

# BETONOVÁ KÁNOE ■ CONCRETE CANOE

Dagmar Malá, Jan Kratochvíl

Článek popisuje návrh a následnou realizaci betonové kánoe určené pro závody Betonkanorace 2010 v nizozemském Utrechtu. Návrh kánoe se soustředil na technologii betonu, řešil tvar lodí, zatěžovací stavy a návrh způsobu vyztužení. V části o realizaci je popsán postup prací, volba bednění, jeho zhotovení, postup betonáže, odbednění a konečná úprava kánoe. Návrhy jsou doplněny o výsledky laboratorních zkoušek a fotodokumentaci. ■ The aim of this article is design and construction of concrete canoe for Betonkanorace 2010 competition in Dutch Utrecht. Canoe design focuses on concrete technology, shape of the ship, load cases and method of reinforcement. The part on construction is dealing with work flow, choice of formwork, its assembling, procedure of concrete casting, removing of framework and finishing the canoe. Chosen laboratory test results and photographic documentation are also presented.

Betonové kánoe mají svou tradici na zahraničních vysokých školách již více než třicet let. Téměř každý rok se pořádají závody v USA, Německu, Nizozemsku, ale i v Japonsku. Jednou z hlavních disciplín soutěže je samotné hodnocení konstrukce lodí, její tuhost, hmotnost, tvar atd. Bakalářská práce, jejíž výsledky článek popisuje, se inspirovala jejich zkušenostmi.

Rozměry kánoe byly navrženy tak, aby loď byla co nejlehčí, tuhá a stabilní s ohledem na odpor vody a zároveň splňovala pravidla soutěže. Při návrhu směsi se její autoři řídili vahou, tedy objemovou hmotností výsledné směsi, zpracovatelností a únosností navrženého betonu. K vylehčení betonu bylo použito lehké kamenivo. K lepší zpracovatelnosti pomohl plastifikátor a latex přidáný do směsi. Únosnost v tahu za ohybu byla zlepšena přidáním vláken a použitým cementem. Dalšími vyztuhami jsou přidáné sítě po celém povrchu lodí a žebra umístěná do předem určených částí trupu.

Realizace byla nejprve vyzkoušena na malém modelu lodí a zkušenosti byly využity při konečném provedení kánoe. Závěrečnou úpravou povrchu bylo broušení a nátěry celého trupu kánoe vně i uvnitř voskem a modré nápis s názvy lodí.

## ŘEŠENÍ STAVBY BETONOVÝCH KÁNOÍ V ZAHRANIČÍ

Beton vhodný pro výrobu betonových kánoí se řadí do lehkých a vlákný vyztu-

žených betonů a často bývá navíc barvený pigmenty.

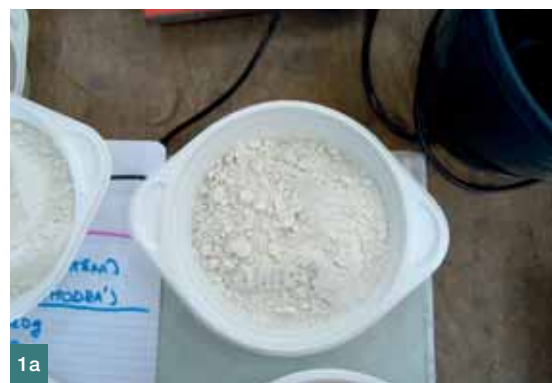
Největší soutěže betonových kánoí se pořádají v USA, proto mají konstrukce kánoí amerických univerzit vyšší úroveň oproti ostatním. Zhotovitelé kánoí tam každý rok inovují své předchozí návrhy a dostávají se ve svých nápadech stále dál. Zaměřují se na návrh tvaru lodě, výpočetní model a zatěžovací stavy, návrh směsi betonu, samotnou betonáž a následné ošetřování betonu, konečný design lodí (pigmentaci betonu a broušení) a v poslední době také na recyklovatelnost použitého materiálu.

