrobu plovoucích prvků byl beton použit již v roce 1848, kdy Francouz Joseph Louis Lambot zhotovil první betonovou loďku. Masivně byl beton užíván pro stavbu válečných lodí v průběhu obou světových válek. Výhodou byla především skutečnost, že beton byl materiál poměrně levný a dobře dostupný, avšak nevýhodou byla jeho vyšší hmotnost a tím horší ovladatelnost lodí. Beton se jako materiál pro plovoucí prvky používá i v současnosti, většinou se jedná o běžně vyztužený železobeton, avšak častěji se můžeme setkat s plovoucími prvky z oceli, dřeva či plastů, přestože jejich životnost je vzhledem k vlastnostem uvedených materiálů dosti omezena.

Pokrok v oblasti technologie betonu a aplikace vláken do struktury betonu v posledních letech umožňují realizovat konstrukce a prvky výrazně subtilnější a s lepšími vlastnostmi. Právě plovoucí tělesa jsou jednou z vhodných oblastí pro aplikaci nových typů betonu. Ze současně známých a úspěšných aplikací lze jmenovat např. plovoucí mola, plovoucí domy či plovoucí ostrůvky pro rybáře nebo realizaci betonové kánoe.

PLOVOUCÍ TĚLESO PRO RYBÁŘE A REKREACI

Prvním, jednodušším plovoucím tělesem navrženým autory článku je plavidlo sloužící pro rybáře či jako rekreační plovoucí „ostrůvek“. Plovák má tvar kvádrů o půdorysných rozměrech 6 × 3 m a výšce 0,85 m. Stěny jsou navrženy jako tenkostěnné, tloušťky 40 mm. Pro konstrukci plováku byl použit pouze vláknobeton bez jakékoli přídavné výztuže, jádro plováku je tvořeno polystyrenem. Největší užitné zatížení plavidla je 1 000 kg.

Navržený plovák byl ověřen výpočty různých zatěžovacích stavů užitím výpočetního softwaru RFEM. Předpokladem při posouzení jednotlivých zatěžo-



Obr. 1 Betonová loď S. S. San Pasqual z první světové války ■ Fig. 1 Concrete ship S. S. San Pasqual from the First World War

Obr. 2 Vizualizace navrženého plovoucího tělesa pro rybáře a rekreaci ■

Fig. 2 Visualisation of the designed floating body for fishermen and for leisure time activities

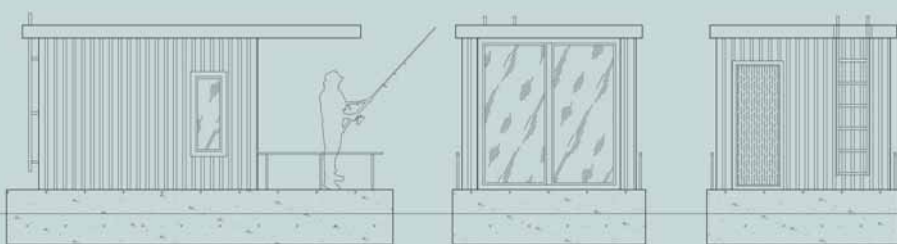
vacích stavů a případů bylo, že maximální tahová napětí nebudou dosahovat tahové pevnosti materiálu získané ze zkoušek. Zajištěním tohoto předpokladu je tedy vyloučen vznik trhlin.

Byly ověřeny průběhy napětí, např. zatěžovací stavy od vlastní tíhy a účinků nástavby plováku, napětí při pohybu na vodní hladině či průběh napětí při transportu. Z analýzy vyplýval požadavek na použití vláknobetonu s pevností v tahu za ohybu minimálně 3,7 MPa. Simulace chování vody bylo docíleno uložení plováku na plošnou podporu – pružné podloží. Byl ověřen i ponor plavidla s maximálním užitným zatížením, hloubka ponoru je v tomto případě 540 mm. V další fázi byly navrženy transportní úchyty a byla ověřena i celková stabilita plavidla při umístění maximálního přípustného zatížení do nejnepříznivější polohy za současného účinku větru.

