



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**

## **Betonové plovoucí prvky**

## **Concrete Floating Elements**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb  
Vedoucí práce: Doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

**Bc. Ondřej Slabý**

---

**Praha 2017**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

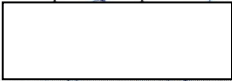
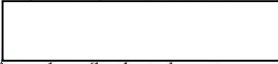
Fakulta stavební  
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**


**I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

Příjmení: <u>Bc. Slabý</u>	Jméno: <u>Ondřej</u>	Osobní číslo: <u>396374</u>
Zadávací katedra: <u>K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>(N3607) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb C</u>		

**II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI**

Název diplomové práce: <u>Betonové plovoucí prvky</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Concrete Floating Elements</u>	
Pokyny pro vypracování: Rozbor problematiky betonových plovoucích prvků. Technologie a možnosti realizace prvků. Návrh plovoucího betonového prvku - konstrukční řešení, výpočet, dokumentace a vyhodnocení pilotních technologií výroby.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>10.10.2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2017</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

**III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ**

<i>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“.</i>	
<u>11.10.2016</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení**

**Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Betonové plovoucí prvky vypracoval samostatně pod odborným vedením Doc. Ing. Jitky Vaškové, CSc. a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu na konci práce.**

Bc. Ondřej Slabý

V Praze dne 6. ledna 2017

.....

podpis

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucí práce Doc. Ing. Jitce Vaškové, CSc. za cenné rady, konzultace, připomínky a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Betotech s.r.o., především pak Ing. Stanislavu Smiřinskému za odborné konzultace, nápady a připomínky v průběhu zpracování práce a dále za přípravu a realizace zkoušek materiálů v laboratořích firmy Betotech s.r.o.

## **ANOTACE:**

Diplomová práce je věnována problematice plovoucích těles se zaměřením na tělesa z betonu. Teoretická část diplomové práce se zabývá vývojem a současným stavem plovoucích těles, jejich návrhu a výpočtu, základní legislativě a pojmům. V části jsou mimo jiné uvedeny základní vlastnosti vláknobetonu jako materiálu uvažovaného a vhodného pro výrobu plovoucích betonových těles. Teoretická část tvoří základní souhrn poznatků a informací pro navazující praktickou část.

Praktická část je věnována problematice návrhu plovoucích těles a zahrnuje příklad konstrukčního a technologického řešení plovoucího tělesa pro rybáře a rekreaci. Rámcově je navrženo i řešení modulových plovoucích betonových pontonů sloužících pro plovoucí těžební stroje. Součástí praktické části jsou pak i návrh, realizace a ověření betonových receptur pro realizaci plovoucích betonových těles. V rámci práce byl realizován zmenšený pilotní výrobek s cílem ověření navržených vlastností a technologie výroby.

Cílem práce je ukázat další možnost využití a aplikace betonu, především pak vláknobetonu, pro plovoucí betonové prvky a zhodnotit výhody a nevýhody oproti běžně používaným materiálům.

## **ANNOTATION:**

This diploma thesis is focused on floating elements, especially on concrete floating elements. The theoretical part of the thesis describes the development and the current state of the floating elements, their design calculations, basic legislation and general definitions. This part includes also the basic properties of fibreconcrete which is used and is suitable for concrete floating elements. The theoretical part is a summary of basic knowledge and provides information for the following research part.

The research part is focused on the design of the floating elements. It also includes constructional and technological solution of vessel for fishermen and for leisure time activities. In the research part there is also partially designed solution for modular concrete pontoons for floating mining machines. This second part also includes the design, realization and verification of the concrete mixtures that are suitable for the concrete floating elements. A pilot product was produced in order to verify the technological parameters and characteristics of its production.

The aim of this thesis is, firstly, to suggest various possibilities for the use of concrete especially fibreconcrete for floating elements. Secondly it was essential to contrast and compare the advantages and disadvantages of fiberconcrete with other commonly used materials.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Plovoucí betonový prvek, plavidlo, ponton, vláknobeton, návrh, zkoušení, pevnost v tlaku, pevnost v tahu, pilotní vzorek

## **KEYWORDS**

Floating concrete element, vessel, pontoon, fibre reinforced concrete, design, testing, compressive strenght, tensile strenght, pilot product