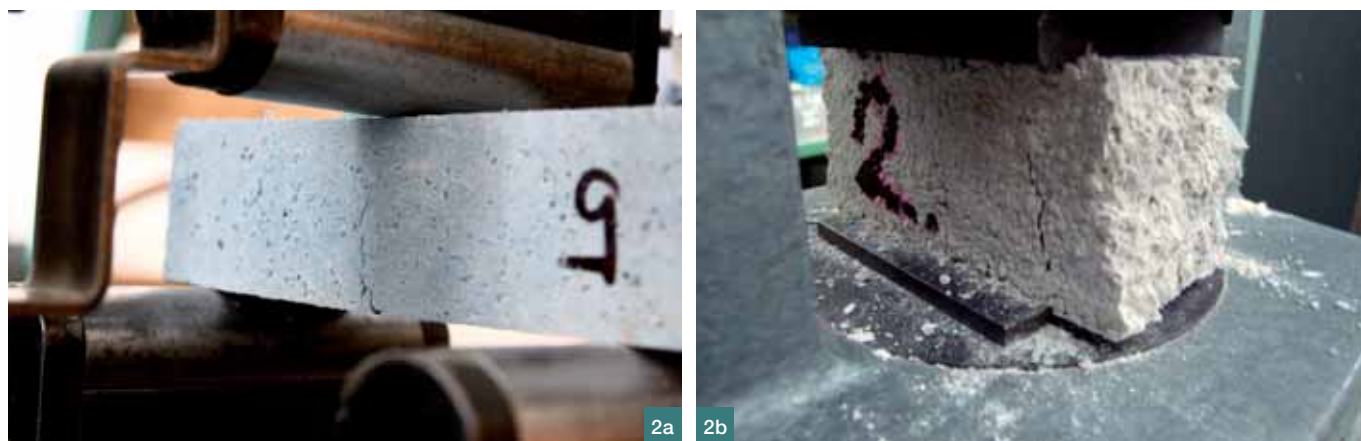
Lodě jednotlivých univerzit se od sebe liší druhem použitých výtuh, složením betonové směsi a tvarem. Všichni se však snaží o stejný cíl, a to vytvořit loď ze směsi s nejmenší objemovou hmotností, vyztužit ji tak, aby byla dostatečně tuhá, tvar přizpůsobit pro vyvinutí nejvyšší rychlosti a dobré manévrovatelnosti a v neposlední řadě dbají na výsledek design. Japonské kánoe postavené na univerzitě v Yokohamě bývají většinou menších rozměrů a jako vyztuhu používají perlinku. Kanadské lodě z univerzity v Montrealu se rozměry liší minimálně od amerických (zúčastňují se soutěží v USA), naopak se liší materiály pro vyztužení lodí. Jako primární vyztuž používají sítě z čedičových vláken, jako sekundární polypropylenová vlákna místo PVA. Menší rozdíly se najdou i v samotné betonové směsi, použití jiných náhražek místo cementu, které zvětšují pevnost, ale stejně tak přidávají na objemové hmotnosti, např. křemičitý úlet. Jednotlivé týmy volí různé poměry materiálů, mají jiné předpoklady, uvažují různé zatěžovací stavy a mění se i postup práce. Každá loď pak dosahuje jiných hodnot a vlastností. Vše je potřeba skloubit tak, aby kánoe uspěla, tj. byla pevná, lehká a rychlá.

## ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA SOUTĚŽNÍ KÁNOI

Soutěžní pravidla určují celkový návrh a dávají první náznak, jak by kánoe měla vypadat.

- Kánoe délky 4 až 6 m, šířky 0,4 až 1 m je určena pro dvoučlennou posádku.
- Pevnost a tuhost plavidla má být výsledkem spolupráce betonu s vyztuží (jsou povoleny všechny druhy vyztuží).
- Pojivem musí být cement, přičemž je





Obr. 1 a) Bílý cement, b) 3M kuličky, c) Poraver, d) modrý pigment, e) hotové trámečky ■ Fig. 1 a) White cement, b) 3M glass microspheres, c) Poraver, d) blue pigment, e) prepared concrete specimens

Obr. 2 a) Ohybová zkouška trámečku, b) tlaková zkouška ■ Fig. 2 a) Bending test of a concrete specimen, b) compression test of a concrete specimen

Tab. 1 Výsledky zkoušek různých typů výztuže ■ Tab. 1 Results of experimental testing of various kinds of reinforcing meshes

Typ výztuže	Prostý beton	Uhlíková vlákna T1	Uhlíková vlákna T2	Čedič	Perlínka
Rozměry trámečku [mm]	39,25 × 39,13	49 × 39,25 × 160	39,83 × 40	39,88 × 39,5	40 × 39,63
Max. síla $F_{max}$ [N]	1 811	2 033	2 508	2 275	2 096
Rozpětí podpor [mm]	120	120	120	120	120
Max. moment $M_{max}$ [Nmm]	54 324	60 978	75 231	68 262	62 877
Průřezový modul $w$ [mm <sup>3</sup> ]	10 014	10 270	10 622	10 369	10 468
Max. napětí $\sigma_{max}$ [MPa]	5,425	5,937	7,082	6,583	6,007

povoleno použití jakéhokoliv kameniva různých frakcí.

- Lze použít nátěr pro vodotěsnost v maximálním množství 2 kg.

Více informací o pravidlech soutěže na [9].