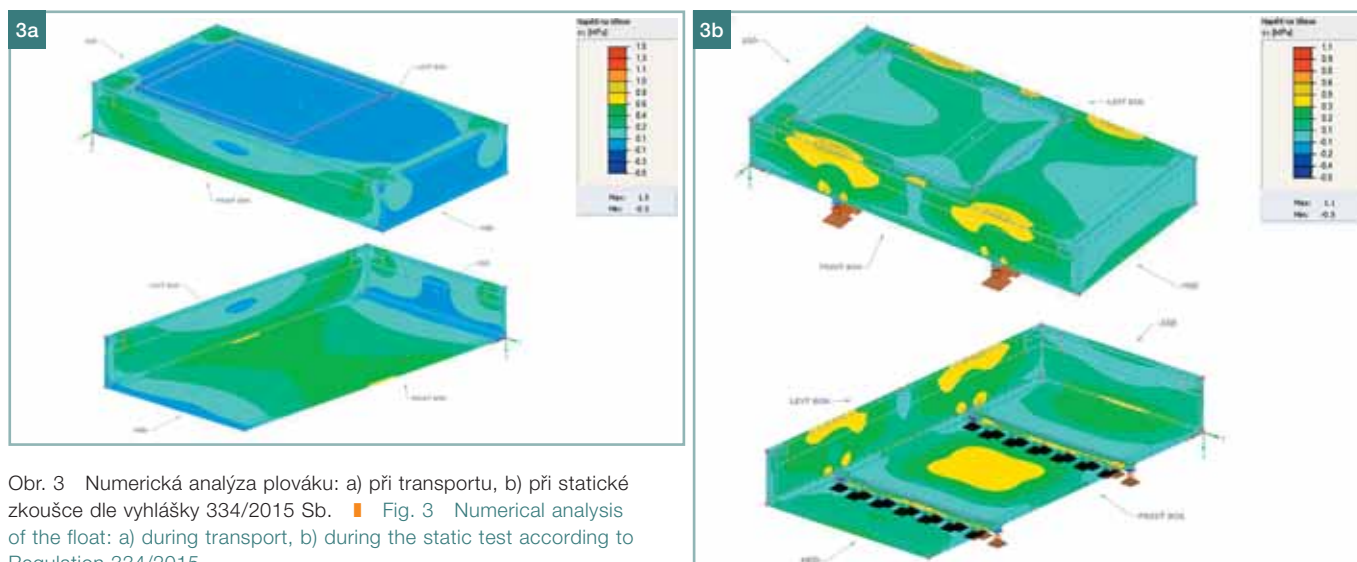
MODULOVÝ PONTON PRO PLOVOUCÍ TĚŽEBNÍ STROJE

Hlavním předmětem dosavadní práce autorů článku byl koncepční návrh řešení plovoucích modulových pontonů z vláknobetonu. Návrh pontonu vycházel z předpokladu náhrady stávajících ocelových pontonů pro drapakový těžební stroj šterku a písku Reiter RCM 60 ze šterkopískovny Českomoravského šterku, a. s., v Hulíně novými betonovými pontony. Ocelové pontony jsou uvnitř duté, provedené jako vodotěsné.

Základním navrženým betonovým prvkem je ponton, který je možné spojovat ve větší celky prakticky neomezených rozměrů a libovolného tvaru. Modulový systém je navržen tak, aby jednotlivé pontony bylo možné spojovat jak delší, tak i kratší stranou k sobě. Sys-



2



Obr. 3 Numerická analýza plováku: a) při transportu, b) při statické zkoušce dle vyhlášky 334/2015 Sb. ■ Fig. 3 Numerical analysis of the float: a) during transport, b) during the static test according to Regulation 334/2015

tém najde využití i v jiných oblastech, např. jako pracovní plošiny při opravách z vodní hladiny či jako přístavní pontony.

Navržený ponton modulového systému je 6,1 m dlouhý a 2,4 m široký, výška pontonu je 1,85 m. Vnitřní jádro pontonu je opět tvořeno polystyrenem, stěny jsou z vláknobetonu a jejich tloušťka je 50 mm. V konstrukci pontonu jsou navíc vytvořena výztužná žebra v příčném směru v místech spojovacích prvků zajišťující vyšší tuhost. V místech, kde jsou osazeny spojovací prvky či transportní úchyty, jsou stěny též zesíleny. Při zachování volného boku minimálně 400 mm (minimální hodnota výšky pontonu nad hladinou při maximálním zatížení) je pak možné ponton zatížit maximální užitnou hmotností 12 120 kg – únosnost pontonu je tedy 827 kg/m².