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SLABÝ, Ondřej. *Betonové plovoucí prvky*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>PLOVOUCÍ PRVKY</b> .....	<b>11</b>
2.1	Betonové lodě .....	11
2.2	Betonová ponorka .....	13
2.3	Betonové plovoucí ostrůvky pro rybáky .....	13
2.4	Plovoucí betonová kánoe .....	14
2.5	Plovoucí těžební stroje .....	14
2.6	Plovoucí pontony.....	16
2.7	Plovoucí domy.....	17
<b>3</b>	<b>PROBLEMATIKA NÁVRHU PLOVOUCÍCH TĚLES</b> .....	<b>19</b>
3.1	Archimédův zákon.....	19
3.2	Nepotopitelnost .....	20
3.3	Stabilita plovoucího tělesa.....	20
3.4	Hydrostatický tlak.....	23
3.5	Legislativa, základní pojmy .....	23
<b>4</b>	<b>VLÁKNOBETON</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>PLOVOUCÍ BETONOVÉ TĚLESO PRO RYBÁŘE A REKREACI</b> .....	<b>29</b>
5.1	Navržené plavidlo.....	29
5.1.1	<i>Technologie výroby a polystyrenové jádro</i> .....	31
5.2	Analýza navrženého tělesa .....	33
5.2.1	<i>Stanovení hmotnosti a těžiště plavidla</i> .....	33
5.2.2	<i>Stanovení těžiště nástavby plavidla</i> .....	34
5.2.3	<i>Stanovení potřebného protizávaží</i> .....	36
5.2.4	<i>Výkres plováku</i> .....	37
5.2.5	<i>Hloubka ponoru</i> .....	37
5.2.6	<i>Výpočty a posouzení vybraných zatěžovacích stavů</i> .....	38
5.3	Zhodnocení .....	52
<b>6</b>	<b>MODULOVÉ PONTONY</b> .....	<b>53</b>
6.1	Navržený ponton.....	53
6.2	Spoje pontonů .....	54
6.3	Analýza navrženého pontonu .....	56
6.4	Problematika náhrady oceli betonem pro plovoucí tělesa.....	58
6.5	Cenové srovnání.....	59
<b>7</b>	<b>NÁVRH A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ VLÁKNOBETONU PRO BETONOVÉ PLOVOUCÍ PRVKY</b> .....	<b>60</b>
7.1	Úvod .....	60
7.2	Návrh betonové směsi a složení.....	60



7.3	Příprava a betonáž vzorků .....	63
7.4	Zkoušky ztvrdlého betonu .....	67
7.4.1	<i>Pevnost v tahu za ohybu</i> .....	67
7.4.2	<i>Pevnost v tlaku</i> .....	71
7.4.3	<i>Zkouška nasákavosti</i> .....	74
7.5	Vyhodnocení zkoušek .....	74
<b>8</b>	<b>PILOTNÍ VZOREK</b> .....	<b>76</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURA</b> .....	<b>82</b>

# 1 Úvod

Plovoucí mola, pontony či dokonce plovoucí domy nebo stroje, to jsou plovoucí prvky či zařízení, se kterými se na vodě můžeme často setkat. Tyto prvky nám umožňují vytvořit místo pro posezení téměř na hladině vody, plovoucí restaurace, kavárny či slouží jako přístavní mola. Mimo jiné však některým lidem poskytují možnost bydlení či práce. Plovoucí tělesa jsou ve většině případů realizovány z oceli, dřeva či plastů. Jejich životnost je však vzhledem k vlastnostem uvedených materiálů omezena. I v této oblasti se v současné době začíná využívat betonu, a to především z důvodu jeho výhodných vlastností.

Vláknobeton, jakožto kompozitní materiál s rozptýlenými vlákny ve struktuře se v současné době v praxi uplatňuje stále ve větší míře. Uplatnění nachází nejčastěji stále především při realizaci betonových podlah v průmyslových objektech, skladech, výrobních či prodejních prostorech. Využití vláknobetonu se právě díky výborným vlastnostem za poslední roky rozšířilo ale i do jiných oblastí, a to například pro obkladové fasádní prvky, prvky používané v rámci vybavení dopravní infrastruktury či při aplikaci stříkaných betonů. Tento materiál nám umožňuje použití betonu, respektive vláknobetonu ve zcela nových oblastech, pro nové aplikace, a to i tam, kde beton dříve nemohl být využit. Vláknobeton oproti betonu běžnému nabízí řešení a odstranění mnohých problémů v průběhu celé životnosti výrobku.

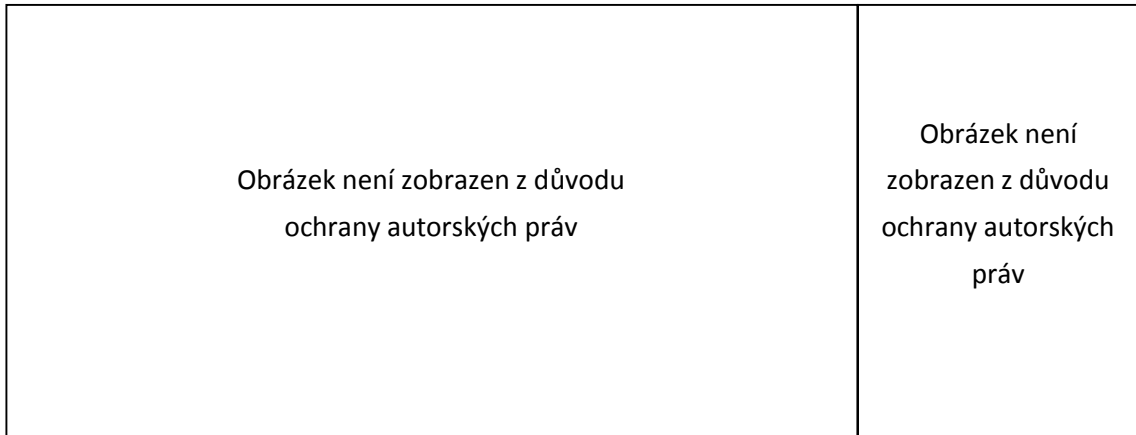
Záměrem diplomové práce bylo spojit tyto dvě oblasti – plovoucí prvky a vláknobeton dohromady a vytvořit tak plovoucí vláknobetonové prvky. Právě při použití vláknobetonu dochází k odstranění nevýhod běžných materiálů pro plovoucí prvky – oceli, dřeva či plastu. Jedním z cílů diplomové práce bylo tedy využít vlastností vláknobetonů a rozšířit jejich aplikace právě pro betonové plovoucí prvky. Ty bývají však v dnešní době vyráběny především z běžně vyztuženého betonu. Právě životnost a houževnatost vláknobetonu jsou jednou z výhod, které je tento materiál schopen nabídnout.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Cílem teoretické části bylo především popsat historii a současné využití betonu pro plovoucí betonové prvky, avšak zmínit i prvky kde se používá jiných materiálů než betonu. Důležité bylo také analyzovat problematiku návrhu a výpočtu plovoucích těles jako podklad pro praktickou část práce. Je též zmíněna alespoň základní legislativa týkající se plovoucích prvků v České republice. Teoretická část je zakončena souhrnem poznatků a vlastností týkajících se vláknobetonů, které jsou pro návrh v praktické části práce použity. Praktická část je věnována příkladu návrhu a použití plovoucích betonových prvků. Tato část obsahuje mimo jiné i návrh a experimentální ověřování vhodné receptury vláknobetonu pro betonové plovoucí prvky, včetně realizace a ověření technologie navrženého způsobu výroby pilotním výrobkem.

