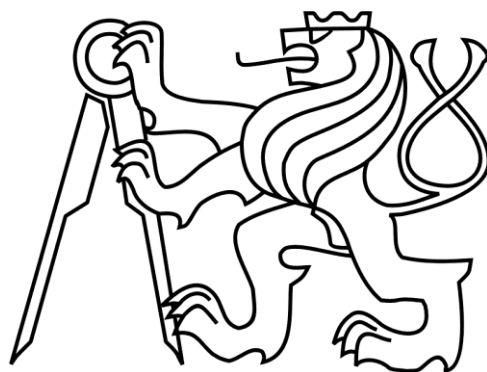


# České vysoké učení technické v Praze

## Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Diplomová práce

Rok: 2018

Jméno: Bc. Štěpán Šonka



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šonka	Jméno: Štěpán	Osobní číslo: 410807
Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí - K133		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh technologie výroby pro betonové kanoe	
Název diplomové práce anglicky: Production technology for concrete canoes	
Pokyny pro vypracování: <ul style="list-style-type: none"><li>- návrh tvaru kanoe</li><li>- návrh bednění a postupu výroby s ohledem na odbedňování a možnost opakovaného použití bednění</li><li>- návrh betonové směsi - výběr plniva, experimentální ověřování vlastností navržené směsi</li><li>- časový harmonogram postupu výroby kanoe</li></ul>	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 1.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucí práce Ing. Michaely Frantové, Ph.D. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

## Poděkování

V první řadě bych rád jmenovitě poděkoval celému týmu katedry na Fakultě stavební, který se na této diplomové práci podílel a bez kterých by tato práce nikdy nevznikla.

Děkuji:

Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za odborné rady a pomoc během vypracování této práce.

Doc. Ing. Petru Štemberkovi, Ph.D. za nasazení pro realizaci betonové kánoe a konzultace.

Ing. Martinu Petříkovi, Ph.D. za poskytnutí rad, náradí a prostoru k práci.

Bc. Denise Kavanové za pomoc při provedení statické analýzy v programu Scia Engineer.

Ing. Vojtěchu Zachardovi, Ing. Jiří Němečkovi, Ing. Jakubu Žákovi a Mgr. Yulii Khmurovské za poskytnutí zkušeností z předchozích realizací, rady technické i technologické.

Dále bych rád jmenovitě poděkoval za rady z jiných oborů.

Děkuji:

Prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi, DrSc. za odborné rady z oblasti profesionální kanoistiky a umožnění zaměření závodní kánoe.

Panu Jiřímu Šindelářovi z loděnice Sparty Praha za zapůjčení závodní kánoe.

Prof. Ing. Martinu Štronerovi, Ph.D. a Ing. Jaroslavu Braunovi, Ph.D. za odbornou pomoc při naplánování a zaměření závodní kánoe.

Za materiální podporu bych rád poděkoval:

Kláře Zdražilové - BASF Stavební hmoty Česká Česká republika s.r.o,

Michalu Doubravovi - Sain-Gobain Adfors CZ s.r.o.

Petru Beránkovi - Silo Transport, a.s.

Anně Sicinské - Poraver Service GmbH & Co. KG

Pavlu Hankovi - Radka s.r.o. partner of Poraver Service GmbH & Co. KG



Dále pak děkuji Ing. Josefu Fládřovi, Ph.D., Ing. Vladislavu Horáčkovi, Ing. Jiřímu Koukalovi, Bc. Jiřímu Polehlovi a paní Eleanoře Čarné za nezištnou technickou podporu na projektu betonové kánoe.

Závěrem děkuji svým rodičům za neustálou podporu a úsilí, které do mého studia na ČVUT vložili. Děkuji jim za jejich toleranci vůči mým, někdy nevydařeným nápadům a za to, že bez výhrad mi byli vždy pevnou oporou. Děkuji jim za to, že pokaždé, když přijedu domů s těžkou hlavou, byť i s maličkostí, mě vždy podpoří a dodají mi sílu jít dál. Děkuji jim také za to, že mě nechají jít vlastní cestou i přes to, že to pro ně někdy není lehké. Také jim děkuji za jejich trpělivost, se kterou ke mně přistupovali celý život a také za jejich finanční podporu, bez které bych nikdy studovat na ČVUT nemohl.

# Návrh technologie výroby pro betonové kánoe

Production technology for concrete canoes

## Abstrakt

Cílem této diplomové práce je komplexní návrh betonové kánoe se zaměřením na technologický postup jejího zhotovení. Stavba betonových kánoí je nástrojem pro měření inženýrských i praktických schopností studentů stavebních fakult po celém světě.

Pro úspěšný návrh byla provedena rešerše vystavěných kánoí v posledních letech. Na základě získaných informací byly stanoveny atributy, které má kánoe splnit pro to, aby byla schopna obstát v konkurenci. Pro výrobu kánoí byla zaměřena profesionální závodní loď, jejíž rozměry byly upraveny tak, aby co nejlépe vyhovovaly potřebám závodu, manipulace a přepravy. Následně byla provedena statická analýza konstrukce.

Úspěšně navržena a vyzkoušena byla vylehčená směs pro cementový kompozit lodi. Proveden byl návrh vyztužení směsi rozptýlenou výztuží z PVA vláken a také skelnou textilií. Zhotoven byl poté technologický postup výroby pro bednění, které se skládá ze dvou hlavních částí s užitou rozdílnou technologií. Veškeré navržené bednění je opakovatelné a lze díky tomu dosáhnout sériové výroby betonových kánoí. Tyto díly byly navrženy dále dělitelné pro lepší manipulaci, jak při přepravě, tak i při práci. Následně byl sestaven plán betonáží, každá loď je betonovaná ve dvou záběrech. V rámci diplomové jsou uvedeny i harmonogramy prací a prezentována fotodokumentace úvodní fáze realizace kánoe.

**Klíčová slova:** *bednění, beton, betonová kánoe, rozptýlená výztuž, lehký beton, tenké konstrukce, opakovatelnost forem*

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is the complex design of a concrete canoe including the technological process of its construction. The construction of concrete canoes is a tool for measuring the engineering and practical abilities of civil engineering faculties students around the whole world.

For the successful design, a research for concrete canoes has been carried out. On the basis of the information obtained, the attributes to be met by the canoe have been set in order to be able to compete with other concrete canoes. For the production of a canoe, a professional racing boat was geodetically surveyed, the dimensions of which were adjusted to fit the needs of the race, handling and transport. Subsequently, a static analysis of the structure was carried out

A lightweight mixture of concrete was successfully designed. Also, the design of the reinforcement of the mixture was carried out by diffused reinforcement of PVA fibres as well as glass fabrics. A production process for shuttering has also been made, consisting of two main parts with different technology. All designed formworks are reusable and can be used for mass production of concrete canoes. The parts of formwork were designed to be further divisible for better handling both during transport and during production. Subsequently, a concreting plan was designed, each boat being concreted in two shots. Furthermore, the work during the formwork was documented. Time schedules for production are presented in the thesis. Additionally, initial production steps are photo-documented.

**Keywords:** formwork, concrete, concrete canoe, diffused reinforcement, lightweight concrete, thin construction, repeatability of formwork

# Obsah

<b>Abstrakt</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíle práce</b> .....	<b>11</b>
<b>3 Tvar kánoe</b> .....	<b>12</b>
3.1 Volba tvaru kánoe .....	12
3.2 Rozměry kánoe .....	15
3.3 Statická analýza .....	16
<b>4 Materiál pro výrobu betonové kánoe</b> .....	<b>20</b>
4.1 Betonová směs .....	21
4.2 Povolená výztuž .....	24
4.3 Návrh kompozitu .....	26
4.4 Ohybové zkoušky trámů a destiček .....	30
4.5 Vyhodnocení experimentálního ověření výsledného kompozitu .....	33
<b>5 Návrh technologie výroby</b> .....	<b>34</b>
5.1 Postup výroby bednění .....	35
5.1.1 Bednění 1. záběru .....	35
5.1.2 Bednění 2. záběru .....	42
5.2 Betonáž a odbednění 1. záběru .....	43
5.3 Betonáž a odbednění 2. záběru .....	45
5.4 Úprava povrchu lodi .....	48
<b>6 Realizace</b> .....	<b>49</b>
6.1 Harmonogram prací .....	49
6.2 Dokumentace realizace .....	53
<b>7 Závěr</b> .....	<b>59</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>60</b>
<b>Přílohy</b> .....	<b>62</b>
7.1 Příloha č.1 - Pravidla Betonkenu Kupa .....	63
7.2 Příloha č.2 – Výsledky statické analýzy v programu .....	67
7.3 Příloha č. 3 – Výkresová dokumentace .....	71
7.4 Příloha č.4 – Fotodokumentace .....	75

# 1 Úvod

Beton jako materiál pro plavidla byl poprvé prokazatelně použit okolo roku 1848 ve Francii. Byl to malý člun pana Lambota. K většímu užití betonu v konstrukcích lodí došlo během obou světových válek, kdy vlivem nedostatku oceli byl železobeton vhodnou a dostupnější náhradou. Betonové čluny tak například podpořily vylodění v Normandii, kde byly využity zejména pro přepravu munice a paliva. V dnešní době jsou betonová plavidla privilegiem nadšenců a také technických univerzit po celém světě. Pro průmyslovou výrobu již plavidla vyrobená na bázi cementových pojiv nemají ekonomickou výhodu, jako tomu bylo ve válečném období. [1]



Obrázek 1: Vrak betonového člunu z 2. světové války, Anglie [2]

Soutěže betonových kánoí se konají již několik desítek let a poprvé tomu tak bylo v roce 1971 v USA, od té doby se rozšířily do celého světa. Katedra betonových a zděných konstrukcí na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze se poprvé účastnila Betonkanorace v roce 2010 v Utrechtu s velkým úspěchem. Tým ČVUT si se svou lodí Blue Lion odvezl hned pět medailí a ocenění za technický návrh kánoe. V celkovém pořadí pak obsadil druhé místo za univerzitou z Twentu, která se závodů účastnila tou dobou již pravidelně a obsazovala obvykle přední příčky. Loď Blue Lion byla vyrobena z probarvovaného betonu bílé a modré barvy, tedy v barvách ČVUT. Beton byl vyztužen skelnou sítí, netkanou skelnou textilií, a navíc byla přidána do směsi skelná vlákna. Výsledná hmotnost lodi byla 134 kg. To jí dávalo výhodu při případných kolizích během závodu, nicméně snižovalo to manévrovatelnost. [3][4]



Obrázek 2: Kánoe Blue Lion [4]

Druhou kánoí reprezentující fakultu stavební byla loď Stingray. Ta v roce 2014 reprezentovala úspěšně ČVUT na závodech v Almeu v Nizozemí a také v Budapešti v roce 2017 na závodě Betonkenu Kupa. Tvar kánoe Stingray byl upraven pro použití lodi. Loď měla výrazný kýl, který pomáhal držet směr během plavby. Betonová směs byla také vyztužena pomocí skelných vláken. Loď byla také dodatečně předpjata ocelovými lanky umístěnými ve vnitřní části kánoe, na podlaze lodi. Předpětí betonové kánoe bylo použito v ČR poprvé. [5][6]



Obrázek 3: Kánoe Stingray [5]

Soutěže kánoí jsou nejpobulárnější v USA, dokazuje to velký počet univerzit, které se do soutěží zapojují. Proto se pro hlavní soutěž konají kvalifikační kola. Akron university Ohio se účastnila letošního ročníku americké soutěže, která je již tradičně pod záštitou American society of civil engineers s lodí Wright way. S tou vyhrála lokální kolo Ohio valley student conference a postoupila do finále celé soutěže ve státě



Colorado. Loď pojmenovaná podle bratřích Wrightů je 6 metrů dlouhá a váží necelých 90 kilogramů. Loď je vyztužená čedičovou síťovinou a několika ocelovými kabely. Zajímavostí je, že jako pojivo je použit fotokatalytický cement, který přeměňuje atmosférické oxidy dusíku na soli kyseliny dusičné. Dále pak 20 % pojiva bylo nahrazeno jinými pucolánově aktivními látkami. [7][8]



Obrázek 4: Tým Akron university [8]

Po seznámení s odvážnou historií betonových plavidel, kdy se staly součástí válečných dějin, a jejich akademickou současností, kdy si díky nim poměří své schopnosti studenti celého světa, jsem byl připraven zhostit se výzvy navrhnout loď vlastní.



## 2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout technologie výroby 3. generace kánoí pro katedru betonových konstrukcí FSv na ČVUT v Praze. Aby loď splnila očekávání, musí vyhovět následujícím požadavkům.

- Loď vyhovující pravidlům soutěže
- Snížení hmotnost lodi na minimum
- Docílení opakovatelnosti bednění

Zhotovení lodi se řídí v první řadě pravidly soutěže, pro kterou je loď vyráběna. Pro závod v Budapešti v roce 2018 je stanoveno, že délka lodi má být v rozmezí 4 až 6 metrů a šířka je povolena v rozmezí 0,6 až 1,0 metru. Dalším kritickým parametrem je použití pouze tvarově netuhé výztuže. Kompletní znění pravidel je v příloze 1 této diplomové práce. [9]

Hmotnost lodi určuje celkové chování na vodě. Čím je loď lehčí, tím je obratnější. Celková hmotnost ovlivňuje spolu s tvarem ponor lodi. Velký ponor znamená velký odpor vody a schopnost zrychlit na startovní čáře je tím značně omezena. Nejde však jen o vlastnosti lodi během závodu, ale také o otázku výroby a manipulace. Loď musí být tvarově uzpůsobena pro převoz, bednění musí vyhovovat potřebám výroby.

Lodě Blue Lion a Stingray byly vyráběny na formách, které byly během odbednění zničeny. V současnosti je naplánována výroba celkem 3 lodí a výroba bednění pro každou zvlášť by byla pracná a ekonomicky náročná. Obrátkovost bednění zajistí úsporu materiálu i času, přináší ale dosud neřešený úkol výroby vyhovující formy. Forma může být například rozebíratelná, čímž je docíleno výrazně snazší manipulace. Bednění se může přepravovat i osobním automobilem a v extrémním případě může být výhodnější loď zhotovit až na místě určení. [3][4]

### 3 Tvar kánoe

Pro potřebu jednotlivých univerzit lze na webu ASCE získat poklady v podobě souřadnic pro zhotovení kánoe. Tento tvar ale neodpovídá požadavkům kladeným na závodní plavidlo. Pro současnou tvrdou konkurenci a v rámci zdravé soutěživosti bylo rozhodnuto se veřejně dostupnému tvaru lodi vyhnout a jít cestou zhotovení kánoe dle závodní předlohy. Soutěž betonových kánoí se bude konat na zcela rovném úseku řeky a rozhodujícím faktorem bude bez pochyb rychlost lodi. [7]

#### 3.1 Volba tvaru kánoe

Předlohou je závodní loď kategorie C4. Jedná se o čtyř-kánoi, která je specifikována v pravidlech kanoistiky následovně (Tabulka 1). Idea zaměření lodi o třídu delší, nežli je finální požadovaná délka, vznikla po konzultaci s panem prof. Ing. Jaroslavem Pollertem, DrSc., který se mimo jiné podílí na výstavbě kanálů divoké vody pro olympijské hry. Na jeho doporučení byla zaměřena delší loď a následně v měřítku zkrácena na finální délku 4,8 m při zachování rozměrů jednotlivých průřezů. Důvod byl prostý. Při zaměření lodě typu C2 bychom získali pro neprofesionální kanoisty neúměrně vratkou loď a obsluhovat takové plavidlo by bylo pro obyčejné smrtelníky nemožné. Šířka a potažmo stabilita lodí spadající do kategorie C4 je větší a je tedy pro nás vhodnější. [10]

Lod'	Délka max.	Délka nezakryté části lodě min.	Hmotnost pro krátké a dlouhé tratě min.	Hmotnost pro maratón min.	Šířka bortů max.	Počet příček v lodi Max.	Šířka příček v lodi max.
C1 kánoe jednotlivců	520 cm	280 cm	14 kg	10 kg	5 cm	3	7
C2 kánoe dvojic	650 cm	280 cm	20 kg	14 kg	5 cm	3	7
<b>C4 čtyřkánoe</b>	<b>900 cm</b>	<b>390 cm</b>	<b>30 kg</b>	<b>30 kg</b>	<b>6 cm</b>	<b>4</b>	<b>7</b>
MC1 minikánoe	420 cm	230 cm	10 kg	-	-	-	-

Tabulka 1: specifikace závodních kánoí [9]

#### Zaměření lodi

Pro maximální možné dodržení tvaru bylo nutné loď vhodným způsobem zaměřit. Proto byli osloveni Prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D. a Ing. Jaroslav Braun, Ph.D. z katedry speciální geodézie, se kterou bylo zaměření konzultováno. Požadavky na měření byly následující. Jako dostačující přesnost byla stanovena hodnota  $\pm 2,0$  mm.

Větší přesnost by vzhledem k další práci na bednění lodi postrádala logiku, neboť výroba bednění bude realizována ručně a maximální odchylky budou jistě také v jednotkách milimetrů. Jako výstup měření byly požadovány jednotlivé řezy po délce lodi, body osy kýlu, ohyby špice a zádi, zaměření rozsahu kapotáže a polohy bortů.

Po předložení požadavků na měření se zvažovaly tři varianty zaměření. Fotografické zmapování objektu a následné dopočtení souřadnic označených bodů, 3-D skenování lodi a následné zpracování mračna bodů a zaměření zvolených bodů totální stanicí. Nakonec se jako nejlepší metoda pro danou problematiku zvolilo měření totální stanicí.



Obrázek 5: Stabilizovaná kánoe kategorie C4

Zaměřovaná kánoe (Obrázek 5) je dokována v loděnici Sparty Praha v Braníku. Díky panu profesoru Pollertovi a panu Šindelářovi nám bylo umožněno si loď na odpoledne zapůjčit a realizovat kompletní měření.