## PARAMETRY NÁVRHU KÁNOE

### Tvar a rozměry

Půdorysný tvar lodi připomíná velkou kapku, v přední části je kánoe mohutnější a v zadní se zužuje. Nejširší průřez tedy není přesně v polovině, ale blíže přední špičce. Tvar byl zvolen tak, aby voda loď lépe obtékala. Boční stěny jsou mírně skloněné, aby betonová směs měla menší tendence stékat. Dno je v prostřední části téměř ploché a směrem do špiček se zaobluje. Ploché dno přispívá k vyšší stabilitě lodi na vodě. Vzhledem k tomu, že

závod se jede hlavně rovně, jen s jednou otočkou, jsou tvar a rozměry způsobeny tak, aby kánoe byla rychlá na úkor její manévrovatelnosti. To souvisí hlavně s její délkou – výsledná délka kánoe byla 5 400 mm.

Výška lodi byla zvolena s ohledem na její předpokládaný ponor při osazení dvěma závodníky. Maximální uvažovaný ponor při zatížení dvěma osobami, každý o hmotnosti 100 kg, a váhy lodi je 168 mm. Výsledná maximální výška byla tedy zvolena 350 mm.

Nejvýznamnějším faktorem pro šířku lodi byla její stabilita v kompromisu s odporem vody. Čím užší kánoe je, tím klade vodě menší odpor a loď je rychlejší. Naopak s rostoucí šířkou průřezu (v nejširším bodě) se stává kánoe stabilnější. S uvážením obou faktorů byla maximální šířka zvolena na 736 mm.

Tloušťka konstrukce je 15 mm.

### Zatížení

Pro výpočet mezních hodnot vnitřních sil a napětí byl zkonstruován zjednodušený výpočetní model konstrukce lodi v programu Dlubal RFEM. Pro model byly uvažovány tři základní zatěžovací stavy. V modelu je počítáno s betonem o odhadnuté objemové hmotnosti 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

První zatěžovací stav představuje loď nesenou čtyřmi lidmi na popruzích. Druhý zatěžovací stav představuje uchopení kánoe na jejich koncích a poslední, třetí stav reprezentuje kánoe na vodě s dvoučlennou posádkou (každý člen o hmotnosti 100 kg). Pro třetí zatěžovací stav byl vypočítán hydrostatický tlak v nejhlubším místě kánoe při předpokládaném ponoru. Mísoto osob jsou do modelu uvažovány podpory.

Pro první zatěžovací stav vznikají vel-

Tab. 2 Výsledky zkoušek různých typů výztuže ■ Tab. 2 Results of experimental testing of various kinds of reinforcing meshes

Typ výztuže	SRG síť	Rohož Cem-Mat	Kombinace sítě SRG a rohože Cem-Mat
Rozměry trámečku [mm]	95 × 14	95 × 14	95 × 14
Max. síla $F_{max}$ [N]	950	680	1 310
Rozpětí podpor [mm]	120	120	120
Max. moment $M_{max}$ [Nmm]	28 500	20 400	39 300
Průřezový modul $w$ [mm <sup>3</sup> ]	3 103	3 103	3 103
Max. napětí $\sigma_{max}$ [MPa]	9,18	6,57	12,66

Tab. 3 Charakteristiky rozptýlených vláken ■ Tab. 3 Properties of reinforcing fibres

Materiál vlákna	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Protahení při přetržení – tažnost [%]	Průměr vlákna [μm]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
PP – vlákna	200 až 700	3,5 až 18	5 až 40	10 až 300	910
Skleněná vlákna	1 500 až 3 600	60 až 90	2 až 4	10 až 15	2 700
Ocelová vlákna	1 500 až 3 800	170 až 300	1 až 2	100 až 600	7 850
Uhlíková vlákna	1 700 až 3 500	200 až 700	2 až 4	15 až 200	1 900 až 2 100
PVA vlákna	1 600 až 2 500	40 až 60	cca 6	14 až 40	1 300





Obr. 3 Porovnání modelu s velkou formou ■ Fig. 3 Comparison of small scale model with final formwork



Obr. 4 Forma s konstrukčními průřezy ■ Fig. 4 Formwork with aligned sections

Obr. 5 Polystyrenová forma ■ Fig. 5 Polystyrene formwork

Obr. 6 Místo pro žebro ve formě s nanesenou sádrou ■ Fig. 6 Space for a reinforcing rib in the form with a rough plaster surface

Obr. 7 Forma připravená pro betonáž ■ Fig. 7 Formwork ready for casting

Obr. 8 Začátek betonáže ■ Fig. 8 Beginning of the casting process

Obr. 9 Pokládání druhé vrstvy sítí ■ Fig. 9 Laying down the second layer of reinforcing mesh

Obr. 10 Nanášení poslední vrstvy betonu ■ Fig. 10 Casting of the final concrete layer

Obr. 11 Konečný povrch betonu ■ Fig. 11 Final concrete surface



mi malá napětí. Největší hodnoty pro tento stav má napětí ve směru lokální osy  $x$  na kladné straně plochy – 0,3 MPa. Napětí  $\sigma_{x+}$  je rozhodující také pro druhý zatěžovací stav, kde je maximální hodnota 1,7 MPa v zadní špičce lodi. Pro třetí zatěžovací stav jsou rozhodující napětí ve směru lokální osy  $y$  na kladné straně plochy (pro maximální hodnoty blíže přední špičce lodi) a na záporné straně plochy (pro maximální hodnoty blíže zadní špičce lodi). Maximální napětí v tomto zatěžovacím stavu je 1,5 MPa.