Spoj mezi jednotlivými pontony je realizován pomocí dvou závlačí, každé pro jeden ponton, osazených do prvků zabudovaných v pontonu. Závlače zabra-

ňují vodorovnému oddálení a spoje jsou dále doplněny o sadu spojovacích ocelových prvků, které zabraňují vzájemnému svislému posunu pontonů. Přínosem vláknobetonových pontonů oproti běžně používaným ocelovým pontonům by byly především nižší pořizovací náklady a předpokládaná delší životnost.

TECHNOLOGIE VÝROBY PLOVoucích TĚL

Betonáž plováků je navržena jako dvoufázová, neboť v případě betonáže v „jednom záběru“ by došlo vlivem působení vztlakové síly na spodní stranu polystyrenového jádra k jeho vyplavání. V první fázi betonáže je vybetonována spodní deska plováku a osazeny ocelové spony s antikorozií úpravou ve tvaru písmene U, které slouží ke spojení spodní desky se svislými stěnami plováku. Po zavadnutí betonu se provede osazení a připevnění polystyrenového jádra. V závěrečné fázi do-

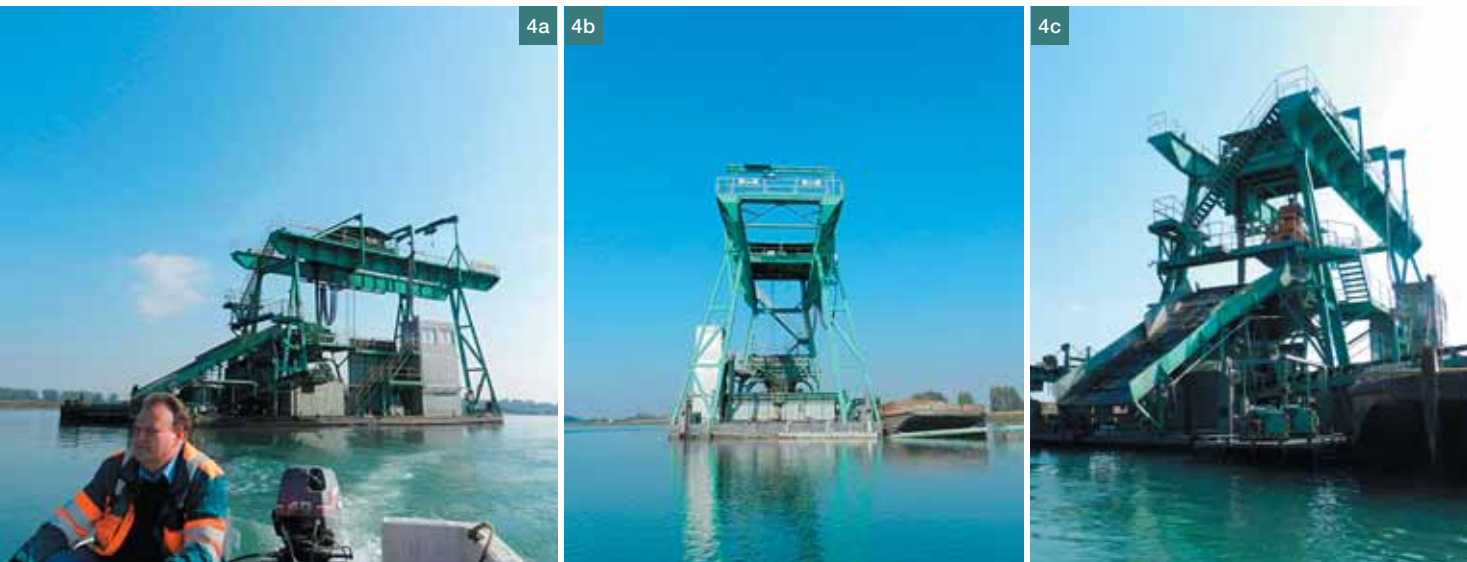
jde k vybetonování zbylých stěn a horní plochy plováku.