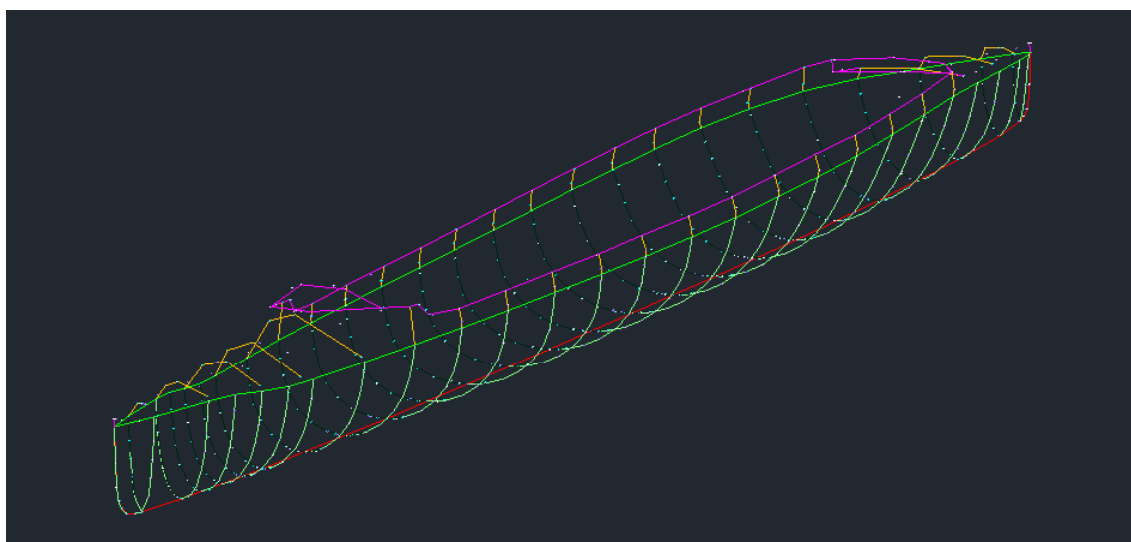
Měření bylo provedeno pod vedením Ing. Jaroslav Brauna, Ph.D. Nejprve byly na kánoi rozměřeny řezy (Obrázek 6), ve kterých dojde k měření. Řezy byly u špice a zádi vzdáleny 20 cm po mezilehlé délce pak po 40 cm. Zaměřována byla podélná polovina objektu a celek byl dosáhnout následným zrcadlením naměřených bodů. Po hraně řezu byly měřeny body po 5 cm. Před samotným měřením byl objekt zafixován do polohy, při které bylo minimalizováno riziko vnesení chyby vlivem změny polohy kánoe během měření a bylo současně umožněno zaměřit všechny požadované body tak, aby bylo možné paprskem spatřit hranol na měřicím hrotu. Zaměření bodů pod pomyslnou maximální čarou ponoru bylo měřeno v obou polohách totální stanice a výsledné souřadnice byly vypočteny průměrováním obou měření. Tím bylo docíleno

zvýšené přesnosti. Body kapoty a obecně body, které jsou nad touto linií, byly měřeny pouze v jedné poloze s tím, že taková přesnost měření je pro tyto body postačující, neboť přímo neovlivňují chování lodi na vodě.



Obrázek 6: Rozvržení měřených bodů

Na konci měření byla provedena kontrola prvních několika bodů a bylo konstatováno, že měřený objekt během měření nezměnil polohu a tím je měření provedeno řádně. Zpracováním měřených bodů vznikl čárový model lodi (Obrázek 7).



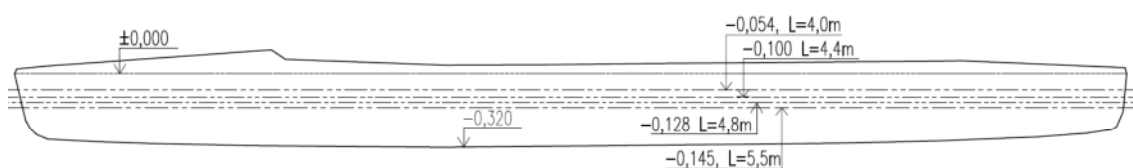
Obrázek 7: Čárový model zaměřené kánoe

### 3.2 Rozměry kánoe

Zaměřená data bylo nutno upravit tak, aby výsledná délka lodi byla v mezích danými pravidly závodu. Snaha byla udělat loď kratší než 5 m. Důvodem byla zejména schopnost s lodí dobře manipulovat, a to jak při výrobě a dopravě, tak i při samotné soutěži. Pracnost, která s délkou lodi roste, je také významný atribut. Oproti tomuto se zkracováním délky zvětšuje ponor. Výtlak lodi i její hmotnost se sice zmenšují ruku v ruce, nicméně zatížení v podobě dvou pádlujících osob je přítomné vždy a získává na dominanci se snižující se délkou lodi. Jako optimální délka byla zvolena délka 4,8 m. Pro takto dlouhou kánoi je očekávaný ponor jen o 17 mm větší, než je tomu u kánoe délky 5,5 m. Rozdíl v délce je ale značný. U ještě kratších lodí je délka vykoupena dalším výraznějším nárůstem ponoru. Očekávané čáry ponoru jsou patrné z obrázku 8 a tabulky 2, kde jsou navíc uvedeny i další parametry.

délka [m]	váha [kg]	výtlak [kg]	ponor [cm]
5,5	85,7	518,5	17,5
4,8	74,8	452,5	19,2
4,4	59,8	362,0	22,2
4,0	43,1	260,6	26,6

Tabulka 2: Parametry lodí různých délek



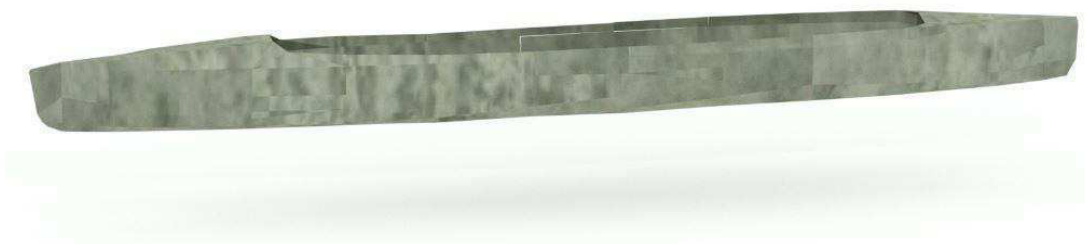
Obrázek 8: Vyznačené čáry ponoru pro jednotlivé délky

Výsledný tvar lodi je patrný z obrázku č. 9. Rozsah kapotáže se shoduje se zaměřenou předlohou, nicméně vzhledem k realizaci byla některá oblá zakřivení vrchní části lodi zjednodušena, jak je patrné z řezu A-A' a B-B'.

Obrázek 9: Tvar kánoe

### 3.3 Statická analýza

Statická analýza byla provedena pomocí softwarů užívajících výpočet dle konečných prvků. Výpočet byl proveden v programu Scia engineer a Dlubal RFEM. Byl vytvořen model lodi podle souřadnic získaných transformací zaměřených bodů čtyř-kánoe, tento model byl pak podroben statické analýze. (Obrázek 10)



Obrázek 10: Model lodi v programu AutoCad

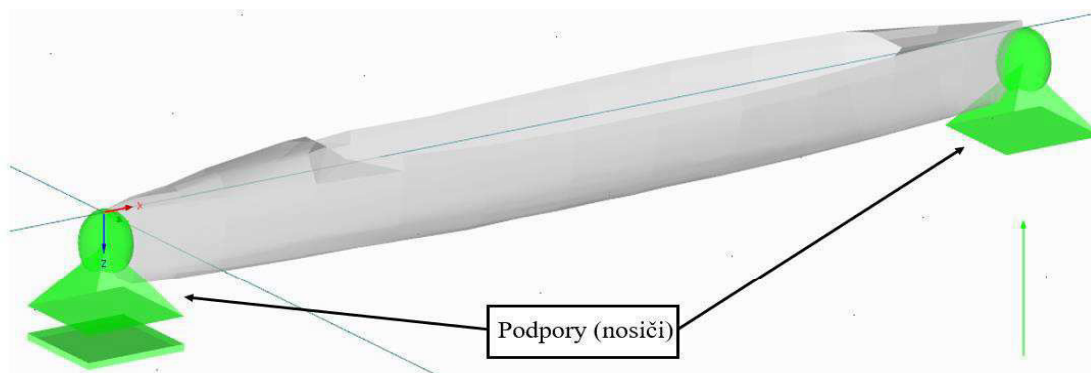
Zatěžovací stavy byly uvažovány pro transport lodi a stav, kdy loď obsluhují dva kanoisté. Transport je stav, kdy dva jedinci přenášejí loď držíce špici a zád'. Loď je díky jejich poloze namáhána hlavně vlivem vlastní tíhy. Případ dvou kanoistů v lodi je pak stavem, kdy loď je vlivem přitížení zatlačena do podloží (voda) a to pak působí tlakem



na dno lodi a také na stěny kánoe. Tento stav by měl vyvolat maximální napětí v konstrukci lodi. Další zatěžovací stavy byly zanedbány jako nevýznamné, viz [3].

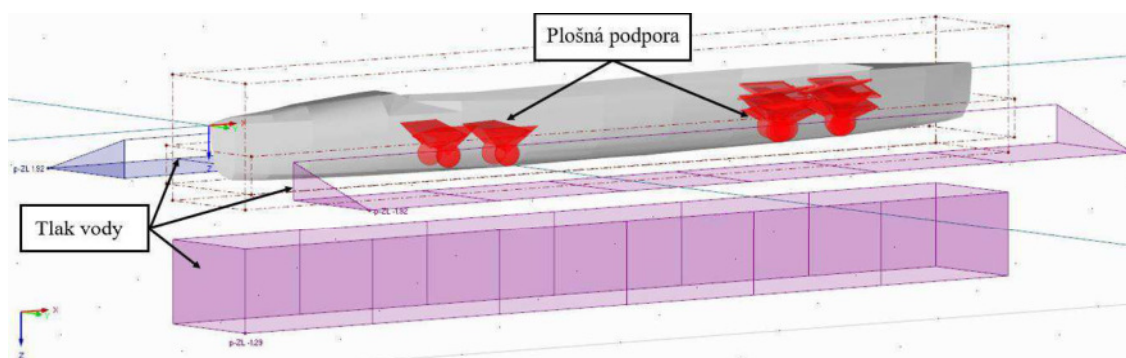
Klíčové ZS:

- ZS-1: Transport lodi ve dvou nosičích
- ZS-2: Loď na vodě se dvěma kanoisty



Obrázek 11: ZS-1: Transport

Pro ZS-1 (Obrázek 11) byly podpory umístěny do špice a zádi lodi tak, jak je běžné pro kánoe během ručního transportu. Pro stav, kdy by se kánoe například přenášela na popruzích umístěných blíže ke středu lodi je zřejmé, že výsledky by byly příznivější, proto tento stav nebyl modelován.

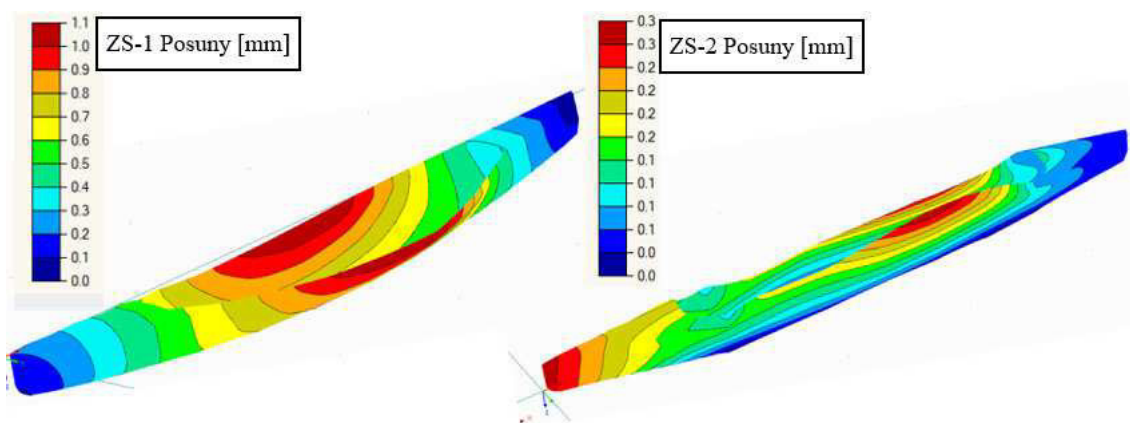


Obrázek 12: ZS-2: Dva kanoisté

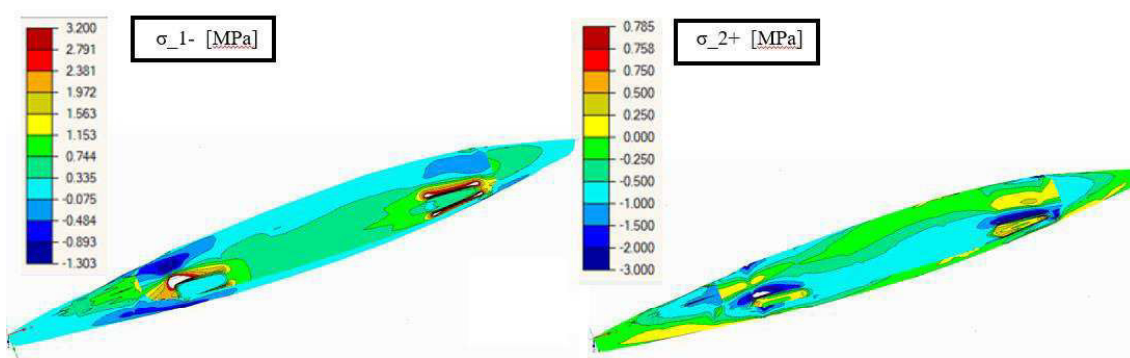
Pro ZS-2 (Obrázek 12) platí, že kanoisté byli v modelu nahrazeni plošnou podporou v místech, kde je odhadován jejich poklek. Dle hmotnosti lodi, která byla vypočtena na  $m_l=85$  kg a odhadované hmotnosti vodáků  $m_v=2 \cdot 80=160$  kg, byl vypočten ponor podle Archimédova zákona. Následně byl vypočten hydrostatický tlak vody, který byl vložen do programů jako vnější zatížení.

## Výsledky analýzy

Hodnocenými výstupy byly hodnoty hlavních napětí (Příloha č.2) v konstrukci pláště lodi. Statické chování bylo ověřeno pomocí deformací (Obrázek 13), konstrukce se deformovala dle očekávání pro oba zatěžovací stavy. Na obrázku 14 jsou pak vykresleny maximální dosažená hlavní napětí a nutno podotknout, že jako kladný povrch je uvažován povrch dovnitř lodi. Maximální tahové napětí se objevuje pro ZS-2, při vnějším povrchu konstrukce, a to zejména poblíž předního kanoisty, napětí  $\sigma_{t,max}=3,2$  MPa. Za zmínku stojí také zvýšená křivost konstrukce před prvním kanoistou pro ZS-2, kde je známa značná tuhost uzavřené části lodi, a naopak nižší tuhost průřezu neuzavřeného. Maximální tlakové napětí  $\sigma_{c,max}=3,0$  MPa se objevuje také v případě ZS-2 a to při povrchu vnitřním v okolí kanoistů. [11]



Obrázek 13: Deformace konstrukce pro ZS-1 (vlevo) a ZS-2 (vpravo)



Obrázek 14: Maximální tahové napětí (vlevo), maximální tlakové napětí (vpravo)



V programu Scia Enginner byla loď vymodelována nezávisle na analýze v softwaru Dlubal RFEM. Drobné odlišnosti lze najít například v řešení ZS-2, kdy ve Scie byla použita liniová podpora, na rozdíl od podpory plošné užitá pro modelování v softwaru Dlubal RFEM. Liší se také jemnost sítě konečných prvků, kde ve Scie byla zvolena síť jemnější a plochy, ze kterých je loď složena, jsou modelovány mírně odlišně od konstrukce vytvořené v programu Dlubal RFEM.

Výsledky obdržené díky šetření konstrukce lodi v programu Scia Engineer jsou následující. Maximální tahové napětí v konstrukci je  $\sigma_{t,max}=3,4$  MPa a vyskytuje se shodně pro ZS-2. Největší tlakové napětí je pak  $\sigma_{c,max}=2,9$  MPa a objevuje se také v případě ZS-2. Rozdíl ve výsledcích je tedy  $\Delta\sigma_{t,max}= +0,2$  MPa pro tahová napětí a  $\Delta\sigma_{c,max}= -0,1$  MPa pro tlaková napětí. Pro takové výsledky lze prohlásit, že jsou shodné.

		Dlubal RFEM	Scia Engineer
ZS1	$\sigma_{t,max}$ [MPa]	1,8	1,6
	$\sigma_{c,max}$ [MPa]	-2,2	-2,0
ZS2	$\sigma_{t,max}$ [MPa]	3,2	3,4
	$\sigma_{c,max}$ [MPa]	-3,0	-2,8

Tabulka 3: Porovnání výsledků analýzy napětí

## 4 Materiál pro výrobu betonové kánoe

Cílem při návrhu cementového kompozitu bylo dosáhnout dostatečné tahové pevnosti a nízké objemové hmotnosti. Tahová pevnost byla sledována již při stáří několika dní z důvodu zajištění možnosti brzkého odbednění lodi a uvolnění bednění pro další betonáž. Vyzrálý beton také musí odolat napětím objevujícím se během užívání kánoe. Objemová hmotnost cementového kompozitu je důležitá proto, aby loď měla co nejmenší ponor a bylo s ní možno pohodlně manipulovat i při dvou nosičích, což pro betonové kánoe není pravidlem. Ideálním případem by bylo docílit objemové hmotnosti srovnatelné s hmotností vody, což by vedlo k tomu, že ani zcela zaplněná loď vodou by nešla ke dnu, ale zůstávala by plovat na hladině. Také by to znamenalo, že k lodi nemusí být připevněna signální bóje pro lokalizaci vraku pro případ potopení. Anebo připevnění jiných materiálů jako je pěnový polystyren, které zajistí to, že loď ke dnu nepůjde. Pro výběr výsledné betonové směsi byla důležitá také její konzistence a zpracovatelnost, kdy je třeba, aby směs byla schopna se udržet na téměř kolmých částech bednění (Obrázek 10) a její vlastnosti se během samotné betonáže výrazně neměnily.