## 2 Plovoucí prvky

### 2.1 Betonové lodě

První využití betonu pro „kamenné“ lodě sahá až do roku 1848. Prvním konstruktérem, který použil tento materiál, oproti běžným materiálům oceli či dřeva pro lodě, byl Francouz Joseph Louis Lambot. Člun zhruba o velikosti rybářské pramice byl vyroben pomocí nanášení cementové malty na ocelovou síť. Svou loďku pak úspěšně prezentoval v roce 1855 na pařížské Světové výstavě. Lambot byl zároveň prvním člověkem, který získal patent na stavbu lodí z betonu. [1]

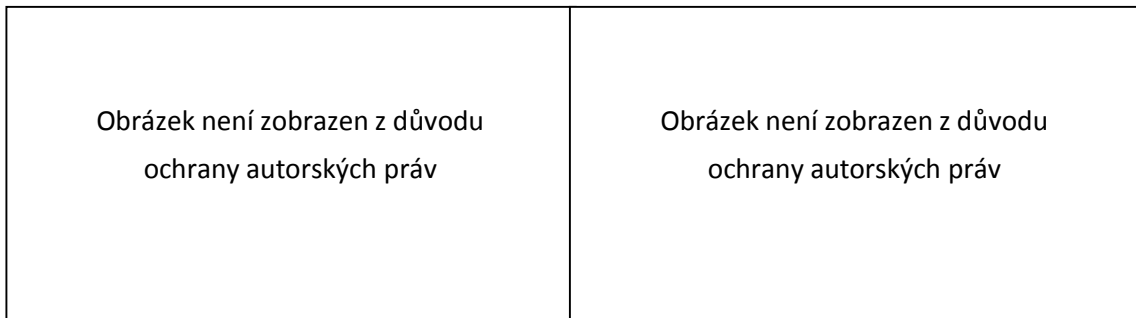


*Obr. 2.1 První betonový člun z roku 1848, Joseph Louis Lambot [1][2]*

Výhodou betonových lodí je tedy především skutečnost, že materiál na stavbu lodí je poměrně levný a dobře dostupný, avšak nevýhodou může být poměrně vyšší hmotnost, horší ovladatelnost či vyšší provozní náklady právě z důvodu hmotnosti. Betonové lodě zároveň vyžadují tlustší trupy oproti lodím z klasických materiálů.

Na myšlenku betonových lodí navázal italský konstruktér Carlo Gabellini, který roku 1896 zkonstruoval první betonovou loď s vlastním pohonem. Na konstrukci lodí použil též ocelové sítě, avšak již v podobě ocelových prutů doplněných o drátěné pletivo. Ocel zajišťovala „pružnou“ a nosnou kostru, beton naopak zajišťoval ochranu oceli před atmosférickými vlivy a tvořil celkovou obálku lodí. Gabelliniho nejznámější lodí byla loď Liguria. [3]

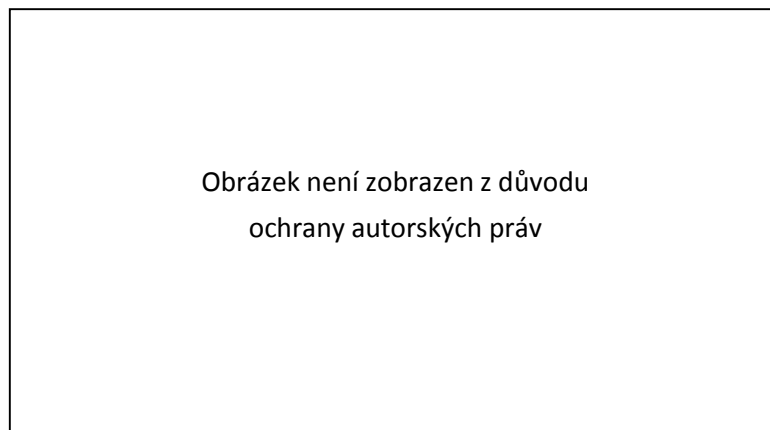
Důležitým rokem v historii betonových lodí byl rok 1917, kdy byla realizována první betonová loď určená pro oceánské plavby. Jednalo se o loď Namsenfjord, jejímž autorem byl Nor Nikolaj Knudtzon Fougner. Loď dosahovala délky 26 m a vážila přibližně 400 tun. Především právě díky této lodi a tomuto člověku se dále stavitelství lodí z betonu rozvíjelo, a to i do Spojených států amerických, kam byl autor pozván s úkolem využití betonu pro stavbu lodí. [1]