Maximální okamžitá deformace vzniká při druhém zatěžovacím stavu a je 3,3 mm.

Vzhledem k zjednodušenému mode-

lu je uvažován součinitel bezpečnosti 2, zvolená betonová směs by tedy měla mít po 28 dnech minimální tahovou pevnost 3,4 MPa.

### Vyztužení

Kánoe je vyztužena třemi způsoby. Primární vyztuž tvoří síť, které mají za úkol zlepšit celkovou únosnost kánoe. Sekundární vyztužou jsou vlákna rozptýlená ve směsi, ta mají za úkol zlepšit vlastnosti samotné směsi. Poslední vyztuž jsou žebra rozmístěná po trupu kánoe.

### Výběr sítí

Pro výběr vhodné sítě byly vyrobeny zkušební vzorky s různými druhy materiálu. Zkoušení proběhlo ve dvou fá-

zích. Nejprve byly zkoušeny sítě pouze s cementovou maltou. Poté s již vylehčeným betonem.

Byly vybrány následující vyztužné sítě: dvě tkaniny z uhlíkových vláken, kdy každá má jinou texturu, jedna hustší (T1) a druhá jemnější (T2), tkanina z vláken čedičových a perlinka. Pro referenční hodnoty byl zhotoven trámeček pouze z prostého betonu o rozměrech 40 × 40 × 160 mm. Zkoušky měly ověřit soudržnost tkanin s betonem.

Vzorek s uhlíkovou sítí T2 dosáhl nejlepších výsledků, zároveň se však na trámečku rozevřela podélná trhlinka, která vznikla nespolečným působením sítě s betonem. Po získání těchto informací



6



7



8



9



10



11

bylo upuštěno od myšlenky uhlíkových sítí, resp. tkanin. Perlinka sice spolupůsobila s betonem dobře, ale nedosahovala požadovaných hodnot únosnosti. Proto bylo potřeba najít alternativu primární výztuže.

Byly zkoušeny další možnosti, buď síť SRG 174 ze skelných vláken (s velkými oky) nebo skleněné rohože Cem-Mat vyráběné firmou Sklocement Beneš. Oba výrobky jsou alkalivzdorné.

SRG síť díky přítomnosti velkých ok slibovaly dobré spolupůsobení s betonem. Velikost ok sítě je 28 × 28 mm a pevnost sítě v tahu je 60 kN/m.

Cem-Mat rohože jsou vyrobeny z 50 mm dlouhých alkalivzdorných skleněných vláken, které jsou náhodně

orientovány. Když se samotná rohož dostane do styku s vlhkostí, jednotlivé prameny vláken se od sebe uvolní, což umožňuje rohožím kopírovat i složitější tvary konstrukcí.

S ohledem na vlastnosti obou typů vláken bylo uvažováno i o možné kombinaci obou výztužných prvků.

Pro zkoušky byly vyrobeny tři trámečky rozměrů 15 × 95 × 160 mm z vylehčeného betonu ze stejné směsi. Rozměry byly zvoleny tak, aby tloušťka trámečku odpovídala předpokládané tloušťce kánoe a výsledky byly realističtější.

Výsledky ukázaly, že nejlepší je použití kombinace obou zkoušených sítí Cem-Mat a síť SRG.

### Výběr rozptýlených vláken

Při výběru vláken byl brán ohled na jednotlivé vlastnosti každého druhu vláken, jako jsou pevnost v tahu, modul pružnosti, tažnost, velikost vláken a jejich hustota. Zvolená vlákna by měla zvyšovat pevnost betonu v tahu, neměla by zvyšovat hmotnost kánoe a jejich velikost by měla být přizpůsobena tloušťce stěn (tab. 3).

PP vlákna nepřispívají k lepší zpracovatelnosti směsi, mají dobrou tažnost, ale relativně malou soudržnost s betonem a malý modul pružnosti, takže nepřispívají zvýšení pevnosti betonu.

Drátkobeton zvyšuje pevnost betonu v tahu za ohybu, rázu a houževnatost. Pro svou objemovou hmotnost a hor-





12



13



14



15

ší zpracování byla však ocelová vlákna pro náš případ nevhodná.

PVA vlákna působí podobně jako ocelová, ale díky přítomnosti OH skupin v jejich struktuře mají lepší soudržnost s betonem. Mají však menší modul pružnosti.