Obrázek 15: Zkouška přilnavosti směsí

## 4.1 Betonová směs

Složky betonové směsi byly vybrány tak, aby se jejich prostřednictvím docílilo požadavků pro výrobu a také pro užívání kánoe. Použity byly základní elementy betonové směsi – cement, voda, kamenivo a také přísady a příměsi, které upravovaly vybrané vlastnosti směsi.

### Cement

Pro výrobu lodi byl zvolen CEM I 42,5 R. Tento cement je charakteristický rychlým nárůstem pevnosti, vysokou celkovou konečnou pevností a rychlým, celkově vyšším vývinem hydratačního tepla. Rychlovazný cement byl zvolen vzhledem k potřebě loď co nejrychleji odbednit. Pevnostní charakteristiky navržené betonové směsi jsou uvedeny v tabulce 2. [12]

stáří [den]	1	2	7	28	56	90
tlak [MPa]	14	29	53	61	66	67
tah [MPa]	4	6	8	9	9	9

Tabulka 4: Průměrná pevnost CEM I 42,5 R

### Kamenivo

Plnivo mělo rozhodující roli ve vylehčení směsi. Požadavky na kamenivo byly nízká objemová hmotnost a k tomu přiměřená tlaková pevnost. Fakt, že stěna lodi je skořepina o tloušťce  $t=13$  mm, která je ve své rovině vyztužena skelnou textilií, určuje největší myslitelnou frakci kameniva na  $d_k=2$  mm. Jako kamenivo bylo proto zvoleno expandované sklo Poraver<sup>®</sup> od německé společnosti Dennert Poraver GmbH.



Obrázek 16: Kamenivo Poraver<sup>®</sup> [19]

Kamenivo je recyklátem skla, dodává se v podobě kuliček krémově žluté barvy naplněných drobnými vzduchovými póry. Kamenivo je v betonu dlouhodobě stále a nedochází k jeho degradaci. K měknutí plniva dochází při teplotě 700 °C. Toto kamenivo lze zakoupit přímo po drobných frakcích, není nutné tedy prosívat větší množství plniva svépomocí pro získání těchto frakcí, které jsou pro návrh správné směsi klíčové. Parametry pevnosti a objemové hmotnosti pro užití frakce jsou uvedeny v tabulce 3. [13]

velikost frakce [mm]	0,1-0,3	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	950 ±150	700 ±80	500 ±80	400 ±60	320 ±40
tlaková pevnost [MPa]	2,8	2,6	2	1,6	1,4

Tabulka 5: Charakteristika frakcí kameniva Poraver<sup>®</sup> [13]

### **Mikrosilika**

Označovaná také jako křemičitý úlet je odpadní látka z hutních provozů, kde velmi jemné částice musí být zachytávány speciálními filtry tak, aby se nedostávaly do ovzduší. Složení mikrosiliky je z více než z 85 % amorfního a pucolánově aktivního SiO<sub>2</sub>. Částice jsou více než 100krát menší než částice cementu s měrným povrchem zrn okolo 20 000 m<sup>2</sup>/kg a mají tedy mikro-výplňový účinek a zlepšují spojení kameniva a cementu v betonu. [12]

Obrázek 17: Mikrostruktura křemičitého úletu [14]

## Superplastifikátor

Plastifikační a superplastifikační přísady jsou dnes běžnou záležitostí u vysokohodnotných betonů. Díky nim lze docílit potřebnou konzistenci směsi při zachování nízkého  $w/c$  poměru (Obrázek 13).



Obrázek 18: Změna konzistence směsi po přidání superplastifikační přísady

Při přípravě betonové směsi bez užití plastifikačních a superplastifikačních přísad je nutné dodat více vody, nežli je pouze voda potřebná pro hydrataci cementových zrn. Vlivem povrchového elektrického náboje se zrna cementu po smísení s vodou shlukují do větších celků a dochází k uzavření části z celkového objemu molekul vody a tím dochází k jejich úplnému vyřazení z procesu hydratace (Obrázek 14). Takové částice vody jsou ve směsi nepotřebné a díky nim vzniká nežádoucí porézní struktura, která snižuje pevnostní charakteristiky a také ovlivňuje nepříznivě trvanlivost betonu. Shluky cementových částic navíc zvyšují viskozitu celé směsi a tím ovlivňují celkovou konzistenci. Směs, kde je chemicky vody dostatek, tak připomíná pouze zavlhlý beton, se kterým by se bez užití plastifikačních a superplastifikačních přísad nedalo pracovat. [15,18]

Obrázek 19: Princip plastifikátorů

Pro potřeby kánoe byl vybrán superplastifikátor Stachement 2000 od firmy Stachema CZ s.r.o. Dostupný je v podobě nažloutlé homogenní kapaliny a funguje na bázi polykarboxylátů. Ty vytvářejí dlouhé řetězce molekul, které se nabalují na cementová zrna a fyzicky od sebe zrna cementu oddělují.

## 4.2 Povolená výztuž

Vzhledem k velikosti tahových napětí, která se mohou v konstrukci kánoe během jejího používání objevit, je nutné použít do betonu výztuž pro jejich přenesení. Tloušťka lodi, ale i pravidla Betonkanorace vyžadují klasickou betonářskou výztuž, neboť ta je tuhá a výztužný koš armatury lodi by byl po vyvázání samonosný. Uvažována byla například i čedičová kari síť, ta se ale ukázala také příliš ohybově tuhou pro vyztužení lodi, tudíž by šla jen těžko vytvarovat pro vložení do bednění a pravděpodobně ani nevyhovuje nastaveným pravidlům soutěže (Příloha č.1). Proto bylo vybráno užití rozptýlené výztuže v kombinaci se skelnou síťovinou.

### **Rozptýlená výztuž**

Tento druh výztuže se v současnosti používá v kombinaci s klasickou betonářskou výztuží hlavně k omezení vzniku smršťovacích trhlin. To zejména u konstrukcí, které jsou na vznik trhlin náchylné (fasádní panely, betonové plochy) nebo u nich je vznik trhlin nežádoucím jevem (septické nádrže, trubní profily namáhané tahem). Vlivem vláknité výztuže dochází také ke zlepšení tahové pevnosti vyztuženého betonu, nicméně



tu nelze vzít při návrhu konstrukce zatím v potaz díky neprokazatelné distribuci vláken po délce a průřezu prvku. V současné době používáme vlákna na bázi uhlíku, ocelová, skelná, čedičová a vlákna na bázi organických sloučenin (PP, PE, PVA). [16]



Obrázek 20: Vlákna Masterfibre 401 [17]

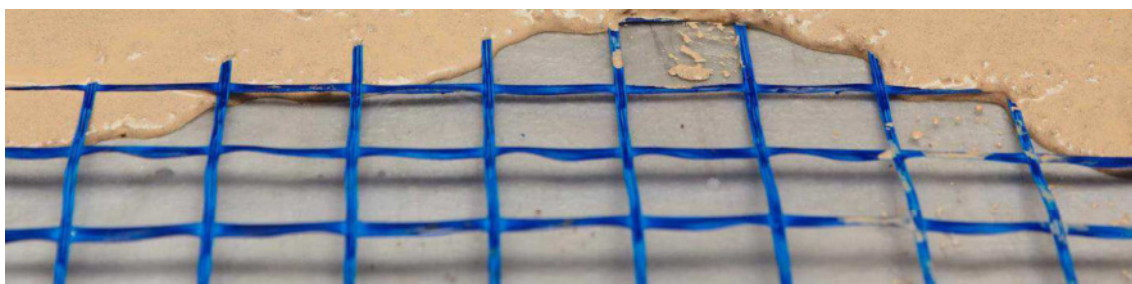
Vzhledem k vlastnostem byla pro realizaci lodi vybrána PVA vlákna od společnosti BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. s obchodním názvem Masterfibre 401. Jejich charakteristika je patrná z tabulky 4. Vlákna jsou charakteristická vysokým modulem pružnosti, vysokou soudržností s cementovou maticí a dobrou odolností v alkalickém prostředí. [17]

materiál	polyvinylový alkohol
průměr $d$	0,16 - 0,24 mm
délka $l$	12 mm
pevnost v tahu $f_t$	790 - 1160 MPa
poměrné protažení $\epsilon$	6-12 %
modul pružnosti $E$	30 GPa
hustota $\rho$	1,3 g/cm <sup>3</sup>

Tabulka 6: Charakteristika vláken Masterfibre 401 [17]

### Skelná textilie

Síť ze skelných vláken odolných v alkalickém prostředí byla zvolena jako doplňující a pojistná výztuž, která podporuje rozptýlená PVA vlákna a má za účel eliminovat místa, kde by byla koncentrace, či rozložení nebo orientace vláken nevyhovující. Také má za úkol při případných kolizích, kdy dojde vlivem vzniku extrémního napětí k porušení PVA vláken, dále držet loď v původním tvaru a po nutnou dobu provozuschopnou.



Obrázek 21: Skelná perlina Vetrex G120 [21]

Jako tato výztuž byla zvolena sklovláknitá perlínková tkanina Vertex G120 od společnosti Saint-Gobain Adfors CZ S.R.O. Navržena je k omezení vzniku trhlin v samonivelačních podlahách. Materiálové charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 5. [22]

materiál	Alkali odolné E-sklo
velikost oka	40 mm
hmotnost tkaniny	120 g/m <sup>2</sup>
pevnost v tahu $f_t$	1250 MPa
poměrné protažení $\varepsilon$	3%
modul pružnosti $E$	60 GPa

Tabulka 7: Vertex G120 materiálové charakteristiky [22]

### 4.3 Návrh kompozitu

Návrh betonové směsi probíhal tak, že nejprve byla navržena první generace směsí. Ta byla otestována a poté byla vybrána nejlepší navržená směs a ta byla v následujícím kroku opět upravena tak, aby maximálně vyhovovala potřebám pro beton kánoe.

První generace směsí vycházela z návrhu dle Bolomeye s tím, že při betonáži vzorků byla výsledná konzistence a složení směsi upravováno množstvím superplastifikační přísady. Výsledná směs vybraná pro betonáž lodi byla třetí generací navrhovaných směsí.



Dle Bolomeye byl nejprve stanoven vodní součinitel dle rovnice [4.1]. [11]

$$X = a_k \cdot R_c \cdot \left(\frac{1}{w} - 0,5\right) \quad [4.1]$$

$X$  ... průměrná požadovaná pevnost betonu [MPa]

$a_k$ ... součinitel kvality kameniva [-]

$R_c$ ... pevnostní třída cementu [MPa]

$w$ ... vodní součinitel

Po vyjádření vodního součinitel  $w$  bylo dopočteno množství cementu  $m_c$  [4.2] z mezerovitosti kameniva a následně množství kameniva  $m_K$  z rovnice absolutních objemů [4.3]. [11]

$$v \cdot M = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_K}\right) \cdot v = \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{w \cdot m_c}{\rho_w} \quad [4.2]$$

$v$ ... součinitel přebytku cementového tmele [-]

$M$ ... mezerovitost kameniva [-]

$\rho_s$ ... sypná hmotnost kameniva [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_K$ ... objemová hmotnost kameniva [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_c$ ... objemová hmotnost cementu [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_w$ ... objemová hmotnost vody [kg/m<sup>3</sup>]

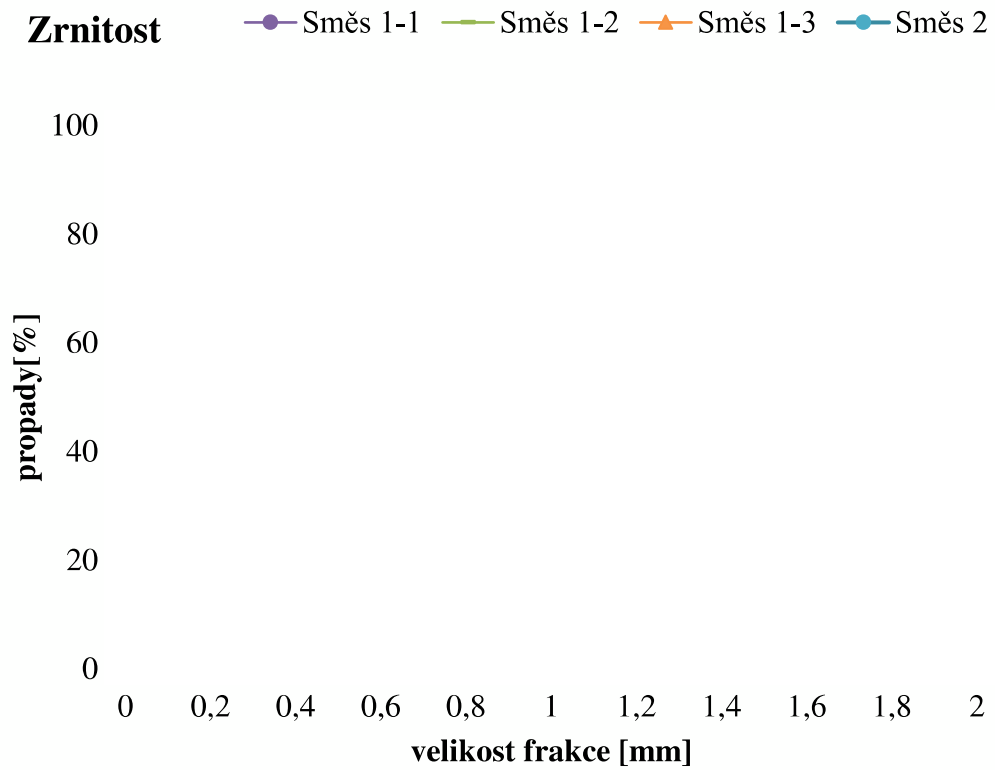
$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{w \cdot m_c}{\rho_w} + \frac{m_K}{\rho_K} = 1 - \frac{V_z}{100} \quad [4.3]$$

$V_z$ ... objem pórů [%]

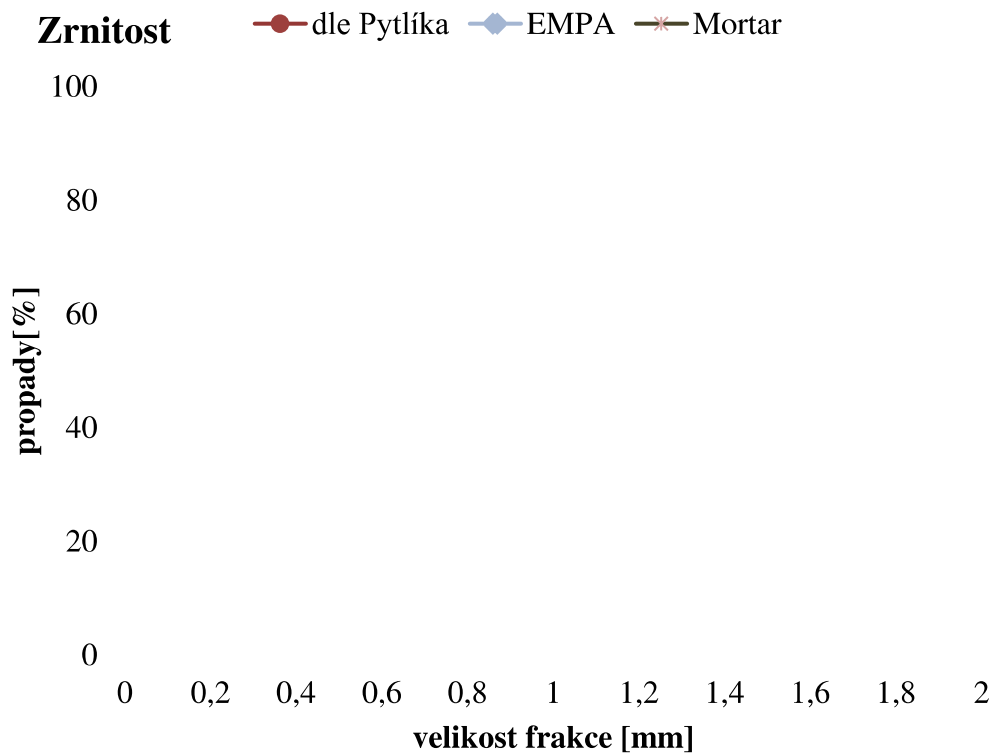
V tabulce 8 je uvedeno složení všech navržených směsí 2. a 3. generace.

Tabulka 8: Složení všech testovaných směsí 2. a 3. generace

Směsi byly navrženy s odlišnými křivkami zrnitosti (Obrázek 22), kde křivka zrnitosti pro vybranou směs 2 byla upravena tak, aby vyhovovala křivkám zrnitosti uvedeným v odborné literatuře (Obrázek 23). [11][18]



Obrázek 22: Křivky zrnitosti pro jednotlivé směsi



Obrázek 23: Ideální křivky zrnitosti



Obrázek 24: Směs 2 ve strojním míchači

#### 4.4 Ohybové zkoušky trámců a destiček

Pro každou ze směsí byly vyrobeny trámce 4 cm x 4 cm x 16 cm (Obrázek 25, vpravo), které byly následně zkoušeny na trojbodový ohyb. Hodnocení betonovaných vzorků probíhalo z hlediska dosažené tahové pevnosti, objemové hmotnosti a ohodnocení průřezu v místě lomu, z hlediska množství vzduchových pórů a případných nehomogenit (Obrázek 25, vlevo).



Obrázek 25: Trámečky po zlomení (vlevo), trámeček při zkoušce (vpravo)

Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulce 9. V tabulce je patrné, že směs 1-3v byla vyřazena a zkoušky této směsi nebyly provedeny. Důvodem bylo navržení neúměrně velkého množství vláken k navrženému množství cementu ve směsi. Díky tomu betonová směs nebyla řádně smísitelná. To se projevovalo zejména neustálou segregací

vody ze směsi ihned po zastavení míchání a tvorbou hnízd z přidaných PVA vláken, která se nedařilo rovnoměrně rozptýlit po směsi. Dále je zřejmé, že vybraná směs 2 má horší tahové pevnosti nežli jiné vláknobetony v tabulce. Je to proto, že došlo ke snížení množství vláken pouze na jejich potřebné množství. Přítomnost vláken ve směsi totiž nepříznivě ovlivňuje její okamžitou konzistenci a zpracovatelnost. Směs 2 byla zkoušena ve stáří čtyř dní, ostatní vzorky v tabulce byly zkoušeny po osmi dnech. Brzké konání zkoušek bylo voleno vzhledem k potřebě odbednit loď co možná nejdříve a tím umožnit sériovou výrobu.