*Obr. 2.2 Betonáž betonové lodě [3]*

*Obr. 2.3 Lod' Namsenfjord [3]*

Pravděpodobně nejdůležitějším a nejznámějším je použití betonových lodí během obou světových válek. Důvodem bylo především nedostatek kvalitní oceli v té době a situaci tedy bylo nutné řešit jiným materiálem. V rámci první světové války mělo být vybudováno 24 betonových lodí. Avšak než byly tyto lodě dokončené, válka skončila. Bylo vyrobeno pouze 12 lodí, které byly následně většinou rozprodány soukromníkům. Během druhé světové války se situace opakovala a americká vláda opět zahájila výrobu betonových lodí v počtu 24 kusů. Plavidla dosahovala délky okolo 100 metrů a vážila přibližně 3000 tun. Výstavba takového plavidla trvala zhruba jeden měsíc. Jedním z příkladů betonové lodě z této doby je loď S. S. San Pasqual. [4][5]



*Obr. 2.4 Betonová loď S. S. San Pasqual [5]*

Ani v průběhu 2. světové války však betonové lodě neměly příliš klíčový význam a po jejím ukončení byly opět rozprodány a dále využívány jako převozní lodě, tankery či jako hotely. V dnešní době slouží většinou pouze jako vlnolamy či jako turistické atrakce. [5]

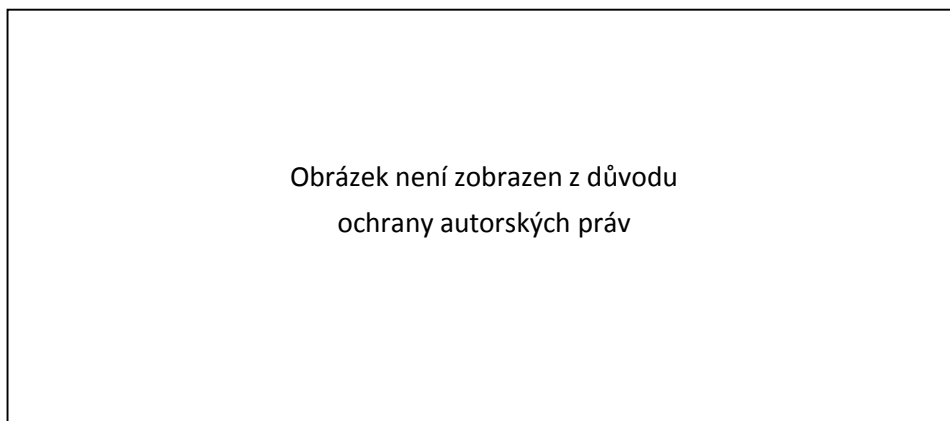
Po ukončení války opět ceny oceli poklesly a od výstavby betonových lodí se opět upustilo. Betonové lodě se v současné době vyrábějí například ve specializovaných továrnách v Číně.

Provedení těchto lodí v dnešní době by bylo pravděpodobně jiné vlivem rozvoje vysokohodnotných betonů a vláknobetonů, jelikož uvedené materiály by umožnily konstrukce jiných, lepších parametrů.

Je tedy možné, že beton jako materiál pro výrobu lodí se tedy opět vrátí, avšak již jako beton jiných vlastností než dříve a výroba betonových lodí se opět začne rozvíjet.

## 2.2 Betonová ponorka

Ačkoli to může znít neuvěřitelně, tak i projekt na betonovou ponorku existuje. Jedná se o tajný projekt Ruska, který vznikl za účelem získání vojenské strategické výhody. Myšlenkou betonové ponorky se však zabýval již v roce 1957 německý inženýr Heinz Lipschutz. Výhod má tato ponorka oproti ponorkám ocelovým hned několik. Betonová ponorka je schopna dosáhnout výrazně větších hloubek, jelikož tvar ponorky zabezpečuje, že při působení hydrostatického tlaku bude tělo ponorky namáháno převážně tlakem. Tato ponorka tím pádem může operovat ve větších hloubkách. Ovladatelnost betonových ponorek je ovšem rozhodně horší oproti ponorkám běžným. Hlavní výhodou pro vojenské účely je však právě materiál ponorky. Beton se totiž v radaru promítá například stejně jako skála či jiný přírodní útvar a pro nepřítele je tedy v podstatě nemožné tuto ponorku zaregistrovat. V praxi pak tato ponorka pouze čeká na dně a po zaregistrování nepřátelských objektů útočí pomocí torpéd. Důležitá je též cena takové ponorky, která vzhledem k ceně materiálu oproti ponorkám ocelovým je mnohem nižší. [4] [6]