Skleněná vlákna působí podobně jako ocelová, mají menší modul pružnosti, větší tažnost a menší objemovou hmotnost. V porovnání s vlákny PVA mají větší objemovou hustotu, větší modul pružnosti, ale zaostávají v pevnosti v tahu a v tažnosti.

Pro naše účely by byla nevhodnější PVA vlákna, bohužel to není materiál dostupný na českém trhu.

Po porovnání těchto skutečností a s přihlédnutím k vlastnostem vláken (rozměry, modul pružnosti, tažnost, objemová hmotnost) byla vybrána skleněná vlákna ANTI – CRAK HP (high performance). Ve srovnání s ocelovými vlákny podle ohybové houževnatosti beton se skleněnými vlákny dosahuje po 28 dnech větších hodnot, při použití menšího množství vláken. Vybraná vlákna jsou zhotovena z alkalivzdorných skleněných vláken Cem – FIL, integrální prameny vláken mají nízkou délkovou hmotnost, a proto dosahují lepších výsledků než vlákna ocelová. Vlákna mají přibližně stejnou

objemovou hmotnost jako beton, proto neklesají ve směsi ke dnu ani nevyplavávají k povrchu.

Do výsledné betonové směsi byla použita vzhledem k tloušťce konstrukce vlákna o délce 6 až 12 mm a průměru 14  $\mu\text{m}$ .

#### Výztužná žebra

Předpokládá se, že v případě, kdy se kanoista opírá do boku lodi, vznikají v rohu konstrukce velká napětí. Proto byla použita čtyři výztužná žebra, rozmístěná po trupu kánoe. Byly uvažovány dvě varianty, žebra s přidanou výztuží, nebo pouze betonová. V případě použití žebel s výztuží by došlo k celkovému zvýšení hmotnosti lodi a v místech uložení výztuže by kánoe byla výrazně tužší než mimo ně, proto byla použita žebra bez výztuže ztužující loď pouze silnější vrstvou betonu.

#### NÁVRH SMĚSI

Cílem bylo dosáhnout takové směsi, aby se její objemová hmotnost co nejvíce blížila objemové hmotnosti vody a zároveň měla požadovanou pevnost. Pro co nejlehčí směs bylo použito lehčené kamenivo a pro dosažení větší pevnosti výsledného betonu cement o třídě pevnosti 52,5 R.

Do směsi byly přidávány tři přímě-

si, mikrosilika, latex a pigment, a jedna přísada – plastifikátor. Jako poslední byly do směsi přidávány skleněná vlákna a voda.

Byly vybrány dva druhy kameniva, duté skleněné mikrokuličky 3M jako nejjemnější frakce a Poraver jednotlivých frakcí s největší frakcí 4 mm.

Mikrokuličky 3M vyráběné ze sodno-boro-křemičitého skla, které je voděodolné a chemicky stabilní, svou nízkou hustotou pomáhaly snížit výslednou hmotnost lodi, zároveň jsou odolné tlaku a zabrání smršťování. Na kánoi byly použity nejjemnější frakce označené jako K1. Průměrná hustota těchto částic je 0,125  $\text{g}/\text{cm}^3$  a odolávají tlaku 1,7 MPa.

Poraver jsou skleněné kuličky z recyklovaného skla s jemnými vzduchovými póry. Byly použity frakce 0,25–0,5 mm (objemová hmotnost 340  $\pm$  30  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; pevnost v tlaku 2,6  $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 0,5–1 mm (270  $\pm$  30  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 2  $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 1–2 mm (230  $\pm$  30  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 1,6  $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 2–4 mm (190  $\pm$  20  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 1,4  $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Kuličky mají pH 9 až 12 a bod měknutí okolo 700  $^{\circ}\text{C}$ .

Byl vybrán bílý portlandský cement s třídou pevnosti 52,5 a rychlým nárůstem pevnosti. Jeho objemová hmotnost byla 3 150  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Cement dosahoval po jednom dni pevnos-



16



17



18a



18b

ti  $21 \pm 3$  MPa, po dvou dnech  $38 \pm 4$  MPa, po 7 dnech  $61 \pm 6$  MPa a po 28 dnech  $74 \pm 4$  MPa.

Jako mikrosilika byl vybrán Sika-Cem 810, vodnatá, reaktivní, syntetická disperze na bázi polymerů s reaktivním oxidem křemičitým. Reaguje při tvrdnutí cementu s volným vápnem, při vytvoření přídavných krystalů cementu. Výhodami jejího použití jsou: zlepšení zpracovatelnosti, zvýšení pevnosti, přilnavosti a vodotěsnosti. Hustota je  $1,12$  kg/l a pH  $8,5 \pm 1$ .

Latex byl vybrán pro jeho vlastnosti, tj. odolnost proti vodě, přilnavost mezi starým a nově naneseným betonem a zlepšení mechanických vlastností, zvláště pevnosti v ohybu. Sika Latex má hustotu  $1,05$  kg/l.