Tabulka 9: Výsledky zkoušek trámečků

NZ ... nezkoušeno

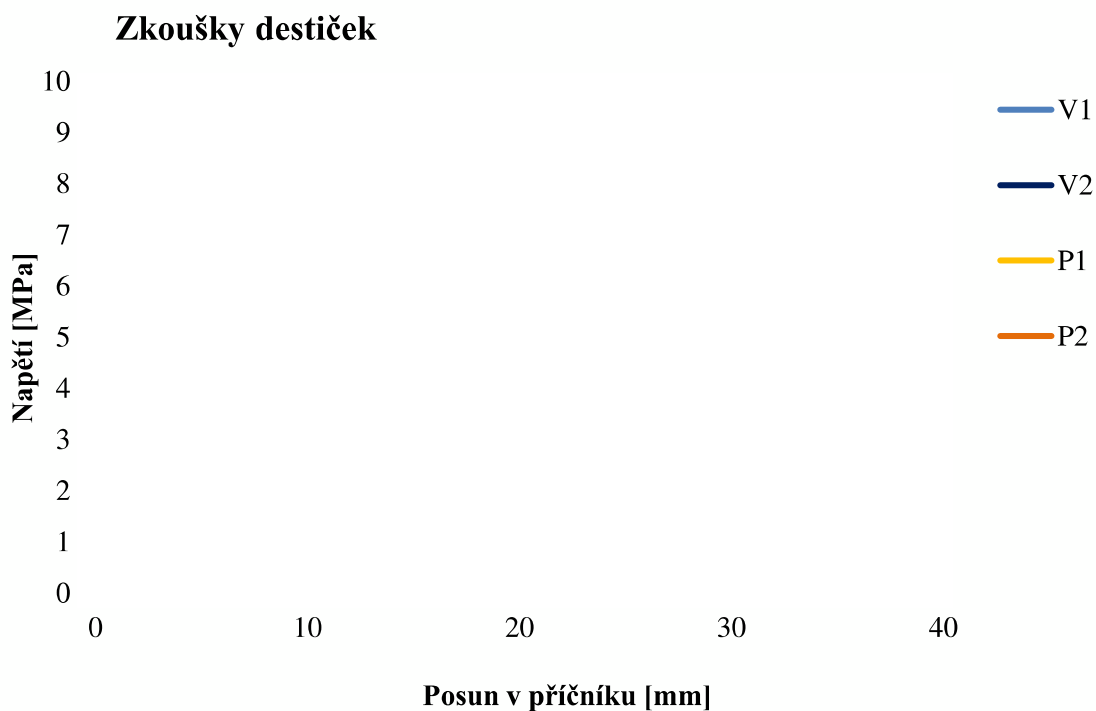
F ... směs vyřazena

Pro ověření spolupůsobení a funkčnost celého souvrství byli zhotoveny zkušební destičky o rozměrech 13 cm x 43 cm x 1,3 cm a zlomeny za čtyřbodového ohybu (Obrázek 26), kdy byl sledován krom maximální síly také průběh deformace v čase a rozvoj a šířka trhlin ve vzorku. Pro tuto zkoušku byly vybetonovány 4 vzorky, kdy 2 byly vybetonovány právě se skelnou textilií Vertex G120 a další 2 byly vyztuženy klasickou perlinkou. Různé textilie byly zvoleny záměrně tak, aby se lišily velikostí oka a průřezem skelných provazců. To mělo upozornit na případné výraznější rozdíly v chování souvrství, jako mohla být delaminace v oblasti textilií při vystavení extrémnímu zatížení.



Obrázek 26: Zkouška destiček čtyř-bodovým ohybem

Průběh zkoušky ukázal, že ani v jednom případě delaminace nenastává. Dle průběhu zkoušky na obrázku 27, je zřejmé že první trhlinky se objevují při napětí okolo 2 MPa ve všech čtyřech případech. Celková pevnost souvrství je pak srovnatelná a pohybuje se okolo příznivých 9 MPa.



Obrázek 27: Průběh zkoušky destiček

Při této zkoušce byl testován systém měření tloušťky konstrukce, který byl navržen podle klasického betonářského způsobu kontroly mocnosti vrstvy betonu. Zhotoví se svařením dvou prutů betonářské výztuže o síle nejlépe 6-8 mm vzhledem k ruční manipulaci, které se zabodávají do čerstvě zalitého stropu pro ověření tloušťky. Princip byl upraven na zapichování hřebíku do směsi, kdy na hřebíku je nejlépe mechanicky vyznačena horní hrana destičky. Vyznačení výšky vrstvy fixou není vhodné, neboť po prvním vpichu do hlubší části dojde k zakrytí značky cementovým mlíčkem.

## 4.5 Vyhodnocení experimentálního ověření výsledného kompozitu

Posouzena byla schopnost konstrukce přenést tahová napětí bez neúměrného poškození. Maximální charakteristické tahové napětí v konstrukci je dle analýzy z kapitoly 3.3  $\sigma_{ct,max}=3,2$  MPa. Střední hodnota tahové pevnosti použitého materiálového souvrství je pak  $f_{ctm}=8,12$  MPa. S tím, že střední napětí pro objevení trhliny v navrženém souvrství je  $f_{ctm,crack}=1,85$  MPa.

$$R_{ctm} \geq \sigma_{ct,max}$$

8,12 MPa > 3,2 MPa **konstrukce vyhoví**

Konstrukce vyhoví s tím, že v exponovaných místech konstrukce dojde k vytvoření trhlinek. Tyto trhlinky mohou mít dopad na trvanlivost konstrukce, nikoliv však na její únosnost. Trvanlivost konstrukce by byla výrazně snížena případným skladováním lodě v exteriéru a jejím dlouhodobým vystavením povětrnostním vlivům, zejména pak zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům.

Pro vyhodnocení byly použity charakteristické hodnoty napětí v konstrukci, a to z toho důvodu, že pro takto malou a kontrolovanou konstrukci se nepředpokládá výrazná nadspotřeba betonu. Předpokládá se naopak odborné používání a nepřetěžování lodi během závodu, tzn. vždy bude užívána pouze dvěma kanoisty. Pevností materiálové charakteristiky byly uvažovány naměřené, nebyl vyzkoušen dostatečný počet těles pro stanovení vypovídající charakteristické hodnoty pevnosti. Pro potřeby kánoe jsou však tyto hodnoty dostatečné a návrh disponuje rezervou.

## 5 Návrh technologie výroby

Návrh technologie výroby kánoe byl komplexní úkol, kde bylo třeba zkoordinovat hned několik dílčích problémů. Bylo to plánování výstavby, samotný technologický postup a zajištění dodávek materiálu v kombinaci se získáním prostorů pro práci. Plánovat bylo třeba i řízení lidských zdrojů, kdy při vybraných činnostech bylo třeba hned několik dalších pomocníků.

Jako první bylo třeba určit, jakým způsobem bude loď vyrobena. Obecně zde existují dvě možnosti, buď bude loď betonovaná na bednění vnitřní, tedy zhotovené kopyto anebo se betonáž provede do bednění vnějšího. Vzhledem k potřebě zajistit obrátkovost bednění, bylo poměrně rychle usouzeno, že vnější bednění je vhodnější, neboť díky vlivu smrštění betonu se většinou sevře vnitřní bednění tak silně, že musí být z vnitřku kánoe vylomeno silou a zničeno, přinejmenším je značně poškozeno. Je důležité si uvědomit, že během odbedňování za užitím síly nemusí být poškozeno pouze bednění, ale i loď samotná, neboť se jedná o velmi subtilní skořepinu. Proto je často u lodí betonovaných na bednění vnitřní užito měkkých bednicích materiálů tak, aby při jeho odstraňování nedošlo k poškození lodí, viz [3], kdy byl použit polystyren. Bednění vnější lze zhotovit přímo, nebo ho vymodelovat na kopyto podobné tomu, které lze užít pro bednění vnitřní. Pro výrobu bylo zvoleno bednění vnější sklolaminátové, zhotovené přes kopyto z překližky a balsy.

V návrhu je uveden celý technologický postup jak pro výrobu bednění, tak i pro jeho sestavení. Následně pak bylo nutné navrhnout způsob betonáže, termín a techniku odbednění. Pro betonáž lodí vyrobených dle tohoto postupu je typická betonáž každé lodi ve dvou záběrech. (Obrázek 28)

Obrázek 28: Rozdělení lodi do záběrů



## 5.1 Postup výroby bednění

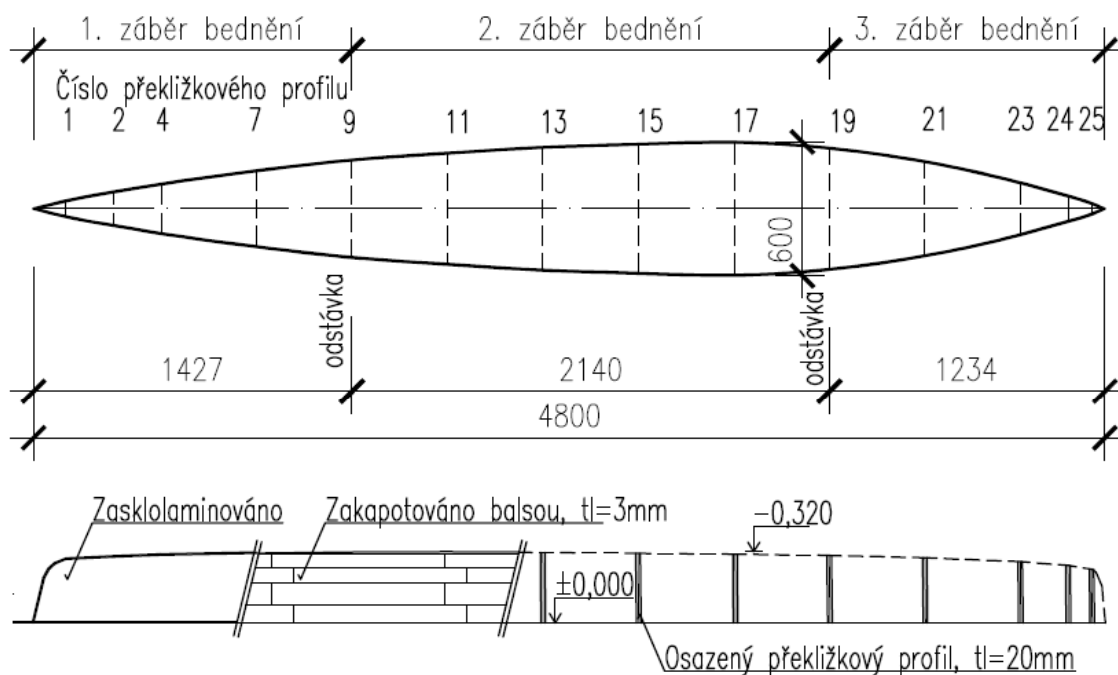
Bednění bylo navrženo ze dvou částí. Jedna sestava bednění slouží k betonáži spodní části kánoe a je užitá v prvním záběru. Druhá sestava bednění je užitá pro betonáž druhého záběru, která vytváří kapotu přídi, zádi a také borty po obou bocích lodi. Schéma procesu výroby bednění spodní části lodi je zobrazeno na skice (Obrázek 29) z fáze zrodu celého projektu. Následně byl zpracován přesný technologický postup výroby, korespondující s výkresem bednění. (Obrázek 30)

Obrázek 29: Skica postupu výroby bednění prvního záběru

### 5.1.1 Bednění 1. záběru

Jedná se o hlavní díl bednění, který lodi dodává důležité tvarové parametry pro závod. Díl je navržen spojením třech dílčích částí, které byly vyráběny samostatně na stejném kopytě. Šroubové spoje dílů byly navrženy na čelní desku a jsou zobrazeny v kapitole 5.2 *Betonáž a odbednění 1. záběru, obrázek 37*, kde dochází k jejich uplatnění. Dle zaměření a následně vytvořeného výkresu tvaru byl vypracován první výkres bednění (Obrázek 30). Na základě tohoto byly vytvořeny jednotlivé příčné řezy (1-25), které přesně definují tvar lodi po její délce (Příloha 3, výkres 3). U řezů číslo 9 a 21 je důležité si ponechat jejich negativ. Negativy těchto dvou profilů budou využity

jako odstavné profily pro proces sklolaminace. Během výroby bednění 1. záběru jsou vykonávány činnosti, během kterých je zacházeno s látkami obsahujícími aromatické uhlovodíky, proto je nutné dbát své osobní bezpečnosti. Pracovat ve větraném prostoru, používat vhodné osobní ochranné pomůcky a nevystavovat sebe, či ostatní zbytečně nebezpečí.



Obrázek 30: Schéma výroby bednění

- **Vytvoření kostry**

Nejprve je nutno připravit pracovní plochu o šířce alespoň 70 cm a délce 5 m tak, aby okolo průmětu lodě do pracovní roviny bylo ještě alespoň 15 cm prostoru po jeho stranách. Lze využít například stavební překližky připevněné svěrkami ke stolu tak, aby pracovní rovina byla pevná a polohově stálá. Následně vyřežeme všechny řezy dle výrobní dokumentace sestavy bednění 1. záběru. Každý řez označíme příslušným číslem dílu tak, aby následně mohl být umístěn na příslušné místo na pracovní ploše. Profily lze vyřezat přímočarou pilou, případně pokud je k dispozici obráběcí technika, je vhodné ji využít. Hotové řezy jsou následně osazeny na vodorovnou pracovní plochu. Polohu profilů je vhodné si délkově rozměřit a poté osadit profil na osu překližkové desky tvořící podkladní rovinu. Všechny profily jsou osazeny dle detailu obrázku 31. Tím je vytvořena nosná kostra pro kopyto bednění.

Obrázek 31: Skica ustavení překližkového profilu

- **Zaklopení kostry**

Poté je na řadě kapotování osazených dřevěných profilů pomocí balsy o rozměrech 10 x 100 x 0,3 cm, tenčí balsa je měkká a neposkytne dostatečnou tuhost pro následné kroky jako je sklolaminování. Balsa je přišroubována na předvrtané otvory v překližkových deskách. Pro spolupůsobení jednotlivých pásků balsy je nutné navrhnout způsob jejich stykování jak po délce, tedy cca po 1 metru, což je délka jednoho kousku balsy, tak i po výšce, kde je nutné spolupůsobení cca po 10 centimetrech. Pro stykování jednotlivých dílů je navržen následující systém. (Obrázek 32). Pro zaklopení špice a zádi je konec balsového pruhu oříznut do tvaru dle výkresu tvaru lodi. Styk obou kousků balsy je pak slepen libovolným lepidlem, které je použitelné na dřevo a po nutnou dobu stažen pevně k sobě pracovními svorkami. Při kapotování překližkových profilů balsou je vhodné začít od špice a pokračovat směrem k zádi s tím, že jako první je připevněna balsa, jejíž hrana lícuje s pracovní rovinou, tedy výškovou úrovní  $\pm 0,000$  m lokálního pracovního systému.

Obrázek 32: Skica spoje balsových proužků

Po zaklopení jednotlivých záběrů spodní části bednění jsou spoje, hrany vymezující jednotlivé proužky balsy, hlavy šroubů a nerovnosti zatmeleny brousitelným tmelem na dřevo. Tmel je po 24 hodinách, když je zaschnutý, zbroušen do hladka. V případě větších nerovností povrchu nanese se tmel ve dvou vrstvách dle instrukcí výrobce, jinak by mohlo dojít k popraskání tmelu. Během broušení je nezbytné použít ochranu proti vdechování prachových částic vytvořených broušením tmelu, stejně tak je nutná ochrana zraku, hrozí odletování drobných částic. Následně je povrch uzavřen syntetickým lakem na dřevo, který povrch dostatečně uzavře pro další úpravy jako je leštění povrchu a sklolaminování. V případě nutnosti může být provedeno více nátěrů, určující jsou instrukce výrobce na plechovce a kvalita překrytí balsy. Povrch necháme 24 hodin vyžrát. Tímto je dosaženo připravenosti pro další krok a tím je sklolaminování.


- **Sklolaminování jednotlivých záběrů**

Po kontrole připravenosti povrchu je přistoupeno k laminaci. Sklolaminátová forma poskytne, lehkou a dostatečně pevnou konstrukci vnějšího bednění. Důraz musí být kladen zejména na celistvost separační vrstvy během procesu laminování prvních vrstev. Kopyto je nutno kvalitně odseparovat od sklolaminátu, kde v případě nedostatečné separace hrozí přilepení formy ke kopytu. To by mohlo znamenat znehodnocení celého dosaženého postupu prací. Proto je vhodné provést ověření funkčnosti celého postupu na malém modelu. Tento krok je vhodný pro zhotovitele bez dosavadních zkušeností se sklolaminováním. Realizace zkušebního sklolaminátového

vzorku je vhodná i pro seznámení s epoxidovou pryskyřicí a tvrdidlem, kde je klíčové dávkování tvrdidla a začátek doby tvrdnutí pryskyřice. [20]

- Separace

Jako separátor je použit krém na parkety a PVA separátor pro odlévání forem. Zabroušený a lakovaný povrch je ošetřen krémem na parkety a rozleštěn cca po dvaceti minutách po nanesení. Krém nanášíme lehce navlhčeným hadrem a leštění je provedeno do pohledového lesku konstrukce pomocí hadříku s jemným chlupem. Následně je povrch natřen PVA separátorem v tenké vrstvě po celé ploše. PVA separátor je obecně užíván pro odformování odlitek. (Obrázek 33)



Obrázek 33: Schéma první části separace

- První vrstva formy

První vrstva sklolaminátového souvrství je navržena z bílého dvousložkového polyesterového tmelu v kombinaci s epoxidovou pryskyřicí v poměru 2 díly tmelu a 1 díl pryskyřice. Směs je smíchána s tvrdidlem dle instrukcí na plechovce s pryskyřicí v celkovém množství zpracovatelném do 30 minut. Poté dochází k vytvrzení a případná zbylá pryskyřice je nezpracovatelná. Při dávkování tvrdidla postupujeme podle návodu na obalu a pozor na různou agresivnost použitých tvrdidel. Směs je poté nanesena na vrch kýlu, odkud je rozetřena po ploše prvního záběru. Hmota, která zteče až na patu kopyta, je opět přenesena na vrchol konstrukce. Při nanášení první vrstvy je nutné dbát opatrnosti vzhledem k riziku protržení separační vrstvy. V případě nedostatku směsi epoxidové pryskyřice a polyesterového tmelu smícháme zbylé potřebné množství a opakujeme postup. První vrstvu poté ponecháme cca 1 hodinu zavadnout. Během tohoto

času je možnost připravit materiál na následné souvrství, jedná se o skelnou tkaninu a další epoxidové pryskyřice.