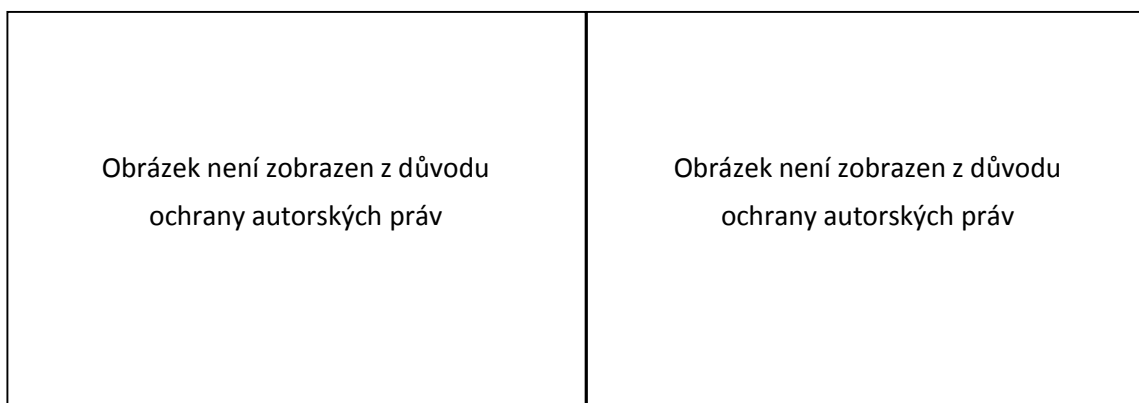


Obr. 2.5 Vizualizace betonové ponorky [6]

## 2.3 Betonové plovoucí ostrůvky pro rybáky

Jedná se o zcela unikátní projekt využití vláknobetonu v praxi pro plovoucí betonový prvek, na kterém se podílela katedra betonových a zděných konstrukcí fakulty Stavební ČVUT v Praze ve spolupráci se společnostmi Betotech s.r.o. a Českomoravský beton. Ostrůvky slouží pro hnízdění ptáků ohroženého druhu – rybáka obecného, kteří hnízdí především na šterkových plochách obklopených vodou. Dříve byly na jezerech pro hnízdění ptáků vytvořeny dřevěné plovoucí ostrůvky či plovoucí barely, jejich životnost však byla velmi krátká a to cca do 5 let. [8]

Ostrůvek z vláknobetonu je šestiúhelníkového půdorysného tvaru o hraně délky 1000 mm a celkové výšce 1700 mm. Výhodou šestiúhelníkového tvaru je možnost spojování ostrůvků do větších útvarů. Tloušťka jednotlivých stěn je 60 mm, dno dosahuje tloušťky 300 mm z důvodu zajištění lepší stability a horní povrch je tvořen deskou tloušťky 50 mm. Horní hrana desky je zároveň doplněna o vyvýšený okrajový lem, chránící ptáky před pádem do vody a proti vlnám. Jádro plovoucího ostrůvku je vyplněné polystyrenem, který zároveň zabraňuje zaplnění dutiny vodou a odlehčuje celý ostrůvek. Pro ostrůvek byl použit vláknobeton třídy FC 60/67 se syntetickými makrovlákny. Celková hmotnost ostrůvku dosahuje 3,5 tuny. [7]

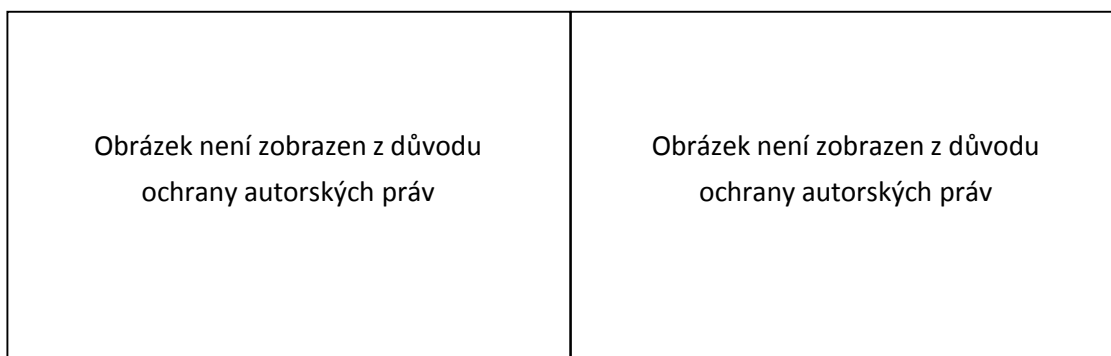


Obr. 2.6 Plovoucí betonové ostrůvky pro rybáky [8][9]

Ostrůvky jsou instalovány na těžebních jezerech společnosti Českomoravský štěrk a.s. v Hulíně či Tovačově na Moravě. Během poměrně krátké doby se ostrůvky osvědčily a do současné doby již bylo realizováno přes 20 těchto plovoucích ostrůvků. [9]

## 2.4 Plovoucí betonová kánoe

Dalším příkladem plovoucího prvku je betonová kánoe vyvinutá studenty Stavební fakulty ČVUT v Praze. Jedná se o 135 kg těžkou, 5,5 m dlouhou kánoi vyrobenou z lehčeného vláknobetonu s objemovou hmotností cca 1200 kg/m<sup>3</sup>. Stěny trupu kánoe dosahují tloušťky pouhých 17 mm. I z tohoto důvodu byl pro stavbu použit právě vláknobeton, avšak zároveň doplněný ještě o výztuž v podobě výztužných sítí ze skleněných vláken a zesilujících žeber. Betonáž kánoe byla prováděna „nanášením“ betonu na předem připravenou formu. Při návrhu kánoe bylo nutné zajistit dostatečnou tuhost, ale i stabilitu, a to s ohledem na celkovou hmotnost lodí. S betonovou kánoí se studenti fakulty zúčastnili závodů pořádaných v nizozemském Utrechtu. [10] [11]