Jednou z výhod polystyrenového jádra je možnost jednoduché realizace jednotlivých žebér vyřezáním v polystyrenu. Ta jsou následně při betonáži zalita a mohou sloužit k celkovému zlepšení tuhostních charakteristik pontonu.

NÁVRH A OVĚŘOVÁNÍ VHODNÉHO VLÁKNOBETONU

Pro realizaci vláknobetonových plovoucích prvků je též důležitý správný návrh a ověření vhodných receptur. Cílem experimentu bylo použít několik typů a dávek dostupných vláken, vytvořit zkušební receptury a porovnat jejich vlastnosti. Důležitými parametry pro výběr receptury byla především zpracovatelnost

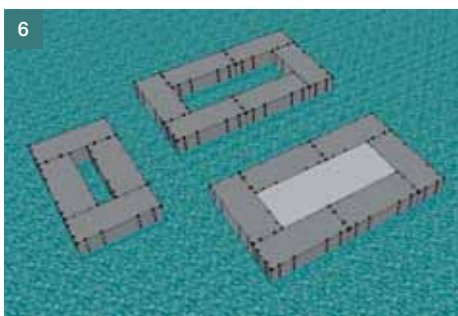
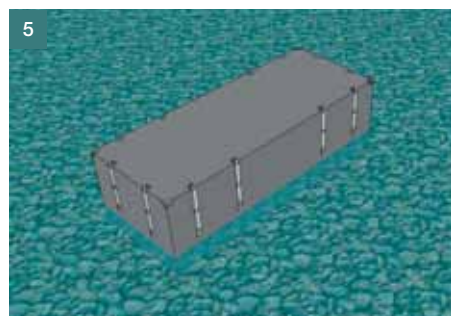
Obr. 4a,b,c Plovoucí těžební drapákový bagr Reiter RCM 60 ■ Fig. 4a,b,c Floating excavator Reiter RCM 60



Tab. 1 Receptury pro pilotní experimenty ■

Tab. 1 Design of the pilot experiments

Označení receptury	Typ vláken	Dávka vláken [kg/m ³]	Stupeň konzistence	Zpracovatelnost	Charakteristická pevnost v tahu za ohybu, tělesa 40x40x160 [MPa]
1	referenční	-	F5	vyhovující	14,7
2	skelná Anti-crack	5	F4	vyhovující	11,7
3	Strux 90/40	4	F3	vyhovující	11,4
4	Strux 90/40	9	F1	nevyhovující	9,2
5	KrampeHarex DE 30/0,5 M	35	F5	vyhovující	12,3
6	KrampeHarex DE 30/0,5 M	50	F1	nevyhovující	12,6



čerstvého vláknobetonu s ohledem na tenkostěnné provedení prvků a pevnostní charakteristiky kompozitu. Důležité bylo též i to, aby složky byly dostupné a vláknobeton tak byl běžně vyrábělný v rozumné cenové relaci.

Základní receptura betonu byla složena z pěti složek: portlandský cement CEM I 42,5, kamenivo frakce 0–4 a 4–8, mikrosilika, superplastifikátor ViscoCrete a voda. Do navržené základní receptury byly dále použity celkem tři typy vláken – skleněná, polymerní a ocelová. Receptury a dávkování vláken jsou patrné z tab. 1.

Při výrobě betonu byla pro každou recepturu provedena zkouška rozlitím pro stanovení konzistence čerstvého betonu a kontrolována struktura betonu, resp. segregace. Pevnostní charakteristiky betonu byly zjišťovány ve stáří 28 dnů. Provedeny byly zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, zkoušky tlakové pevnosti a zkoušky nasákavosti.

Navržená složení vláknobetonu splnila předpokládané pevnostní charakteristiky. Dosažené hodnoty byly vyšší než minimální hodnoty určené výpočtem. Bylo ověřeno, že receptury s vyhovující zpracovatelností bylo možné pro výrobu navržených plovoucích prvků použít. Na základě provedených výsledků zkoušek byla vybrána receptura pro realizaci funkčního pilotního vzorku. Vláknina rozptýlená ve struktuře betonu neměla na velikost tahových pevností výrazný vliv, avšak jejich význam je důležitý především z pohledu objemových

změn betonu či pozitivního vlivu na houževnatost materiálu.