- Následující vrstvy

Pro další vrstvy je připravena skelná tkanina nastříhaná na proužky o šířce cca 20 cm a výšce 60 cm. Realizovány jsou 4 vrstvy s tím, že po nakladení skelné textilie je nutné ji dostatečně prosytit pryskyřicí a dbát na to, aby se mezi jednotlivými vrstvami textilie netvořily vzduchové bublinky. Pryskyřice je nanášena pomocí štětce, je možné použít také stěrku. Vrstvy textilie se vždy částečně překrývají, pro zajištění jejich spolupůsobení a celistvosti formy (Obrázek 34). Opět je připraveno vždy jen takové množství pryskyřice zpracovatelné do 30 minut. Po dokončení celé činnosti je vhodné umýt štětce a užitá pomůcky v acetonu, ředidlo pro pryskyřice není vhodné.

#### Obrázek 34: Schéma sklolaminace

- Vyloupení bednění od kopyta

Po 24 hodinách je možné bednění sejmut z kopyta, vzhledem k tvaru všech dílů bednění je předpokládáno nepoškození kopyta. Díl bednění je následně začištěn a ponechán cca 24 hodin k dozrání a vyvětrání před betonáží. Začištěním je míněno ořezání přebytečných částí a obroušení možných nerovností okolo hran sklolaminátového bednění. Skica odbednění sklolaminátového dílu je na obrázku 35.

Obrázek 35: Skica odbednění sklolaminátového dílu

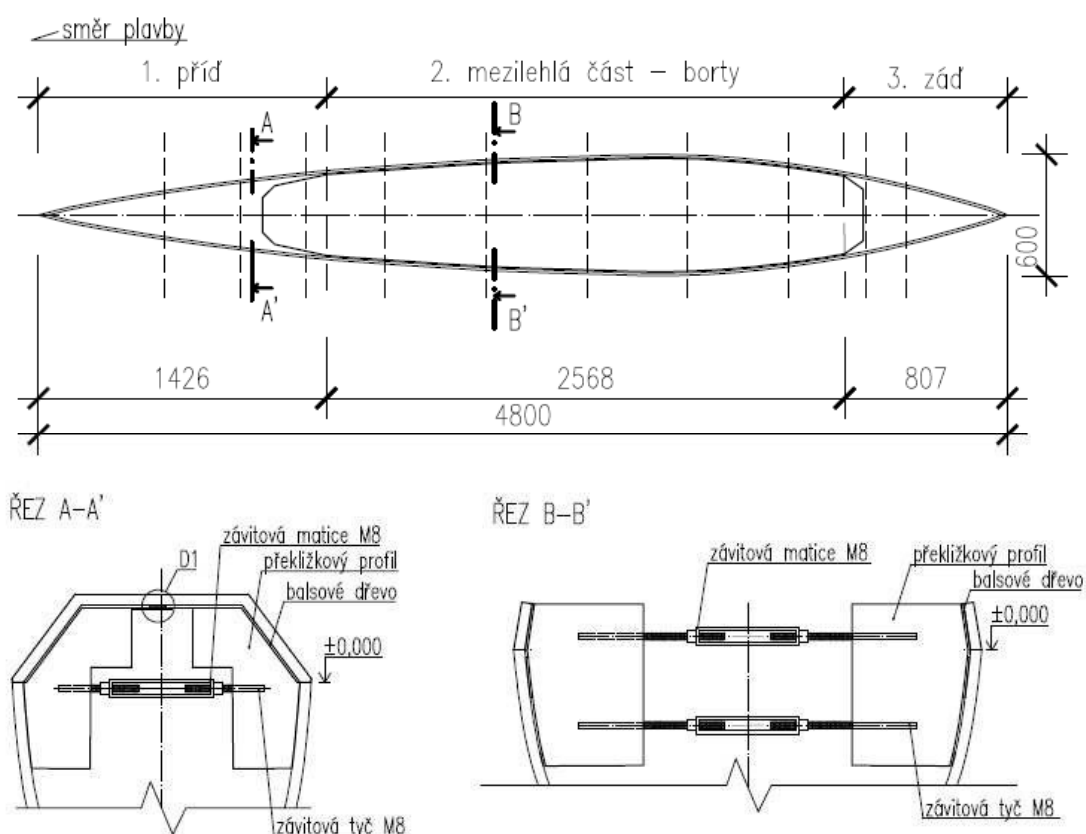
Celý proces je opakován pro všechny 3 díly bednění 1. záběru. Pro oblasti stykování dílců je nutno dbát zvýšené opatrnosti pro osazení dílce, kterým vytvoříme čílko bednění. Tento dílec je nutné osadit přesně po délce kopyta, a také kolmo k pracovní rovině bednění tak, aby stykování dílců bylo realizováno správně. Jeho polohu je vhodné vyznačit fixou, tesařskou tužkou, či sprejem na povrch kopyta a při osazování odstavného profilu jeho čelo zalícovat se zakreslenou linií. Syntetickým lakem a separátory je nutné ošetřit i odstavné profily! Po vytvoření všech dílů sestavy 1. záběru postavíme díly za sebe a provrtáme otvory pro stykovací šrouby dle obrázku 36. Každý spoj je tvořen pomocí pěti šroubů.

Obrázek 36: Schéma vrtání otvorů pro šrouby



### 5.1.2 Bednění 2. záběru

Bednění 2. záběru se skládá z bednění pro borty po obou stranách lodi a z částí pro kapotáž přídi a zádi. Sestava bednění 2. záběru bude na rozdíl od záběru 1. vytvořena bez nutnosti sklolaminování. Základním dílem pro svrchní část budou profily vyřezané ze stavební překližky, které budou rozpírané pomocí rektifikačních matic v konstrukci lodi vytvořené betonáží prvního záběru. Konstrukce bednění kapoty je zřejmá z obrázku 37.



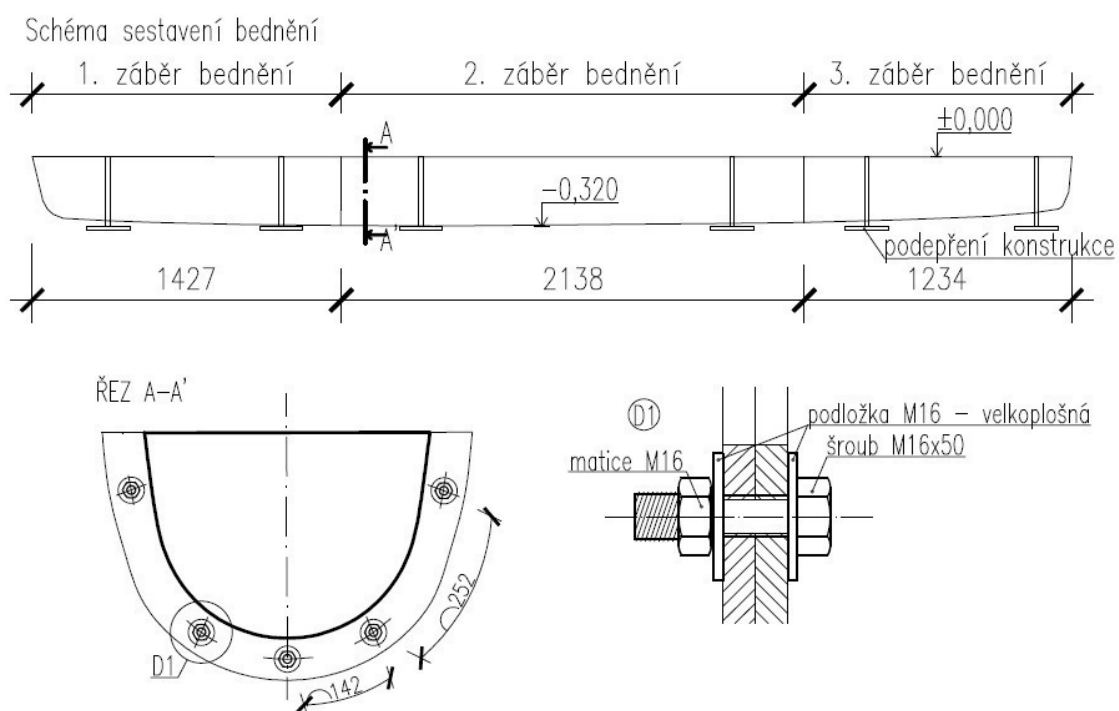
Obrázek 37: Skica bednění svrchní části

Bednění se skládá z částí pro příď, záď a část mezi nimi, tedy část mezilehlou. Příď a záď je uzavřena, a proto zde bude třeba dbát zvýšené opatrnosti při osazování bednění (kapitola 5.2.3). Pro výrobu bednění je použita překližka  $t_l=2$  cm, balsa  $t_l=3$  mm, závitové osy M10 a rektifikační matice s plochou hlavou M10. Pro všechny díly platí, že konstrukce je rozepřena pomocí rektifikačních matic a os vlepených do překližkových profilů. Tyto profily jsou vyřezány dle dokumentace, obdobně jako tomu

bylo u řezů při výrobě kopyta 1. záběru. V kontaktu s čerstvým betonem je pouze balsa a ta je proto ošetřena syntetickým lakem.

## 5.2 Betonáž a odbednění 1. záběru

Betonáž lodi se dělí na dva záběry, kdy 1. záběr je tvořen stykovanými díly bednění a 2. záběr se skládá z dobetonávky kapoty, kde pracovní spára je při svrchní hraně spodní části bednění. Betonáž je nejnáročnější proces vzhledem k řízení lidských zdrojů. Počet osob potřebných pro betonáž je až 11 pracovníků.



Obrázek 38: Schéma sestavení bednění

### Příprava bednění

Bednění spojíme podle instrukcí na obrázku 38. Šrouby pevně dotáhneme, aby nebyla vůle mezi díly. Po spojení všech tří dílů bednění ustavíme do polohy vhodné pro betonáž, tedy polohy takové, kdy je bednění stabilní.

Při vnitřní ploše bednění vzniknou v oblasti styků dílců bednění dvě spáry. Spáry proto uzavřeme pružným silikonovým tmelem. Spára se pravděpodobně i přes zasilikonování prokreslí do vnějšího povrchu lodi, tomu se přihlédně při povrchové

úpravě a není to na obtíž. Sestavené bednění se pak vymaže tenkou vrstvou odbedňovacího přípravku. Výškové umístění bednění volíme tak, aby se betonovalo pohodlně. Nyní je možné zahájit betonáž.


### **Betonáž 1. záběru**

Nejdříve je potřeba připravit výztužnou textilii. Tu je vhodné používat v nařezaných pruzích o délce cca 1 m. Pro špici a záď je vhodné užít kratší pruhy a je možné textilii nastříhnout při dně bednění a tím ji vytvarovat přímo do požadovaného tvaru konstrukce. Při přípravě výztužné textilie dbáme na to, aby nám vždy část skelné sítě přesahovala minimálně o 15 až 20 cm přes hranu sklolaminátové sestavy bednění. Poté co máme skelnou textilii přichystanou pro celou betonáž prvního záběru se lze naplno věnovat betonáži.

Po betonáži je loď zabalena do strečové folie pro zabránění ztráty vody potřebné pro hydrataci betonu a je umyto veškeré použité nářadí. Nyní se loď nechá čtyři dny hydratovat a poté lze přikročit k odbednění

### **Odbednění 1. záběru**

Po 4 dnech je možné odbednit první část betonované konstrukce. Při odbedňování dbáme zvýšené opatrnosti. Beton je sice již dostatečně vyzrálý pro odbednění, nicméně stále je velmi mladý a má pouze část své celkové pevnosti. Pro odbednění odstraníme folii, která bránila odpařování vody z hydratující konstrukce lodi. Poté loď i s bedněním opatrně položíme dnem vzhůru. Následně můžeme povolit šrouby, které spojují díly bednění. Jako první odbedníme záď, ta by měla jít poměrně lehce odbednutím vysunutím bednění směrem ven (Obrázek 39). Je možné si lehce pomoci páčidlem, nicméně dbáme opatrnosti, abychom nepoškodili ani bednění ani loď. Dalším dílem je špice, odbedňujeme stejným způsobem jako díl zádi. Naposledy je odbedněn díl prostřední, ten odbedňujeme směrem vzhůru a je dobré ho odbedňovat alespoň ve dvou pracovnících, neboť se jedná o díl největší. Opět si můžeme pomoci páčidlem tak, že uvolníme obě strany bednění a následně díl lze zvednout a sejmut z konstrukce.



Obrázek 39: Skica odbednění 1. záběru

### **5.3 Betonáž a odbednění 2. záběru**

Při výrobě více lodí, což tento návrh výroby betonových kánoí umožňuje, lze betonáž 2. záběru spojit s betonáží 1. záběru dalšího plavidla. Betonáž svrchní části je možná v podstatě ihned po odbednění zabetonované spodní části lodi a betonovat další loď lze po očištění trojdílného sklolaminátového bednění. Očištění není náročný proces, předpokládá se očištění špachtlí, či škrabkou a setření povrchu tkaným hadrem. Proces bednění i odbednění je pro svrchní část lodi náročnější, nežli je tomu pro bednění 1. záběru. Bednění je nutno rozpírat a skládat, kdežto pro první záběr došlo pouze k prostému sešroubování příslušných dílců sestavy bednění.

#### **Příprava bednění**

Bednění je třeba rozepřít do konstrukce lodi vybetonované v 1. záběru (Obrázek 40). Tento úkon je pohodlný pro tři pracovníky. Je třeba bednění uložit polohově správně tak, aby na sebe jednotlivé díly (příd', borty a zád') navazovaly. Bednění je vhodné připravit mimo loď tak, že si jednotlivé díly lze srovnat za sebe a rektifikační matice částečně roztočit, aby bednění při vložení do lodi výrazně nezapadlo pod její okraj. Následně jeden pracovník kontroluje výškovou polohu dílu a dva zbylí roztáčí rektifikační matice, aby díly byly pevně rozepřeny a vydržely betonáž. Dotahování

matic je uskutečněno vždy až poté, co jsou do lodi umístěny všechny tři díly bednění. Po úspěšné instalaci bednění je jeho povrch ošetřen odbedňujícím olejem.

Obrázek 40: Skica sestavení bednění

### **Betonáž**

Pro betonáž je opět třeba mít přichystanou výztužnou tkaninu, ta by měla posloužit zejména pro příď a zád' lodi. Pro borty by měla stačit tkanina vyčnívající ze zabetonované části 1. záběru.

Po betonáži je konstrukce ponechána volně s tím, že po 4 hodinách je povrch pokropen vodní mlhou. Pokud už po 4 hodinách je beton tvrdý, je možné konstrukci zabalit do strečové folie. Pokud povrch tvrdý nebude, provede se kontrola každé další 2 hodiny.

### **Odbednění**

Odbednit lze prakticky již po 24 hodinách, nicméně vzhledem k riziku uštípnutí části konstrukce během odbedňování doporučuji odbednit konstrukci až po 2 dnech. Pokud byla betonáž provedena současně s 1. záběrem další lodi, můžeme odbedňovat po 4 dnech, současně s odbedněním další vyráběné lodi. Odbednění lze spojit s obrátkou bednění pro další betonáž.

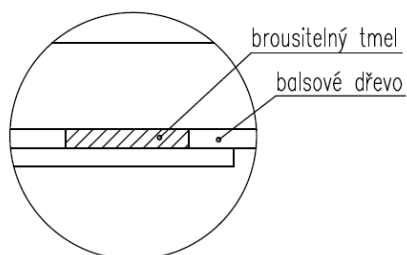
Při odbedňování je postupováno následovně, jako první je odbedněna střední část, která tvoří borty. Stahovací matice s plochou hlavou jsou stočeny a za mírného náklonu je bednění vyjmuto z lodi. Poté povolíme příď a pozvolna vysuneme směrem do středu lodi, poté bednění vyjmeme z lodi úplně. Obdobně postupujeme pro bednění umístěné v zádi lodi. (Obrázek 41)



Obrázek 41: Skica odbednění 2. záběru

Problém potenciálního sevření bednění v přídi a zádi, je řešen pomocí zdvojené balsy (Obrázek 42). Po betonáži dojde k odstranění spodního dílu balsy a vyškrábání tmelu, který vyrovnával povrch bednění. Po odstranění tmelu se vytvoří prostor pro stočení rektifikační matice a tím se bednění uvolní ze sevření čerstvě vybetonované konstrukce.

detail D1



Obrázek 42: Opatření umožňující odbednění přídi a zádi

## 5.4 Úprava povrchu lodi

Po odbednění lodi je třeba věnovat pozornost finálním úpravám. Je potřeba začistit zejména oblasti stykování dílu bednění, kde se mohou vytvářet výstupky betonu. Ty je nutno zarovnat s okolním povrchem. Celý proces realizujeme na kompletním povrchu kánoe. Dále pak je nutno ucelit vnitřní povrch lodi, hlavně místa, kde budou klečet kanoisté. Ve vnitřku kánoe může docházet k vyčnívání PVA vláken z betonu, tento jev by měl být omezen povrchovou úpravou po betonáži. Vyčnívající části vláken je doporučeno opálit. Tím docílíme hladkého povrchu. Naposledy je třeba srazit hrany po obvodu kánoe. Hrany se doporučuje srazit bruskou s užitím brusného kotouče na beton. Díky sražení hran eliminujeme riziko pořezání, či poškrábání kanoistů během závodu.