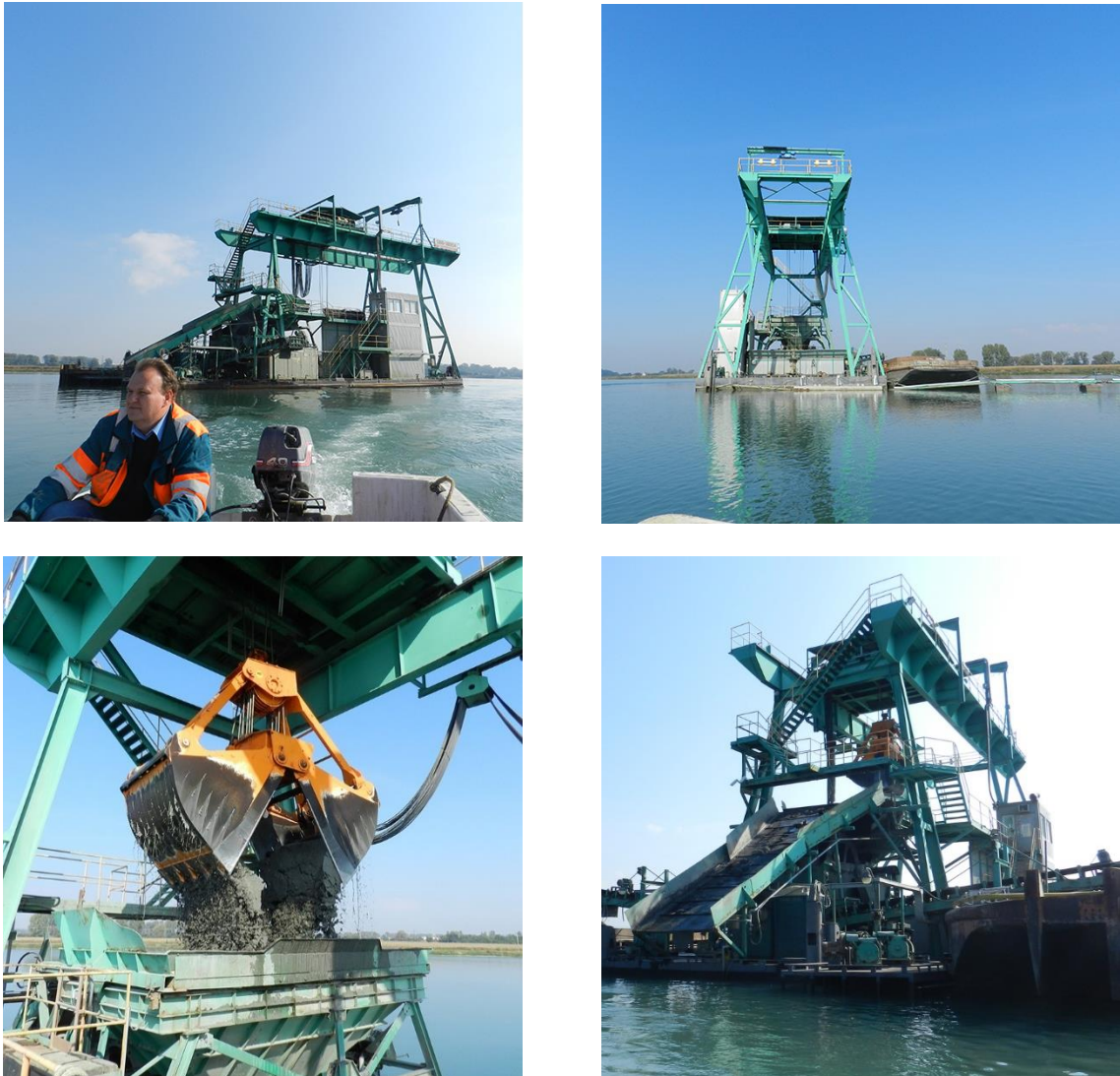


Obr. 2.7 Plovoucí betonová kánoe [10]

## 2.5 Plovoucí těžební stroje

Důležitou oblastí, kde se plovoucí prvky též uplatňují, jsou těžební či jiné pracovní stroje operující na hladině vody. Stroje slouží například pro těžbu štěrku a písků z jezer nebo jako plovoucí pontony pro jiné stroje operující na vodní hladině. Plovoucí konstrukce těchto strojů je však ve většině případů realizována z lodní oceli.

V rámci diplomové práce bylo jedním z cílů posoudit a koncepčně navrhnout možnost využití vláknobetonu pro plovoucí pontony jako základ pro těžební stroje. Za tímto účel autor osobně navštívil štěrkopískovnu v Hulíně, která je jednou z moravských pískoven a štěrkopískoven společnosti Českomoravský štěrk, a.s. Štěrkopísek je těžen z jezera tzv. těžbou „z vody“ a to pomocí drapákových, korečkových a sacích bagrů.



*Obr. 2.8 Plovoucí těžební drapákový bagr Reiter RCM 60*

Problematika náhrady ocelových pontonů za pontony betonové byla autorem diplomové práce osobně diskutována s provozním lomů s p. Ing. Mezlem. Bohužel však k plovoucímu stroji nebyly dohledány zcela kompletní dokumenty a výkresová dokumentace, a proto nebylo možné návrh detailněji zpracovat. Hlavní myšlenka, problémy spjaté s možnou náhradou ocelové konstrukce pontonu a koncepční návrh je dále předmětem praktické části.