Pro zbarvení betonu byl použit pigment REBacolor-Pro Design modrý, který je vysoce koncentrovaný, odolný proti povětrnostním vlivům a má vysokou barevnou vydatnost. Doporučená dávka byla 3 až 6 % z obsahu pojiva, podle požadované sytosti barvy. Nevýhodou pigmentu je, že snižuje výslednou pevnost betonu až o 10 % vzhledem ke stejné směsi bez pigmentu.

Plastifikátor byl přidáván do směsi pro zlepšení zpracovatelnosti a možnosti snížení vodního součinitele. Byl po-

Obr. 12 Položení lodi na pracovní plošinu ■ Fig. 12 Canoe being lowered with the work desk

Obr. 13 Vnitřek kánoe po odbednění ■ Fig. 13 Inside surface of the canoe after the formwork removal

Obr. 14 První zkouška s posádkou ■ Fig. 14 First test on the water

Obr. 15 Nátěr voskem ■ Fig. 15 Applying wax on the surface

Obr. 16 Nošení kánoe na popruzích ■ Fig. 16 Canoe being transported with straps

Obr. 17 Bedna na přepravu kánoe ■ Fig. 17 A transport box for canoe

Obr. 18 Konkurenční lodě, a), b) ■ Fig. 18 Canoes of other universities, a), b)

užit kapalný superplastifikátor Sika ViscoCrete-1035 s hustotou  $1,07$  g/cm<sup>3</sup>.

Z uvedených složek bylo postupně namícháno deset různých směsí (tabulka 4.2). Pro zlepšení mechanických vlastností a omezení trhlin byla do směsi přimíchána skleněná vlákna. Pro zjištění optimálního dávkování bylo namícháno několik směsí a porovnána jejich zpracovatelnost a pevnost.

Z uvedených směsí byly vyrobeny zkušební trámečky rozměrů,  $40 \times 40 \times 160$  mm (označován jako T1) a  $15 \times 45 \times 160$  mm (označován jako T2 – korespondují s předpokládanou tloušťkou konstrukce lodi). Všechny rozměry jsou přibližné, každý trámeček byl přeměřen a pro výpočet hustoty a napětí byly uvažovány jeho skutečné rozměry.

Stejně jako u zkoušek výztužných sítí byly výpočítány maximální momenty a maximální napětí. Vzorky byly zkoušeny v ohybu a tlaku. Tlaková zkouška

byla provedena na obou kusech zloženého trámečku, výsledné hodnoty byly zprůměrovány.

Pro konstrukci lodi byly vybrány čtyři směsi, tři jsou použity na vrstvy po 5 mm a čtvrtá na výztužná žebra. S ohledem na objemovou hmotnost a výsledné maximální síly při porušení jednotlivých vzorků byly jako základní vybrány dvě směsi: směs č. 4 jako prostřední vrstva obsahující největší frakci kameniva a směs č. 8 do vrstev ostatních. Vybrané směsi byly ještě upravovány v závislosti na tom, do které vrstvy byly použity. Vrstva vnější byla ze směsi 8. Vrstva vnitřní (směs č. 8) obsahovala navíc modrý pigment. Do směsi pro žebra (směs č. 8) bylo přidáno větší množství vláken. Kánoe byla uvnitř modrá a vně bílá (Značení směsí vychází ze značení použitého v bakalářské práci).

Do směsi č. 4 bylo použito 5 g vlá-





19a



19b



19c



19d



19e



20

Obr. 19 Naše loď při závodech na kanálu v Utrechtu, a) finále žen na 100 m – zlatá medaile, b) závod žen na 200 m, otočka – bronzová medaile, c) závod mužů na 400 m – stříbrná medaile, d), e) atmosféra finálových jízd v centru města ■ Fig. 19 Blue Lion canoe during the race in Utrecht, a) 100 m final race in women category – first place, b) 200 m race in women category (turnaround) – third place, c) 400 m final race in men category – second place, d), e) atmosphere during final race in the centre of Utrecht

Obr. 20 Ceny pro Blue Lion ■ Fig. 20 Prizes won by CTU at Betonkanorace 2010 in Utrecht, Netherlands

ken. Pro zjištění vlivu vláken na výslednou dosaženou maximální sílu při porušení a zároveň na zpracovatelnost byly vyrobeny další dva trámečky s 10 a 20 g vláken. Vzorek ze směsi 4 s 5 g vláken byl porušen maximální silou 1 540 N, při 10 g vláken se síla zvýšila pouze na 1 590 N. Velký rozdíl v síle nastal u směsi s 20 g vláken, maximální síla při porušení vzorku dosáhla hodnoty 2 600 N. Tato směs byla výrazně hůře zpracovatelná.