Po dokončení mechanických úprav povrchu je přikročeno k úpravám kosmetickým. Umístění loga ČVUT v Praze, jména lodi a log sponzorů, kteří podpořili vznik tohoto projektu. Všechna loga a texty jsou realizovány nástřikem akrylovým, vysoce krycím sprejem přes papírovou šablonu. Kromě textů a znaků zůstane loď v původní barvě betonu bez povrchové úpravy.



Obrázek 43: Loga umístěná na lodi



## 6 Realizace

Při realizaci byl ověřen navržený technologický postup výroby bednění. Ukázalo se, že časově nejnáročnější byla výroba kopyta pro sklolaminátové bednění. Technologicky byla nejnáročnější sklolaminace samotná, kdy při nedodržení dílčích postupů hrozilo znehodnocení vytvořeného kopyta z balsy a překližky.

### 6.1 Harmonogram prací

Práce na této diplomové práci začaly v říjnu 2017, stavba bednění byla zahájena v listopadu 2017 a betonáže jsou naplánované na leden/únor 2018.

#### Celkový harmonogram

Zde jsou vykonávané činnosti popsány globálně. Nejnáročnější činností je stavba bednění, nejrychleji zvládnutá pak bude betonáž. V tabulce je uvedena časová náročnost prováděných úkonů. Mezi ostatní činnosti se řadí například komunikace s dodavateli a sponzory, nákup materiálů a další podobné činnosti. (Tabulka 10)

Činnost	doba trvání celkem [den]
Rešerše	10
Zaměření lodi a zpracování dat	7
Statická analýza	5
Návrh směsi	5
Zkoušky trámů a destiček (práce v laboratoři)	6
Návrh technologického postupu výroby	14
Stavba bednění	21
Betonáže	2
Ostatní činnosti	3
<b>Celkem</b>	<b>73</b>

*Pozn. 1 den = 8 pracovních hodin*

Tabulka 10: Celkový časový přehled

### Podrobný harmonogram výroby bednění

V tabulce je uvedena podrobně časová náročnost výroby bednění. Jako nejnáročnější úkol z této dílčí část se ukázala stavba kopyta pro sklolaminátové bednění. (Tabulka 11)

<u>Stavba bednění</u>	<u>doba trvání celkem [hod]</u>
Zaměření lodi	6
Zpracování dat, tvorba dokumentace	22
Výroba profilů	16
Osazení profilů	24
Kapotování balsou	52
Tmelení a broušení	16
Lakování	4
Separace	4
Sklo-laminování	12
Příprava bednění pro betonáž	4
Ostatní činnosti, transport materiálu atd.	8
<b>Celkem</b>	<b>168</b>

Tabulka 11: Časový přehled stavby bednění

## Podrobný harmonogram betonáže

### Betonáž 1. záběru

Pro betonáž je potřeba 10 pracovníků rozdělených do dvoučlenných pracovních čet a k tomu navíc jeden řídicí pracovník, který kontroluje a koordinuje činnosti. Celkem je potřeba tedy 11 pracovníků. Dvoučlenné čety jsou pro míchání směsi, její dopravu k místu betonáže, samotnou betonáž a pro ukládku výztuže. Četa pro ukládku se po dokončení své činnosti věnuje úpravě povrchu konstrukce. Pro betonáž je uvažována nutnost míchat čerstvý beton mimo místo její realizace. Doba betonáže se předpokládá na 180 minut, dle tabulky 12.

t [min] četa	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180
příprava směsi	■	■		■	■		■		■	■		
doprava směsi		■	■		■		■	■		■		
betonáři 1. vrstva		■	■	■	■	■	■	■	■			
betonáři 2. vrstva					■	■	■	■	■	■	■	
ukládka sítě				■	■	■	■	■	■			
úprava povrchu									■	■	■	■
kontrola betonáže	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabulka 12: Harmonogram betonáže 1. záběru

Klíčové činnosti jednotlivých čet jsou následující:

- Příprava směsi – zajištění přípravy směsi v objemech  $4 \cdot 15 \text{ dm}^3$
- Doprava směsi – dopravení směsi co nejrychleji k místu betonáže
- Betonáři 1. vrstva – vybetonování vrstvy o tloušťce 4 mm
- Betonáři 2. vrstva – dobetonování na celkovou tloušťku 13 mm
- Ukládka sítě – vložení sítě na 1. vrstvu betonu, dodržení překrytí dílů a kotevní délky pro 2. záběr
- Úprava povrchu – po zavadnutí vyhlazení povrchu ocelovým hladítkem
- Kontrola betonáže – zejména kontrola zpracovatelnosti betonu, položení výztuže a betonované tloušťky

### **Betonáž 2. záběru**

Složení a odpovědnost pracovních čet je pro 2. záběr betonáže lodi obdobná, jako tomu je u betonáže prvního záběru. Doporučeno je betonovat ve stejném složení jako první záběr, tedy s 11 pracovníky, přestože tato betonáž je výrazně méně náročná na objem prací. Vhodné je zachovat jejich specializaci a neměnit úkoly příslušných čet. Lze předpokládat zlepšení díky zkušenostem nabraným během první betonáže. Pokud by byla nutnost pro betonáž omezit počet pracovníků na minimum, lze pro 2. záběr sloučit čtyři pro přípravu směsi a četu odpovědnou za dopravu. Dále je možné sloučit četu pro ukládku sítě a četu, která má za úkol úpravu a hlazení povrchu po zavadnutí betonu. Tím docílíme úspěšné betonáže o sedmi pracovnících. Pro betonáž je uvažována nutnost míchat čerstvý beton mimo místo její realizace. Doba betonáže se předpokládá na 135 minut, podle tabulky 13.

<b>t [min]</b> <b>četa</b>	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135
příprava směsi	■	■		■	■				
doprava směsi		■			■				
betonáři 1. vrstva		■	■	■	■	■			
betonáři 2. vrstva				■	■	■	■	■	
ukládka sítě				■	■	■			
úprava povrchu						■	■	■	■
kontrola betonáže	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabulka 13: Harmonogram betonáže 2. záběru

Klíčové činnosti jednotlivých čet jsou následující:

- Příprava směsi – zajištění přípravy směsi v objemech  $2 \cdot 11 \text{ dm}^3$
- Doprava směsi – dopravení směsi co nejrychleji k místu betonáže
- Betonáři 1. vrstva – vybetonování vrstvy o tloušťce 4 mm
- Betonáři 2. vrstva – dobetonování na celkovou tloušťku 13 mm
- Ukládka sítě – zejména dodržení překryvů sítě na špici a zádi
- Úprava povrchu – po zavadnutí vyhlazení povrchu ocelovým hladítkem, úprava hran na bortech, přidi a zádi
- Kontrola betonáže – zejména kontrola zpracovatelnosti betonu, položení výztuže, betonované tloušťky a vytvořených hran

## 6.2 Dokumentace realizace

V rámci realizace byl následován technologický postup výroby betonové kánoe uvedený výše. Po rešerši betonových vyrobených kánoí bylo započato s vývojem betonové směsi a zahájeny práce na zaměření kánoe. Pro testování vybraných směsí bylo zhotoveno speciální bednění ze stavební překližky (Obrázek 44).



Obrázek 44: Testování směsí

Pro potřeby betonáže byl navržen distančník (Obrázek 45, vlevo), který byl uzpůsoben pro zhotovení na 3-D tiskárně tak, aby ho bylo možné získat svépomocí. Jeho konstrukce umožňovala připnutí skelné síťoviny do otvoru opatřeného zobáčky a jeho tělo pak mělo vytvořit požadovanou vzdálenost od bednění, tedy 4 mm. Distančník byl použit při betonáži zkušebních destiček, kde se měla ověřit jeho schopnost udržet výztužnou síťovinu v příslušné části průřezu stěny lodi. Účinek distančníku se však ukázal být spíše negativní, neboť se nepodařilo distančník dostatečně vmasírovat do první vrstvy směsi a docházelo k zaklínění plniva pod opěrkami plastové konstrukce distančníku (Obrázek 45, vpravo). Díky této skutečnosti se textilie ocitla přesně uprostřed zkoušeného průřezu a její využití bylo minimalizováno pouze na zachycení kolabující destičky při zkoušce. Díky tomu nebyl při realizaci použit a zůstalo pouze u testování prototypů.

Obrázek 45: Navržený distančník (vlevo), distančník v destičce po ohybové zkoušce (vpravo)

Pro zaměření byla loď umístěná na konstrukci určenou k odložení lodí závodních lodí během jejich vynášení z loděnice. Loď byla nakloněna dle potřeby a stabilizována dostupným materiálem, užitečné byly zejména stolky členů loděnice. (Obrázek 46)



Obrázek 46: Zaměřování lodi

Po zpracování dat z úspěšného měření byly vypracovány výkresy pro stavbu bednění a dle nich bylo postupováno při výrobě kopyta. Výkresy průřezů byly vytištěny na tvrdý papír v měřítku 1:1 a následně pečlivě vyříznuty. Tím se vytvořila šablona, která byla tesařskou tužkou přenesena přímo na překližkovou bednicí desku. Poté byly všechny profily vyříznuty přímočarou pilou. (Obrázek 47)





Obrázek 47: Výroba profilů pro stavbu bednění

Po přípravě průřezů byla vytvořena vhodná pracovní plocha a ustavená do roviny. Následně byla dle dokumentace stavby bednění 1. záběru rozměřena poloha jednotlivých profilů a došlo k jejich umístění na pracovní rovinu. (Obrázek 48)



Obrázek 48: Pracovní rovina (vlevo), kompletní sestava profilů (uprostřed), postup prací (vpravo)

Profilů byly přiroubovány k podkladu za užití pomocných překližkových konstrukcí ve tvaru písmene L (Obrázek 49 vlevo). Vzhledem k tomu, že byly k vytvoření pracovní roviny použity propůjčené školní lavice nebylo možné prošroubovat podkladní desky skrz naskrz přímo s profilem. Během této doby se také podařilo vyjednat materiální podporu od firmy BASF a Poraver. (Obrázek 49 vprostřed a vpravo)





Obrázek 49: Vztyčený profil (vlevo), uskladněný materiál (uprostřed a vpravo)

Dále dle pracovního postupu bylo přistoupeno ke kapotování překližkových profilů. Spoje balsových proužků byly spojovány dle navrženého technologického postupu s tím, že bylo užito zdvojení destiček ve styku. Spoj byl díky tomu jednak tužší a také se do něj lépe zavrtávaly vruty, které díky dvojnásobné mocnosti balsy měly i dostatečný prostor pro zatočení vyhovujícího počtu závitů pro trvanlivé spojení. U spojů, kde vznikaly pochybnosti nad trvanlivostí, nebo pevností spoje, byly vruty užity v kombinaci s lepidlem na dřevo (Obrázek 45 vlevo, vprostřed). Mezi profily 23 a 21 u zádi lodě vzniklo místo, kde bylo nutno nastykovat proužky balsy, které šly při výstavbě proti sobě. Nebylo totiž vhodné používat přímo u zádi krátké dořezy balsy. Tento úkol byl vyřešen konstrukčně obdobně pro ostatní stykování, pouze zde byly užity destičky o rozměru 10 x 30 centimetrů.



Obrázek 50: Stykování balsy (vlevo, uprostřed) stykování u zádi (vpravo)

Následně byl povrch ztmelen a po vytvrdnutí tmelu zbroušen (Obrázek 51).



Obrázek 51: Tvorba kopyta: kapotování, tmelení a broušení



## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout technologický postup výroby pro betonové kánoe. Navrhnout takový technologický postup není na oboru Konstrukce pozemní stavby zcela běžná práce, a ne každému se tato možnost naskytne. Já to štěstí měl a příležitosti jsem se chopil naplno. Byla to pro mě jedinečná příležitost, jak si ověřit mé schopnosti a realizovat vlastní projekt od původní myšlenky až po konečný výsledek, v mém případě úspěšný konec znamená položení lodi na vodu.

Tato práce byla komplexním úkolem zahrnujícím řadu dílčích disciplín a jejímž výstupem je jasný postup, jak lze úspěšně vytvořit betonovou kánoi pro měření sil stavebních fakult vysokých škol a univerzit po celém světě.

V rámci práce se podařilo na základě zaměření závodní čtyř-kánoe úspěšně navrhnout ze závodního hlediska efektivní tvar lodi, který přislíbuj konkurenceschopnost v ostrém klání na vodě. Model lodi pot byla poté podroben statické analýze ve dvou MKP softwarech, kde byly zjištěny hladiny maximálního namáhání konstrukce pro klíčové zatěžovací stavy. Dále byla úspěšně navržena vylehčená betonová směs s PVA vlákny, která zaručuje minimální hmotnost lodě. Následně byla ověřena únosnost celého navrženého cementového kompozitu i se skelnou textilní výztuží a bylo konstatováno, že návrh vyhoví.

Po ověření návrhu kánoe bylo přistoupeno ke zpracování kompletního postupu zhotovení betonové kánoe. Bylo navrženo celkem šestidílné bednění z překližky, balsy a sklolaminátu, které umožňuje vybetonovat navržený složitější tvar lodi. Pro všechny díly bednění byla zpracovaná výkresová dokumentace a postup jejich výroby. Poté byl navržen způsob betonáže a odbednění, včetně harmonogramu a potřeby lidské síly. Během psaní této práce bylo přikročeno také k výrobě bednění podle navržených postupů a byly zahájeny přípravy pro zhotovení kánoe.

Kánoe se představí v 2. kvartálu roku 2018 na závodech v Budapešti a věřím, že bude důstojnou nástupnicí kánoí Blue Lion a Stingray. Loď pro tento závod bude po zhotovení pojmenována „Duchess“, z anglického výrazu pro vévodkyni.

## Literatura

- [1] BRANTUK, John. Historical Boats and Boating: Boats made of concrete? [online]. 28.2.2014 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://boatbuilders.glen-l.com/36887/boats-made-of-concrete/>
- [2] 16 Ships Made Of Concrete, Hiding In The Thames. In: The Londonist, Ltd. [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://londonist.com/london/history/visit-these-concrete-ships-from-wwii>
- [3] KRATOCHVÍL, Jan. Návrh a realizace betonové kánoe Blue Lion. Praha, 2010. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Štemberk, Ph.D.
- [4] MALÁ, Dagmar a Jan KRATOCHVÍL. Betonová kánoe. Beton TKS. 2011, 11.(1), 45-53. ISSN 12133116.
- [5] BOROKOV, Dmitry, Vladimír HRBEK, Lucie VOŠÁHLÍKOVÁ, Vojtěch ZACHARDA, Jakub ŽÁK, Petr ŠTEMBERK, Pavel REITERMAN a Jaroslav BROŽ. Betonová kánoe Stingray. Beton TKS. 2016, 16.(2.), 8-13. ISSN 1213-3116.
- [6] ZACHARDA, Vojtěch. Betonová závodní kánoe Stingray. TecniCall. Nakladatelství ČVUT, 2017, (2), 38. ISSN 1805-1030.
- [7] SULZBACH, Candence S. 2018 ASCE National Concrete Canoe Competition, Rules and Regulations. 2018.
- [8] GIVIS, Jessica a Kane SCHONAUER. The University of Akron Design Paper 2017: Wright Way. Akron, USA, 2017.
- [9] Betonkenu kupa - pravidla. Betonkenu.hu [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.betonkenu.hu/versenykiiras/>
- [10] Řád rychlostní kánoistiky: Pravidla rychlostní kánoistiky [online]. In: . 2017, s. 4-7 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: [http://www.kanoe.cz/files/rychlost/2017/Pravidla\\_2017.pdf](http://www.kanoe.cz/files/rychlost/2017/Pravidla_2017.pdf)
- [11] DLUBAL SOFTWARE S.R.O. Uživatelský manuál: Program RFEM. 2012. Dostupné také z: <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy?category=rfem>
- [12] PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vydání. Brno, 2000. ISBN 9788021416475, 8021416475.

- [13] Technical data sheet. Dennert Poraver GmbH [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://poraver.com/en/technical-data-poraver/>
- [14] Silicafume [online]. In: . [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://sites.google.com/a/sheffield.ac.uk/matter-reality/concrete/group-a1/r2?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- [15] NEVILLE, A.M. Properties of concrete. England: Pearson Education Limited, 2004. ISBN 0-582-23070-5.
- [16] vlákna obecně
- [17] BASF STAVEBNÍ HMOTY ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. MaterFibre 401: Technical data sheet. 2015. Dostupné také z: [www.master-builders-solutions.basf.cz](http://www.master-builders-solutions.basf.cz)
- [18] COLLEPARDI, Mario. Moderní beton. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 8087093755, 9788087093757.
- [19] Kamenivo Poraver. In: Materia Exhibitions B.V. [online]. The Netherlands, 2018 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://materia.nl/material/poraver/>
- [20] Modelářina - František Chmelka. [Http://www.mo-na-ko.net/](http://www.mo-na-ko.net/) [online]. 2009 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.mo-na-ko.net/php/portal/view.php?cisloclanku=2009030009&nazevclanku=postup-vyroby-levne-formy>
- [21] SAINT-GOBAIN ADFORS CZ S.R.O. In: Vertexgrid.cz [online]. Litomyšl, 2018 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://vertexgrid.cz/galerie>
- [22] Technický list - Vertex G120: SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o. [online]. ADFORS Construction Products Europe, 2014 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: [http://vertexgrid.cz/technicke\\_parametry](http://vertexgrid.cz/technicke_parametry)

## **Přílohy**

Příloha č.1 – Pravidla Betonkeny Kupa

Příloha č.2 – Výsledky statické analýzy v programu Scia Engineer

Příloha č.3 – Výkresová dokumentace

Příloha č.4 – Fotodokumentace výroby bednění



## 7.1 Příloha č.1 - Pravidla Betonkenu Kupa

### Versenyszámok

#### 1. Beton híd a javából 2.0

A csapatok készítsenek a lehető leghosszabb távolság áthidalására alkalmas, olyan beton műtárgyat, amelynek a súlya nem nagyobb 80 kg-nál, és amit a közepén 75 kg súllyal terhelve állékony marad.