PILOTNÍ VZOREK

V rámci experimentální části byl vyroben pilotní vzorek plovoucího pontonu o rozměrech 550 × 550 × 450 mm s cílem ověřit uvažovanou technologii výroby, především pak proveditelnost betonáže tenkých stěn prvku. Tloušťka stěn byla 25 mm a pro výrobu byla použita receptura s polypropylenovými vlákny v dávce 4 kg/m³, hmotnost vzorku byla 87 kg.

Po sedmi dnech od betonáže byl vzorek umístěn na vodní hladinu, aby byl vyzkoušen ponor a plovatelnost. Při umístění na vodní hladinu však prvek vykazoval mírný počáteční náklon, který musel být eliminován umístěním protizávaží o hmotnosti 350 g. Počáteční náklon byl způsoben pravděpodobně drobnou polohovou odchylkou polystyrenového jádra v bednění, čímž byla jedna ze stěn prvku širší a těžší.

Realizací pilotního vzorku byla úspěšně ověřena proveditelnost betonáže tenkých stěn za použití vláknobetonu a zároveň se ukázalo, že je nezbytné provádět pontony s co nejvyšší přesností, tak aby nedošlo k počátečnímu náklonu.

LEGISLATIVA A POROVNÁNÍ MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

V případě ocelových pontonů, jako např. pontonů pro těžební stroje, či lodí je proces výrobní a především finanční

Obr. 5 Vizualizace navrženého modulového pontonu z vláknobetonu ■

Fig. 5 Visualisation of the designed modular pontoon of fibre concrete

Obr. 6 Příklad sestav pontonů ■

Fig. 6 Examples of pontoon compositions

Obr. 7 Stanovení konzistence čerstvého betonu a detail struktury betonu

Fig. 7 Test of the fresh concrete consistency and detail of the concrete structure

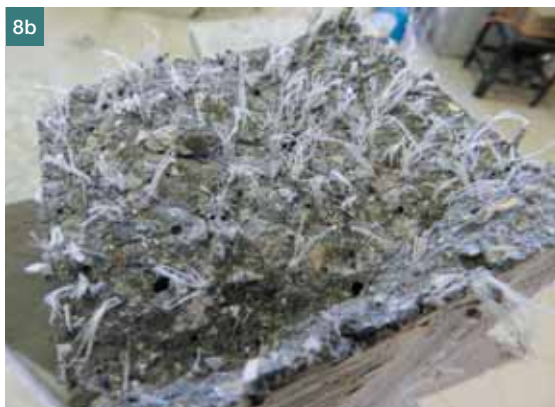
Obr. 8 a) Zkouška čtyřbodovým ohybem, b) detail lomové plochy ■

Fig. 8 a) Four-point bending test, b) detail of the break surface

Obr. 9 a) Pilotní vzorek, b) zkouška plovatelnosti ■ Fig. 9 a) Pilot sample, b) test of floatability

ně náročnější. Konstrukci tvoří ocelový rošt, na který se po obvodě upevňuje obšívka tělesa. K zajištění tuhosti a odolnosti pontonu vůči vnějším zatížením je uvnitř dutiny vytvořeno žebrovaní. Vnitřní prostor je dutý a musí být zároveň přístupný a kontrolovatelný. V případě proražení stěny ocelového pontonu může dojít i k jeho zaplavení až potopení. Při výrobě je nutné zajistit dokonalou vodotěsnost, která je však postupem času a degradací materiálu ohrožena. Pravidelná údržba a ošetřování jsou pak v rámci celého cyklu životnosti pontonu poměrně nákladné. Cena oceli je vysoká a poměrně náročná a pracná je též výroba ocelového pontonu, což výslednou cenu výrazně prodražuje.