Dalším příkladem plovoucích betonových těles mohou být i těžařské plošiny na oceánech a mořích.

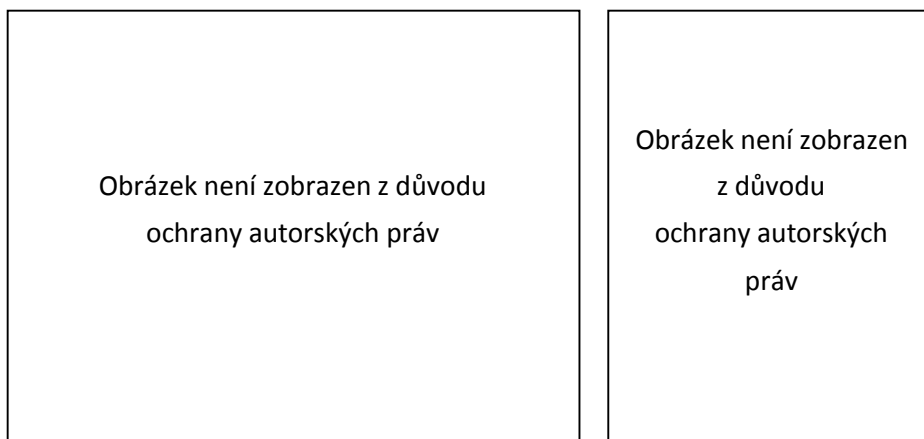


## 2.6 Plovoucí pontony

Plovoucí pontony se využívají především v přístavištích a kotvištích lodí, dále jako vlnolamy či pontony pro rekreaci, opravy na vodě atd. Pontony bývají vyráběny nejčastěji z oceli, dřeva, plastu, ale právě i betonu. V případě ocelových, dřevěných či plastových pontonů bývá často problém především s jejich životností.

U ocelových pontonů, pokud není ocel vhodně a pravidelně ošetřována, dochází působením vody ke korozi. Z tohoto důvodu je nutné provádět pravidelné údržby a ošetřování, které jsou pak v rámci celého cyklu životnosti pontonu poměrně nákladné. Ocelové pontony jsou uvnitř duté, provedené jako vodotěsné. Ponton tak zároveň musí být vybaven zařízením sloužícím pro odvod případného kondenzátu. Toho si lze všimnout v podobě zpětně zahnuté trubky. K zajištění tuhosti a odolnosti pontonu vůči vnějším zatížením je uvnitř dutiny vytvořeno žebrování. Vnitřní prostor musí být zároveň přístupný a kontrolovatelný. Cena materiálu oceli je vysoká a i výroba takového pontonu je poměrně náročná a pracná, což výslednou cenu výrazně prodražuje. Ocelové pontony jsou však stále nejrozšířenějším druhem a jsou využívány od jednoduchých přístavních mol až například po plovoucí stroje jako u těžebních strojů uvedený v předchozí kapitole.

Plastové pontony jsou poměrně náchylné na působení ultrafialového záření, čímž může docházet k jejich degradaci. Plastové pontony jsou často také vzhledem k velikosti méně únosné a odolné, v porovnání s jinými druhy pontonů. Využívají se především pro drobnější aplikace v podobě jednoduchých pontonů pro rekreaci a vodní sporty. Výhodou je však rozhodně nízká hmotnost a rychlost výstavby, kdy se jedná o poměrně jednoduchý modulový systém. Cena na 1 m<sup>2</sup> plochy modulového systému vychází na 5160,- Kč, kdy základní plovoucí prvek o rozměru 500 x 500 mm stojí 1290,- Kč (dle ceníku společnosti CRODOCK.cz s.r.o.). [12]

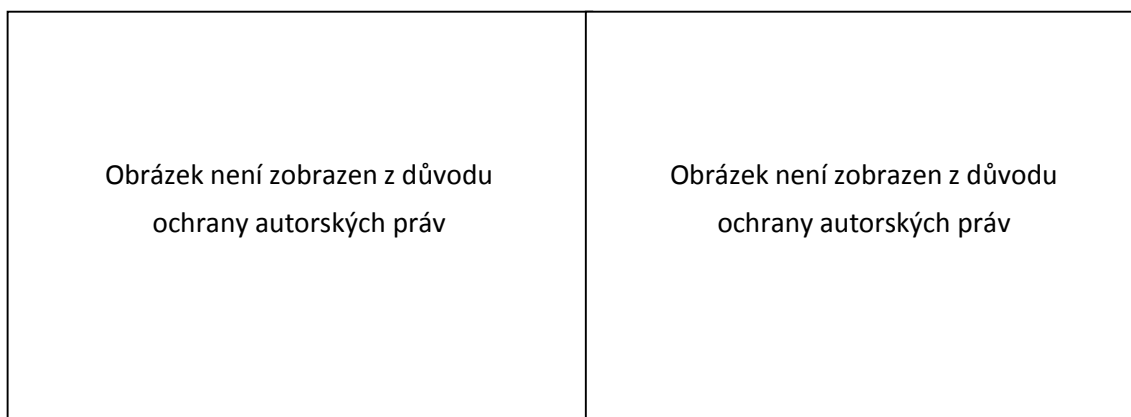


Obr. 2.9 Plovoucí mola CRODOCK [12]

Z výše uvedených důvodů se tedy velmi často používají a začínají být rozšířené pontony betonové. Jejich únosnost při vhodném konstrukčním řešení je vysoká a životnost dlouhá. Pontony bývají nejčastěji vyztuženy pomocí klasické betonářské výztuže v podobě svařovaných sítí krytých dostatečnou tloušťkou betonu. V případě požadavku na tenčí konstrukce je výztuž provedena jako antikorozní. Vnitřní jádro betonových pontonů je ve většině případů tvořeno polystyrenovým jádrem, díky kterému se ponton stává nepotopitelným.