Poslední dvě směsi byly namíchaný pro zkoušku rozdílu zpracovatelnosti při obsahu 12 a 20 g vláken a pro porovnání barevnosti s větším množstvím pigmentu. Směs s 12 g vláken byla ještě poměrně dobře zpracovatelná a zároveň měla požadovanou výslednou pevnost, proto byla do konečné směsi použita tato gramáž vláken. Na směs do konstrukce žebér nebyl kladen tak velký požadavek na zpracovatelnost a zároveň bylo potřeba, aby žebra měla velkou pevnost, proto bylo do této směsi použito 20 g vláken. Rozdíl barevnosti při použití 15 a 20 g pigmentu byl jen minimální. S přihlédnutím k tomu, že pigment může snížit výslednou pevnost betonu, bylo rozhodnuto použít 15 g pigmentu, tj. 4,69 % z obsahu pojiva.

### REALIZACE KÁNOE

Pro vyzkoušení postupu prací a vlastností materiálů byl zkonstruován model kánoe v měřítku 1:4. Na něm bylo vyzkoušeno, jak se skutečně chovají materiály vybrané na stavbu kánoe, zda je možno je brousit, slepit a čím nejlépe, jak která směs bude stékat, jakým způsobem materiály na bedněni nanášet, jak pokládat výztužné síť a také, jak kánoi odbednit. Zásadní otázkou byla volba separační vrstvy. Byl vybrán Lukopren N 1725, který se však při zpracování velmi táhne a rychle tuhne. Bylo ho tedy třeba míchat po menších dávkách (jedná se o dvousložkový kaučuk) a nanášet vrstvy na sebe. Lukopren sice lze brousit a vyhladit tak nedostatky vzniklé při nanášení, ale pro odbednění je zbroušená plocha problémem – od ní se beton odděluje jen těžko.

Beton byl na připravené „kopyto“ nanášen ručně s přesným dodržováním tloušťek jednotlivých vrstev. Pro vyzkou-

šení nanášení sítí byla na modelu použita pouze jedna vrstva sítě Cem Mat. Síť byla poměrně hustá, proto byla pro její lepší zapracování do vrstev betonu vhodnější řidší směs. Na model byla nanášena jedna síť v celku, v obličejích tvarech byla nastřížena a přeložena do požadovaného tvaru. Na velkou formu bylo potřeba síť předem připravit a nanášet po jednotlivých kusech.

Po uplynutí několika dní byla forma odbedněna, nejprve byl vyloupán polystyrén, odstraněna sádra a poté separační vrstva. Potvrdilo se, že broušení jemným smirkovým papírem jde dobře a povrchovou vrstvu zahladí.

Pro výrobu formy jsou dvě základní možnosti. Forma vnitřní – tzv. kopyto, na kterou se jednotlivé vrstvy nanášejí nebo forma vnější, kde se beton nanáší dovnitř. Byla zvolena první varianta formy pro snadnější nanášení. Její nevýhodou je, že při betonáži beton stéká do dolních částí, tedy okrajů lodi a může vzniknout oslabení průřezu v rozích. Naopak u formy vnější by případně stekl beton do rohů.

Nejprve byla přitlučením OSB desek na dva dlouhé trámy zkonstruována pracovní rovina pro celou loď a na ni připevněn půdorysný výkres lodi, tím byly vytvořeny její okraje. Z tenkých dřevěných desek byly vyřezány a na vybraná místa upevněny kontrolní průřezy tvaru lodi a mezi ně byly vkládány jednotlivé průřezy z polystyrenu. Polystyrenové průřezy nejsou přesné (ve všech místech jsou menší), proto byla následně na celý povrch formy nanášena sádra. Ta byla vytvářena pomocí latí přikládaných na kontrolní průřezy. Případné nedostatky sádrové formy (výčnělky vyčnívající z požadovaného profilu) byly zbrušeny.

Pro příčná ztužující žebra byly po určitých vzdálenostech vyhloubeny do formy drážky k vyplnění betonem. Přípravu formy ukončila separační vrstva Lukoprenu.

Před betonáží byly nastříhány a připraveny výztužné sítě. Pro dodržení tloušťky jednotlivých vrstev (po 5 mm) byly použity kabely o průměru 5 mm přibité v krátkých odstupech na formu. Beton byl na „kopyto“ nanášen ručně a jeho vrstva byla do požadované tloušťky vyhlazována válečkem o délce větší než vzdálenost mezi distančními kabely. Po uhlazení první vrstvy byly kabely odstraněny, prázdná místa po nich dobetonována a pokládány vrstvy sítí. Nejdříve síť Cem-Mat, která byla do betonu zahlazena. Jako druhá

byla položena síť SRG. Protože se obtížně tvaruje, bylo potřeba ji na některých místech přibít. Poté byly na povrch opět uchyceny distanční kabely, nanášena další vrstva a stejně kladeny sítě. Celkem byly vybetonovány tři vrstvy skořepiny lodi, mezi nimiž jsou dvě vrstvy sítí, a vnitřní žebra.