Lodní ocel použitá pro stavbu pontonu musí být certifikovaná, nesmí být křehká, při nárazu se může deformovat, ale nesmí prasknout. Ocelové pontony mají v závislosti na použité tloušťce plechu životnost přibližně do 20 až 25 let, v případě pravidelné údržby a ošetřování delší. Při prohlídce se sleduje technický stav plavidla (především plováků), je prováděna kontrola svarů, kontrola vodotěsnosti, ultrazvukem je měřena tloušťka plechu obšívky a zhodnocen tak úbytek materiálu.



Literatura:

- [1] SLABÝ, O. *Betonové plovoucí prvky*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.
- [2] *Vtm.e15* [online]. CN Invest, a. s., 2016. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/clanek/plovouci-kameny>
- [3] VODIČKA, J., VESELÝ, V., KRÁTKÝ, J. Specifika z technologie vláknobetonu. *Beton TKS*. 2010, roč. 10, č. 2, s. 38–42.
- [4] BARTOŠ, P. J. M. Vláknobeton. *Beton TKS: Betonové konstrukce 21. století: betony s přidanou hodnotou*. 14.12.2012, roč. 12, samostatná příloha časopisu, s. 69–77. ISSN 1213-3116
- [5] COLLEPARDI, M. *Moderní beton*. Praha: ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-75-7

Aktuální platná legislativa a normy přímo nespécifikují možnost použití betonu jako materiálu pro konstrukci rozměrnějších plovoucích plavidel či těles. Ve vyhlášce 223/1995 Sb. je uvažována pouze lodní ocel. Výpočty a vztahy pro stanovení tloušťky obšívky, tloušťky a rozteče žeber uvedené ve vyhlášce jsou přizpůsobené pouze lodní oceli. Lodní trup musí vykazovat takovou odolnost, aby v případech, které mohou během užívání nastat, namáhání bezpečně vyhověl. Pokud se na stavbu lodního trupu či tělesa použije jiný materiál než ocel, musí odolnost trupu či tělesa odpovídat použití oceli. K povolování betonových těles je přistupováno vždy individuálně.

Pro výše navržený modulový betonový ponton se náklady na materiál jednoho pontonu pohybují okolo 80 tisíc Kč. V případě ocelového pontonu je možné cenu stanovit podobně jednoduchým odhadem ceny materiálu, kdy při stejných rozměrech a únosnosti vychází cca 135 tisíc Kč. Uvedené ceny jsou stanoveny pouze jako orientační a pro přesnější porovnání by bylo nutné zajistit konkrétní cenovou kalkulaci. K oběma variantám je nutné samozřejmě zahrnout výrobní práce. Výrobní

náročnost ocelového pontonu je oproti betonovému časově i finančně vyšší. I při konzervativním uvažování, že by byl výrobní proces obou variant srovnatelný, se však finální cena výrobku liší již v ceně za použité materiály – betonový ponton je levnější.

ZÁVĚR

Článek je zaměřen na oblast plovoucích prvků z vláknobetonu s polystyrenovým jádrem s cílem ukázat možné výhody, přednosti a úspěšnou aplikaci uvedené materiálové varianty. V experimentální části byla navržena vhodná receptura vláknobetonu a technologie výroby. Zkouškami materiálových vlastností a pilotním výrobkem bylo provedeno ověření návrhu a poukázáno na problémy spojené s výrobou.

Aplikace betonu pro plovoucí prvky jsou ověřeny již několika úspěšnými realizacemi uvedenými v úvodu článku. Současně však lze konstatovat, že v dnešní době není beton jako materiál pro lodě či plovoucí prvky příliš rozšířený a jeho uplatnění není ukotveno v předpisech. V rámci případné aplikace pontonů do praxe by tedy bylo nutné vyřešit problematiku pravidelných kontrol daných platnými předpi-

sy a navrhnout vhodné způsoby kontroly parametrů betonu v čase. Přínos užití vláknobetonu oproti běžně používaným materiálům (ocel, dřevo či plast) spočívá především v nižších pořizovacích nákladech a delší životnosti.

Příspěvek vznikl za finanční podpory SGS17/049/OHK1/1T/11 a SGS18/115/OHK1/2T/11.

Poděkování dále patří společnosti Betotech, s. r. o., za přípravu a zkoušky materiálů v jejich laboratořích.

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



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



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