A hidak értékelésének alapja az alátámasztások közötti hosszúságból és a szerkezet közepén tönkremenetel nélkül elviselt legnagyobb terhelésből számított nyomaték nagysága. A híd minimális szélessége 30 cm, magassága/vastagsága szabadon választható. A híd formai megkötése, hogy rendelkezzen egy járófelülettel, melyen mellyen lépkedve a csapat egy tagja át tud kelni a két pillér között valamint a terhelést is ennek a járófelületnek a közepén kapja meg a szerkezet. A verseny nyertese kapja a Mapei fődíját.

*A híd készítésének szabályai:*

Anyaga cement kötésű. A hídhoz maximum 6 cm szálhosszúságú anyag használható. Ragasztásra, javításra csak cement kötésű anyagok alkalmazhatóak. Műgyanta használata a híd készítéséhez, összerakásához tilos.

A terhelési próba a következőképpen történik: a hidak végét két egymástól változtatható távolságra lévő (nem fix) 15x15x60-as betongerendára kell ráhelyezni. A híd hosszát a két beton támasz közötti távolság adja, cm pontossággal mérve. A hosszmérést követően kerül sor a terheléses próbára, amely során a híd középpontját 75 kg-mal terhelik meg a rendezők. Csak az a híd értékelhető, amely állékony marad a terhelési próbán. Ezt követően a csapattagok folyamatosan növelhetik a terhet egy vizes ballon feltöltésével. A megnövelt terhelést a zsűrinek regisztrálni kell. A pontozásnál csak a regisztrált teher mértékét veszi alapul a zsűri, a híd fesztávjának változtatása nélkül.

#### 2. Kenu design

A szervezők törekvése, hogy a csapatok a kenuk készítése során több figyelmet fordítsanak a díszítésre, dekorálásra, festésre. Ezért egy külön értékelési kategória kerül kialakításra, amely a kifejezetten a hajó desing-ra vonatkozik. A cél, hogy minél szebb, érdekesebb, ötletesebb külsejű betonkenuk készüljenek. E versenyszámban külön pontokat kapnak a csapatok, de a versenyszám győztese különdíjat is kap.

#### 3. A beton sosem megy ki a divatból – Betonból készült vért/páncél

Idén egy új elemet hoztunk be betonból készült vért vagy páncélt, erre felfesthető a csapat neve, logoja. Határt csak a fantáziátok szabhat. Ezek is értékes külön pontokat jelentenek az értékelés során, és a versenyszám győztese különdíjban részesül.

A fenti 1-3 kategóriában azok csapatok indulhatnak, amelyek beneveztek a Betonkenu Kupára.

Sárkányhajók részére tervezett futamok: **időmérő és helyosztó futamok.**

#### I. Fogalmak meghatározása

A **kenu** nyitott, mindkét végén csúcsosan végződő, kis méretű hajó. Menetiránnyal megegyező irányba ülő vagy térdelő utasai evezővel hajtják. A kenuban evező ember lapátját bármely oldalon használhatja. A hajó hátsó részében elhelyezkedő kormányos külön kormány szerkezet nélkül, evezőjével irányít.

A **betonkenu építéséhez használt beton** olyan mesterséges kő, amelyet legalább három kiinduló anyagból, cementből, vízből, valamint adalékanyagból állítanak elő. A cement vízzel keverve cementpépet alkot, amely bevonja és összeköti az adalékanyag szemcséket. A

cementpép kötése révén a keverék kőszerű anyaggá szilárdul. A betonok tulajdonságait kiegészítő anyagokkal és adalékszerekkel teszik kedvezőbbé. A betonkenu egy olyan kenu, amely betonból készül.

## **II. Szabályok**

1. A versenyen azok a csapatok és azok a betonkenuk vehetnek részt, amelyek jelen részvételi szabályzatban leírt feltételeknek megfelelnek. **Indulhat a versenyen az előző évek valamelyikében épített betonkenu- is, sőt lehet indulni a vízi futamokon a nem saját építésű betonkenu hajóval is. Abban az esetben, ha valaki az előző években épített kenuval indul, az értékeléskor a hajóépítési kategóriában feleződnek a pontjai.**
2. A verseny közben a kenuban két személy tartózkodhat (ülhet vagy térdelhet), akik a kenut egytollú lapátokkal hajthatják, ill. irányíthatják. Ezen kívül más segédeszköz a betonkenu előre haladásának a segítésére nem alkalmazható.
3. A betonkenut, úgy kell elkészíteni, hogy az a verseny ideje alatt ne süllyedjen el. Amennyiben a versenybíróság a futam előtt úgy ítéli meg, hogy egy benevezett betonkenu – biztonsági okokból vagy szabálytalan építésből adódóan – nem alkalmas a versenytáv megtételére, akkor azt a hajó nem indulhat a versenyen és a rendezvény keretén belül nem lehet a kenut a vízre tenni.
4. A betonkenuk helyszínre történő oda- és elszállításáról minden csapatnak saját magának kell gondoskodnia. A versenyrendezés nem vállalja a betonkenuk tárolását és szállítását. A rendezvény helyszínéről minden csapatnak az általa odaszállított anyagot, segédanyagot saját költségén el kell szállítania!
5. A betonkenuk esetleges elsüllyedése esetén a csapatoknak maguknak kell a hajót a vízből kiszedniük vagy kiszedetniük. Ehhez a szervezők a rendelkezésükre álló eszközökkel segítséget nyújtanak. A vízben nem maradhatnak esetlegesen elsüllyedt betonkenuk, vagy azok részei.
6. A betonkenuk építése során a csapatoknak kiemelt figyelmet kell fordítaniuk arra, hogy a kenukat ellássák minden olyan felszereléssel, amely a biztonságos vízi közlekedéshez elengedhetetlen.
7. A kenuban nem engedélyezett olyan alkalmatlóság, amely akadályozza az evezősöket a gyors kiszállásban, a betonkenu azonnali elhagyásában, egy esetleges borulás, vészhelyzet esetén.
8. A betonkenut úgy kell elkészíteni, hogy azt emberi erővel a szárazföldön lehessen mozgatni, ill. vízre tenni.

## **III. Résztvevők**

1. A versenyre magyar és külföldi egyetemek, cement- és betongyárak, valamint építőipari cégek csapatai nevezhetnek.
2. Minden nevezett cégnek/egyetemnek javasolt legalább 10 főből álló csapatot indítania! Az ettől eltérő, több vagy kevesebb induló esetén, kérjük vegye fel a kapcsolatot a rendezvény szervezőjével személyes egyeztetés céljából.
3. A nevezési lapon benevezett csapattagoknak kell tervezni és építeni a hajót, nekik kell a prezentációt tartani, és nekik kell a hajót a versenyen hajtani.
4. A benevezett versenyzők személyét csak kivételes esetben, a rendezőkhöz beadott, a csere okát tartalmazó kérvény pozitív elbírálása után lehet megváltoztatni.

## **IV. A betonkenu méretei:**

Minimális	hossz:	400	cm,
Maximális	hossz:	600	cm,
Minimális	szélesség:	60	cm,
Maximális	szélesség:	100	cm.

## **V. Felhasználható adalékanyagok**

A betonkenu építése során bármilyen adalékanyag felhasználható.

## **VI. Felhasználható kötőanyagok**

A betonkenu betonjához azok a cementek használhatók, amelyek megfelelnek az EN 197-1:2000 európai szabványnak. A betonkenu betonjához a minimális cementtartalom 250 kg/m<sup>3</sup>.

## **VII. Felhasználható adalékszerek**

A betonkenu betonjához bármely betonadalékszer felhasználható.

### **VIII. Cement kiegészítő anyagok**

A betonkenu építéséhez felhasználhatók cement kiegészítő anyagok, pl.: granulált kohósalak, pernye, puccolán (trassz), őrölt mészkő, mikroszilika, metakaolin.

### **IX. Acélbetétek és egyéb betétek**

1. A betonkenu megépítéséhez bármilyen anyagból készült hálót, szövetet, betétet lehet használni, azonban a betonkenu tilos merev vázra építeni.
2. Összefüggővízzáró anyag/lemez/réteg nem alkalmazható.
3. A betonkenu kívül-belül, beton kell hogy borítsa. Ennek értelmében, minden betétet betonnak kell bevonna.
4. Minden anyag, ami nem része a betonkeveréknek, betétnek minősül. Ez alól kivételt képeznek az ülő, illetve térdelő alkalmatlóságok, illetve a betonkenu szélén elhelyezett „koptató/védő” anyag.

### **X. Felhasználható polimerek**

A betonkenu betonjához összesen maximum 2 kg polimer használható fel.

### **XI. Felhasználható ragasztók**

1. A betonkenu több darabból is összeállítható. Az elemeket ragasztással, ill. csavarozással is össze lehet kapcsolni.
2. Futam előtt észlelt repedés, illetve sérülés javítására ragasztó vagy injektálható anyag használható.

### **XII. A betonkenu festése, burkolása**

1. A betonkenu külső felületét a vízvonal felett maximum 70%-ban, a vízvonal alatt maximum 25%-ban szabad dekorálni, egyedi motívummal ill. reklám/csapatnév elhelyezése céljából befesteni.
2. A festésre csak szilikátbázisú festékek használhatóak.
3. Ezen kívül a betonkenu felületének látszóbeton felületnek kell lennie.
4. A reklám/csapatnév céljára igénybe vett külső felületet leszámítva, a betonkenu semmiféle külső festést, bevonatot, szigetelést nem kaphat.

### **XIII. Segédeszközök**

1. A kenusok személyenként egy maximum, 30 cm x 30 cm x 30 cm-es méretű, bármilyen anyagból készült ülést, vagy térdeplőt használhatnak.
2. Az evezéshez bármilyen egytollú lapát használható.
3. Biztonsági okokból a kenuk mindkét peremére erősíthető, oldalanként maximum 3 m hosszú szakaszon, 10 cm széles „koptató/védő” anyag, amely megakadályozza, hogy a kenus keze, ill. lapátja megsérüljön a kenu oldalán való végig húzás közben. A „koptató/védő” anyag azonban nem merevítheti a betonkenu.

### **XIV. Biztonsági szabályok**

1. A betonkenukban csak úszni jól tudó személyek versenyezhetnek.
2. A rendezvényen mindenki saját felelősségére vesz részt.
3. A mentőmellény viselését a rendezők a versenyzők biztonsága érdekében mindenki számára ajánlják, amelyet igény szerint a versenyrendezőség biztosít.
4. Minden vízre bocsátandó betonkenuknak rendelkeznie kell egy jelzőbójával, amelyet egy 6 m hosszú kötéllel a kenuhoz kell erősíteni. Ez a jelzőbója egy betonkenu esetleges elsüllyedése esetén jelzi annak helyét.
5. Ajánlás: a betonkenukat úgy tervezzék meg a csapatok, hogy egy esetleges borulás esetén ne süllyedjen a fenékre, hanem lebegjen. Ehhez zárt cellás habokat célszerű használni.

### **XV. Öltözködés**

1. A kenusoknak biztonságos, evezés közben veszélyt nem jelentő öltözékben kell lenniük a vízi verseny alatt.
2. Egy hajón belül a két kenusnak egyforma pólót kell viselnie.

### **A VERSENY**

#### **XVI. Prezentáció – projekt bemutató kisfilm**

1. A csapatoknak egy 6 perces kisfilmben kell összefoglalnia a betonkenu tervezési és alkotói folyamatát, bemutató a csapatot, az anyaghasználatot, a betonkenu készítés módszertanát, kitérve az egyes megvalósítási fázis folyamatokra. A film lehet prezentációs alapú, azaz animált ppt, magyarul angolul feliratozva, vagy angolul magyar felirattal.
2. A bemutató kisfilmet a zsűrinek és a versenytársaknak a 2017. június 22-én, csütörtökön 18:00 órai kezdettel kell bemutatni, hossza max. 6 perc. A kész kisfilmeket 2017. június 20-ig kell elküldeni a rendezőség részére, a [david.julia@sailforyou.hu](mailto:david.julia@sailforyou.hu) címe, tekintettel a file nagyságára valamilyen file küldőn keresztül kérjük eljuttatni a filmeket.

- A bemutató alkalmával még 2 percet kapnak a csapatok, ahol egy rövid beszédet tarthatnak, itt mutathatják be személyesen a csapattagokat, csapatnevet, a csapat filozófiájukat.
3. A bemutatáshoz a rendezőség projektort és vetítő vásznat biztosít.
  4. A prezentáció 1 példányátdigitális formában (pendrive-on) a zsűri rendelkezésére kell bocsátani a prezentációt követően.
  5. A prezentációra kapott pont beleszámít a verseny értékelésébe.
  6. A betonkenu és a csapatok bemutatása a vízparton történik 2 percben, látványos módon. Minden csapatnak választania kell egy „bemutató, bevonuló” zenét is. Az elvárás, hogy figyelemfelkeltő, kreatív, vicces, ugyanakkor szakszerű legyen! Ez is beleszámít a végső értékelésbe.

### **XVII. A Futamok**

A betonkenuval a csapatoknak négy futamot kell teljesíteni. Ebből két futamban 2 férfi, az egyik férfi futam fordítós futam, erről részletesen a versenypálya ad útmutatást, további egy futamban két nő versenyez a kenukban, a negyedik vegyes futamban pedig egy lány és egy fiú versenyez. Mind a 4 futam egy kb. 300 méter hosszú pályán zajlik. A futamon elért helyezés alapján kapnak pontot a csapatok. Első helyezett kapja a legtöbb pontot, míg az utolsó a legkevesebbet. A négy futam pontjainak eredménye összeadódik és ez határozza meg a végeredményt. Amennyiben pontegyenlőség lép fel, akkor a több jobb helyezéssel rendelkező csapat nyer, amennyiben azonos helyezéssel rendelkeznek a csapatok, úgy az utolsó futamban elért eredmény számít. A hajóban a benevezett versenyzők közül bárki evezhet a két fiú futam során (cserélni lehet). Tekintettel arra, hogy két személynek kell eveznie a hajót, így a célba érkezéskor is mind a két személynek a hajóban kell lennie.

### **XVIII. Értékelés, díjazás (Tervezet, ez a pont még kiegészítendő.)**

1. A verseny szabályainak betartását, a benevezett betonkenukat, a résztvevőket és teljesítményüket, a szervezők által felkért, független zsűri fogja értékelni.
2. Az értékelés folyamán 5 kritériumot fog vizsgálni a zsűri, amelyek megvalósulását pontokkal díjazza.
  - A betonkenu tervezése, ötletesség és kivitelezés
  - A betonkenu építését a csapatot és a projektet bemutató kisfilm, prezentáció
  - A betonkenuk 2 perces látványos bemutatása a vízparton.
  - A csapatnak a versenytávokon elért helyezése (2 férfi, 1 vegyes és 1 női futam)
  - Többletpontok: beton páncél/vért.

Az a csapat nyer, amelyik a verseny során a legtöbb pontot éri el.

3. A verseny 1-3. helyezett csapata érem és kupadíjazásban részesül.
4. Továbbá különdíjakat is kiosztanak a rendezők.
5. Minden résztvevő emléklapot kap.
6. A győztes csapat elnyeri az VI. Magyar Mapei Betonkenu Kupát, valamint 1 évre birtokolhatja a Vándorkupát, melyre felkerül a csapat neve.

### **XIX. Nevezés**

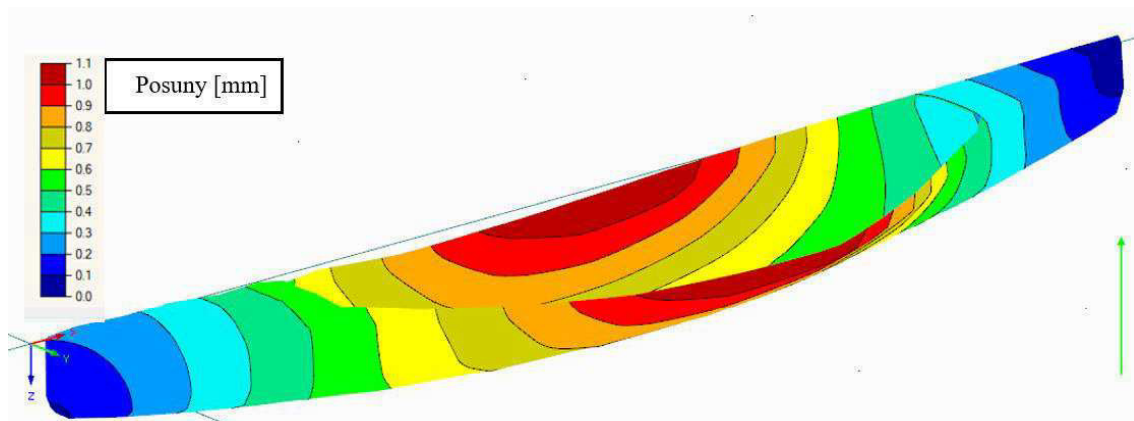
1. A versenyre nevezni az esemény hivatalos honlapján letölthető nevezési lap kitöltésével lehet.
2. Előnevezési határidő: 2017. május 15. (Kérjük a csapatok ezen határidőig küldjék vissza a nevezési lapot, és adják meg az indulók pontos számát.) Az indulók végleges névsorát, a nevezési határidőig 2017. május 30-ig kell elküldeni.
3. A nevezés a nevezési díj befizetésével válik érvényessé.
4. A nevezési díjról a verseny rendezője, a Sailforyou Kft. számlát állít ki, melyet postán és e-mailen is elküld a nevezett csapat számlázási címére.