Celkem bylo namícháno třicet tři dávek o objemu jedné míchačky směsi na skořepinu lodi a šest dávek směsi na žebra.

Po dobetonování byla loď přikryta igelitem a po dobu osmi dní vlhčena.

Po deseti dnech byla loď odbedněna a celý povrch lodi jak vnitřní, tak vnější byl zbrušován.

Na vnější stranu lodi byly přes papírovou šablonu nanášeny modré nápisy s názvem školy a lodi. Startovní číslo je na kánoi nasprejováno černě. Po zaschnutí nápisů byla celá loď natřena voskem určeným na kámen a beton, který zlepšil voděodolnost kánoe i její vzhled.

Pro vyzkoušení vlastností na vodě byla kánoe přenesena do vodohospodářské laboratoře a ve vodním korytě odzkoušena. Ponor lodi se dvěma osobami odpovídal přibližně ponoru předpokládanému.

Přenášení kánoe bylo vyzkoušeno dvěma způsoby, nošení na popruzích (čtyři nosiči) nebo nošení ve více lidech ručně. Druhá varianta se ukázala jako výhodnější.

Přeprava kánoe byla zajištěna ve velké bedně (délky 6 m, šířky 1 m a výšky 0,8 m) z OSB desek. Bedna byla vystlána polystyrénem, pilinami a molitany, do nichž byla kánoe uložena a zajištěna proti pohybu.

## ZÁVĚR

Vzhledem k vkládání sítí do konstrukce lodi je výsledná tloušťka 17 mm, tj. větší než předpokládaná. Výška kánoe je nepřesnostmi při výrobě kontrolních průřezů místo 350 mm 360 mm. I délka lodi je o něco větší než předpokládaná, protože špičky byly dodělávány ručně. Její celková hmotnost je 135 kg.

Právě hmotnost se ukázala jako největší handicap během soutěže. Ostatní lodi vážily v průměru okolo 50 kg. To bylo velmi znát při startu, kdy se ostatní rychle rozjely, a naše loď byla pomalejší. Naopak výhodou byla její velká tuhost, lepší manévrovatelnost a stabilita. Lehké lodě byly velmi náchylné ke změně směru v okamžiku, kdy jeden ze závodníků vyvinul větší sílu v záběru. Hodně konkurenčních lodí bylo o poznání víc

## Literatura:

- [1] *Colleparidi M.*: Moderní beton, Praha ČKAIT, 2009
- [2] *Pytlík P.*: Technologie betonu, Brno, VUT v Brně, 1997
- [3] *Kolisko J.*: Vliv krátkých všesměrně rozptýlených polypropylénových mikro a mikrovláken na vlastnosti cementových malt a betonů, Habilitační přednáška, Praha, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2008
- [4] <http://www.sklocement.cz>
- [5] <http://www.msdo.cz>
- [6] *Trtík K.*: Technologie betonu, Praha, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2009
- [7] *Margoldová J.*: Barevný, ne jen šedý beton, Beton TSK 1/2010, str. 32-36
- [8] <http://concretecanoe.org/>
- [9] <http://www.betonkanorace2010.nl/>
- [10] <http://www.sgtf.com/>
- [11] <http://www.sika.cz/>
- [12] <http://poraver.com/>
- [13] <http://www.3m.com/>
- [14] <http://www.remei.com/>

vratkých. Drobným nedostatkem naší lodi byl tvar její špičky, která není ostrá a hůře rozráží vodu.

V závodech jsme vybojovali jednu zlatou medaili (100 m ženy), dvě stříbrné medaile (200 a 400 m muži) a dvě bronzové medaile (100 m mix a 200 m ženy).

Kánoe byla nominována i do soutěže o nejlepší design a konstrukci, kde se umístila na druhém místě.

## Doporučení k vylepšení do dalších ročníků závodů

Při výrobě kánoe je potřeba snížit celkovou hmotnost lodi, přibližně na 80 kg, aby neztratila dobré vlastnosti, které se ve větší hmotnosti skrývají, a přitom byla schopná lépe konkurovat lehčím lodím.

Vylepšit tvar lodi – může být o něco nižší a mít ostřejší špičku. Zkusit namíchat další varianty směsí a postupně je vyzkoušet.

Bc. Dagmar Malá  
dasa.mala@volny.cz



Bc. Jan Kratochvíl  
jan.kratochvil@gmail.com



oba: Stavební fakulta ČVUT v Praze

Autoři děkují za podporu prezentované práce Katedře betonových a zděných konstrukcí a Experimentálnímu centru na Stavební fakultě ČVUT v Praze, jmenovitě Doc. Ing. Štemberkovi, Ph.D., a Ing. Reitermanovi.