### **XX. Egyebek**

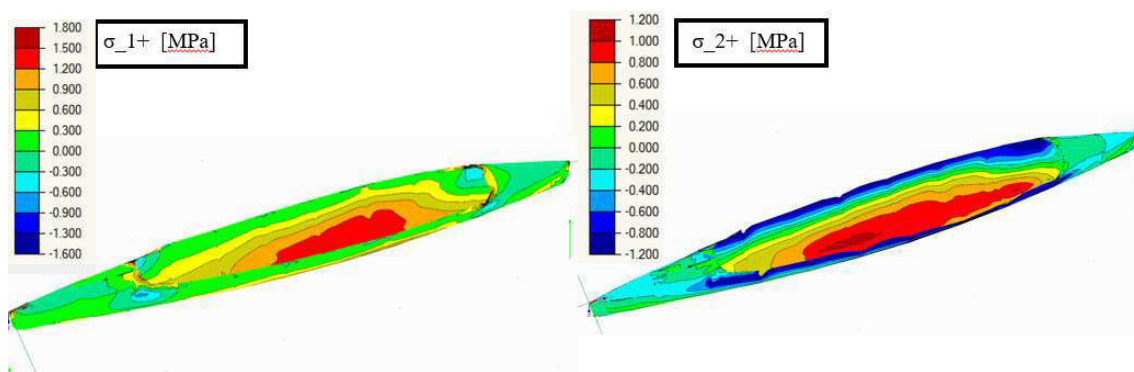
1. A verseny hivatalos web oldala a [www.betonkenu.hu](http://www.betonkenu.hu), ahol további információk elérhetők.
2. A rendezvényen résztvevő csapatoknak a hagyományokhoz híven alkalmuk lesz a sárkányhajós regattán is részt venni.
3. A rendezőség fenntartja a jogot, hogy jelen versenykiírást megváltoztassa, de az itt leírtakat alapvetően irányadónak kell tekinteni, különös tekintettel az építésre vonatkozó paraméterekre.

## 7.2 Příloha č.2 – Výsledky statické analýzy v programu

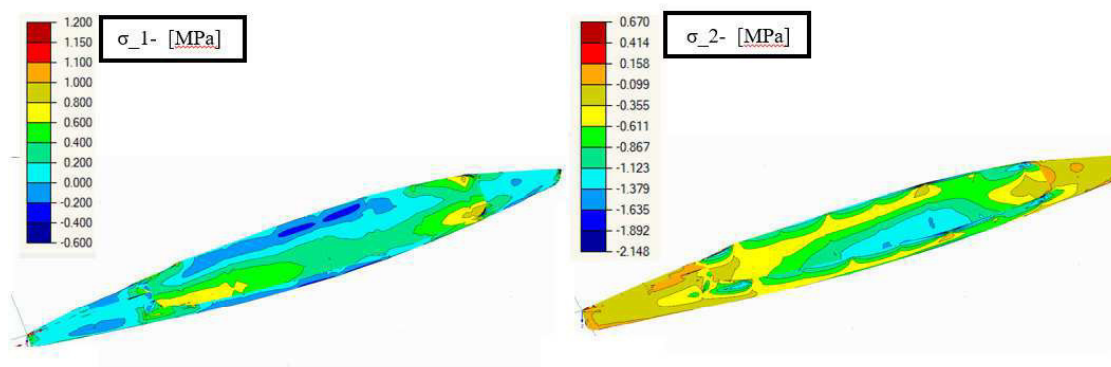
### Dlubal RFEM



Obrázek 52: ZS-1, globální posuny



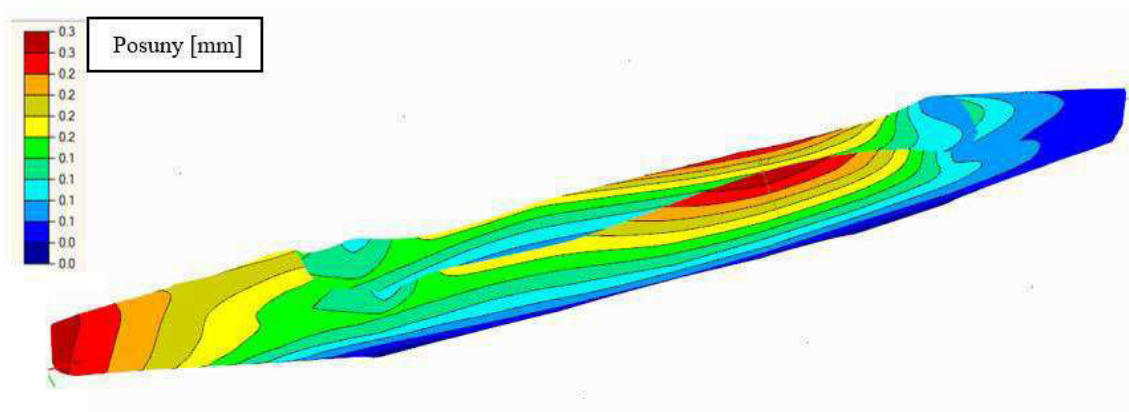
Obrázek 53: ZS-1, hlavní napětí na kladném povrchu (vnitřek lodi)



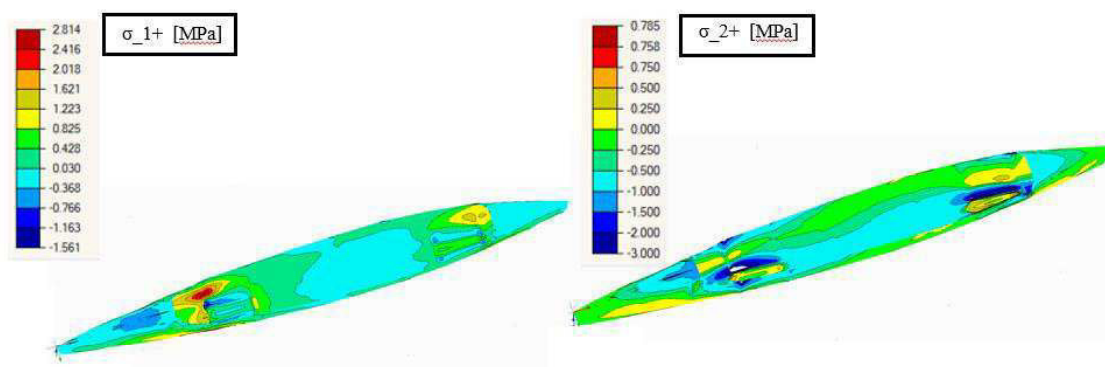
Obrázek 54: ZS-1, hlavní napětí na záporném povrchu (vnější povrch)



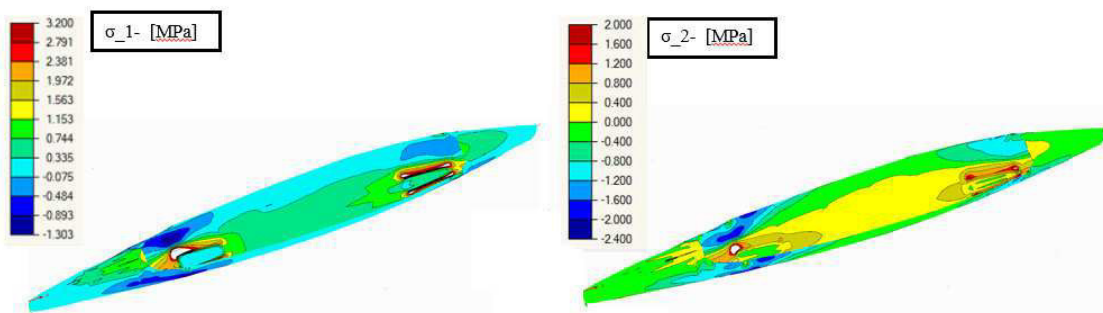
## Dlubal RFEM



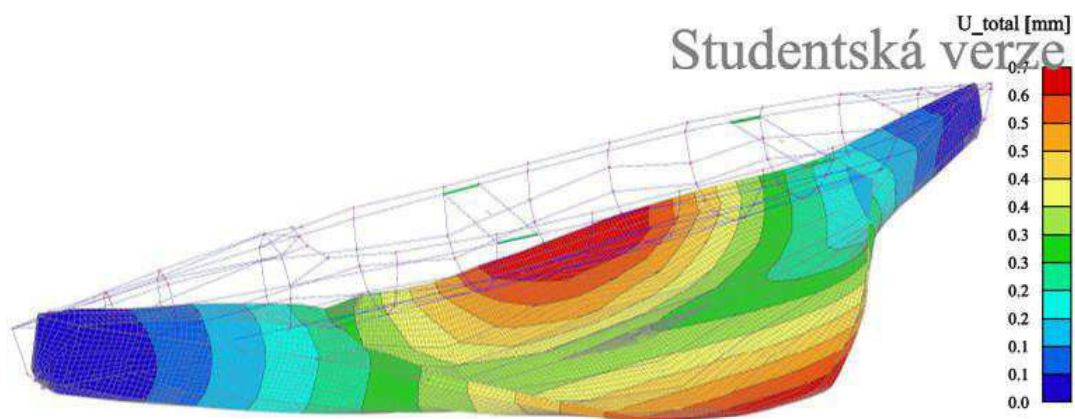
Obrázek 55: ZS-2, globální posuny



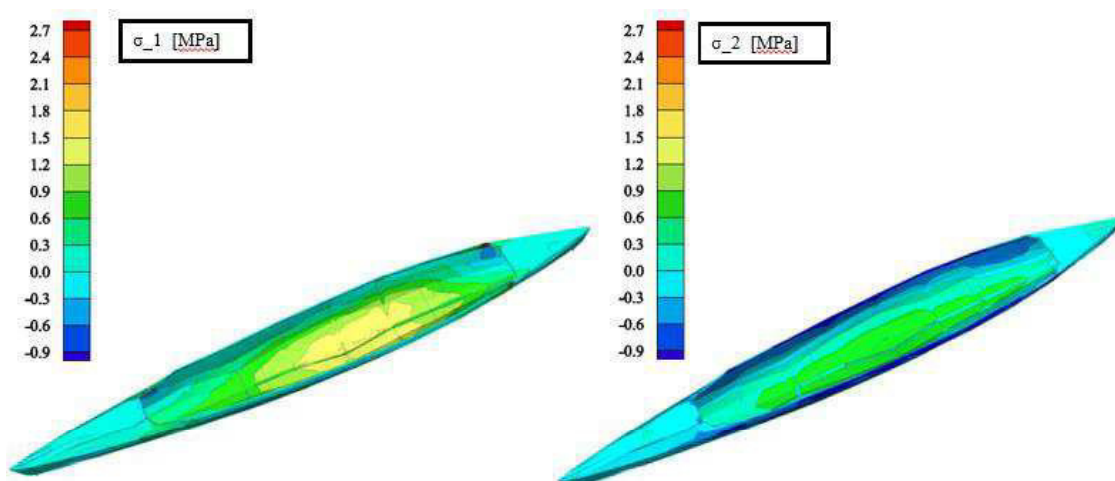
Obrázek 56: ZS-2, hlavní napětí na kladném povrchu (vnitřek lodi)



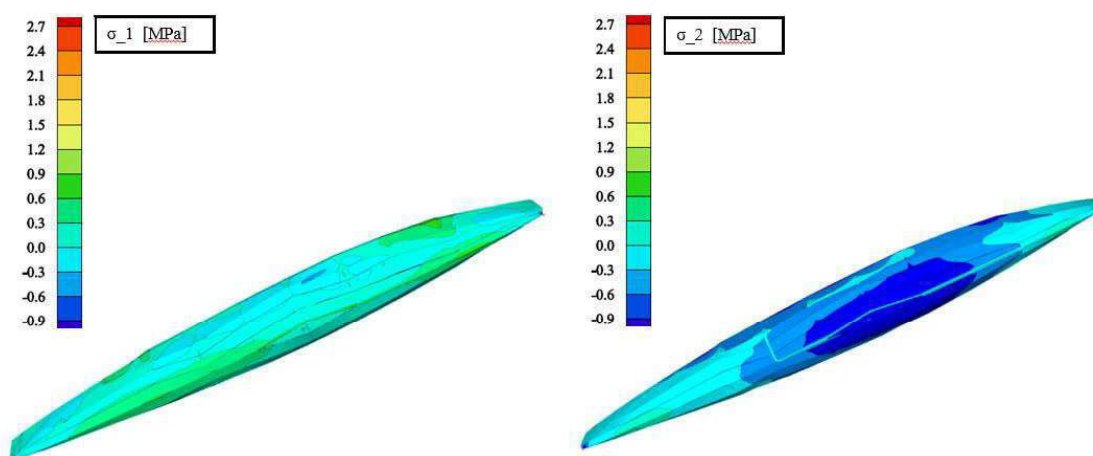
Obrázek 57: ZS-2, hlavní napětí na záporném povrchu (vnější povrch)



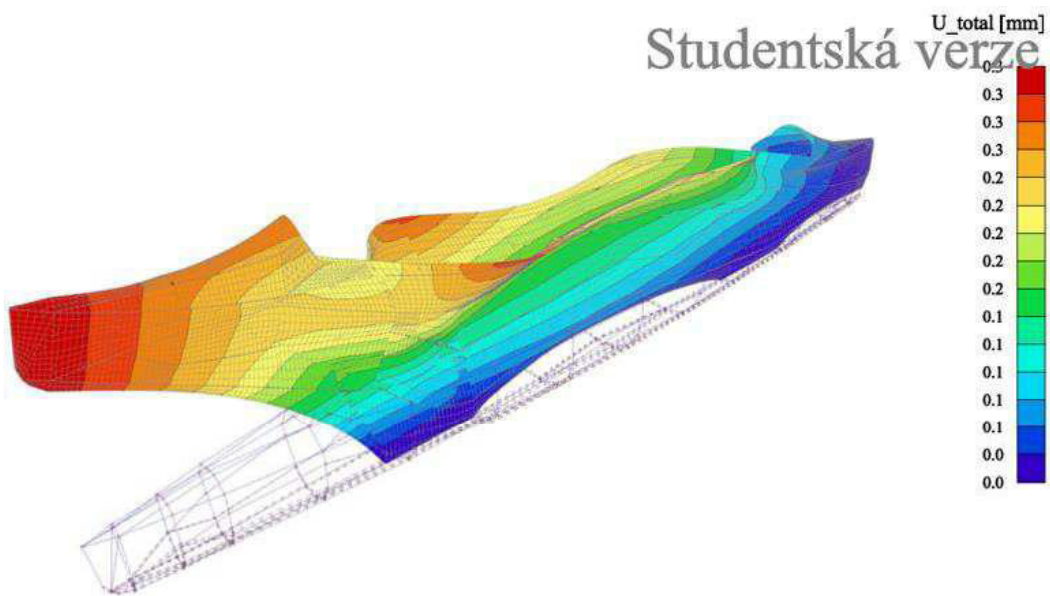
Obrázek 58: ZS-1, globální posun



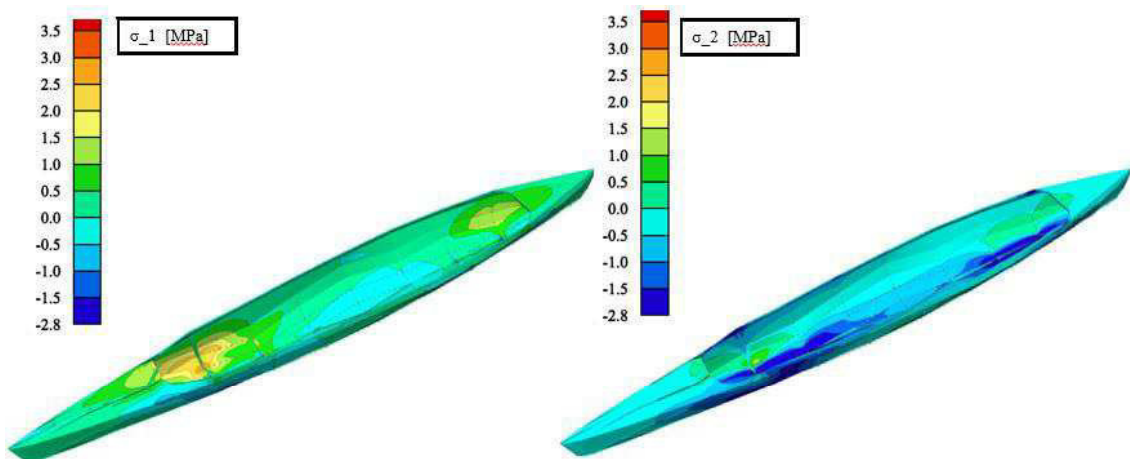
Obrázek 59: ZS-1, hlavní napětí na viditelném povrchu



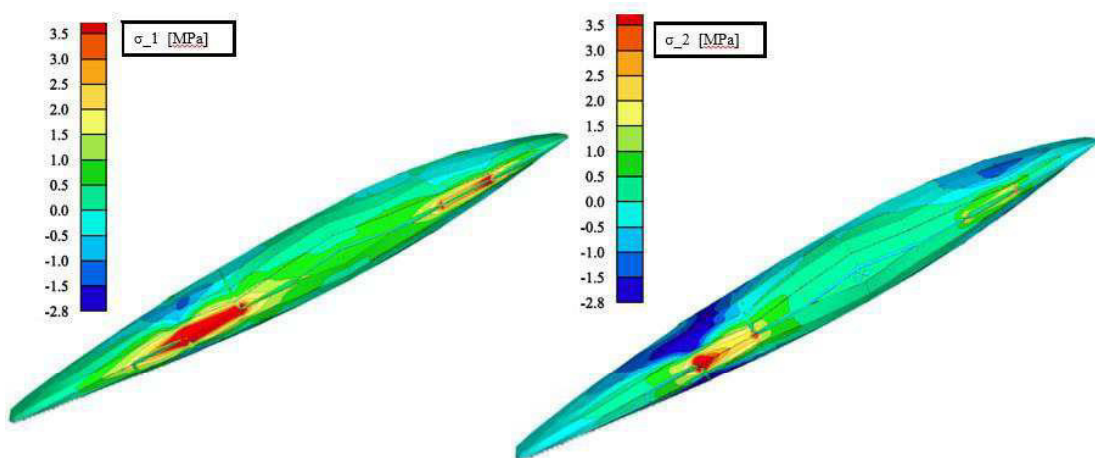
Obrázek 60: ZS-1, hlavní napětí na viditelném povrchu



Obrázek 61: ZS-2, globální posuny



Obrázek 62: ZS-2, hlavní napětí na viditelném povrchu



Obrázek 63: ZS-2, hlavní napětí na viditelném povrchu