Příkladem jedné z mála aplikací plovoucího betonového pontonu v České republice jsou pontony sloužící jako přístaviště na Vltavě v Českém Vrbném a v Hněvkovicích. Dosahují délky 10 metrů, jejich šířka je 2,4 m a výška 1,1m. Jádro pontonu je tvořeno z extrudovaného polystyrenu, stěny a paluba pontonu jsou tvořeny železobetonem vyztuženým svařovanou výztuží. Dno pontonu je tvořeno pouze povrchem extrudovaného polystyrenu, spodní povrch tedy betonem není chráněn. Pontony je možné kloubově spojovat v podélném směru do větších celků, k čemuž slouží otvory v čelech pontonů. Stabilita a kotvení pontonů jsou zajištěny kluzným spojením se „zabíranými“ sloupy do dna toku. Pontony byly vyrobeny společností Prefa Brno a.s. [13]

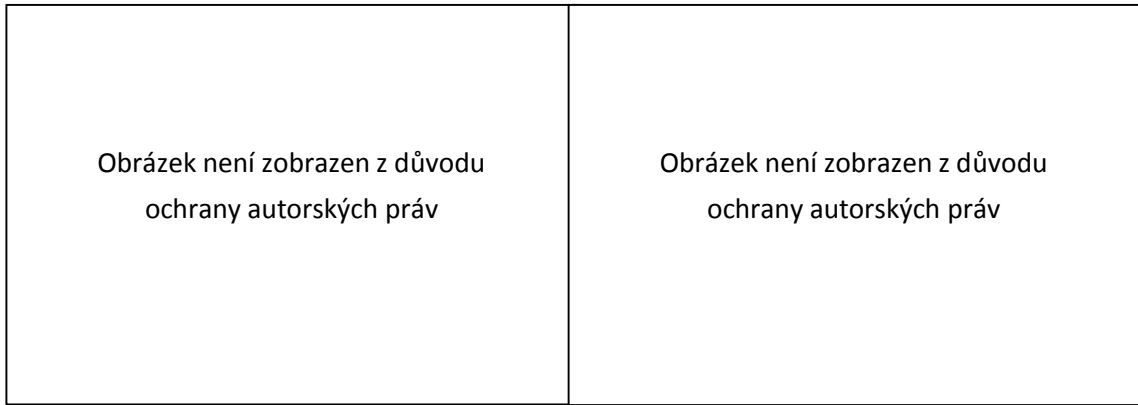


Obr. 2.10 Plovoucí betonový ponton od Prefa Brno a.s. [13]

## 2.7 Plovoucí domy

Vzhledem ke stále se zvyšující populaci obyvatel na Zemi, avšak nepřibývajícím ploše zemského povrchu, se stává použití plovoucích domů čím dál aktuálnější. Nadčasovost tohoto řešení spočívá především v možnosti mobility - kdykoli je možné plovoucí dům odpoutat a přemístit jej na jiné místo. Není tedy nutné se poutat pouze k jednomu místu. Mnoho projekčních a architektonických kanceláří se v současné době začíná tomuto fenoménu poměrně významně věnovat.

Domy bývají umísťovány především na ocelových či betonových pontonech, či bývají realizovány v rámci přestavby konstrukce starší lodi. V dnešní době lze říci, že pro nové objekty tohoto charakteru se nejčastěji uplatňují právě pontony betonové. Domy mohou být realizovány jak zcela mobilní plavidla či jako domy spojené s břehem. Přístup do domu je pak zajištěn spojením s pevninou pomocí můstku a objekt je zároveň k pevnině ve většině případů kotven pomocí ocelových profilů. Další výhodou, kterou je nutné u těchto objektů zmínit je schopnost přizpůsobit se vzestupu vodní hladiny a dále schopnost odolávat zemětřesení. [14] [15]

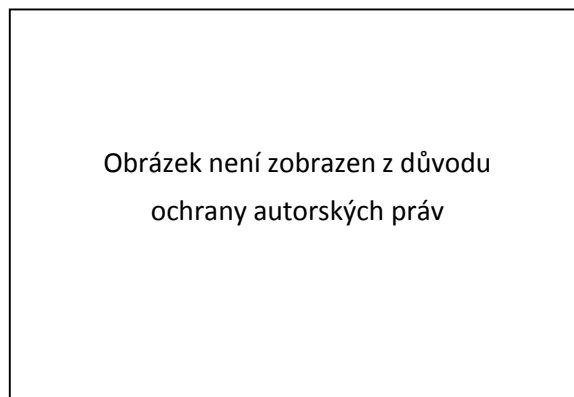


*Obr. 2.11(vlevo) Plovoucí dům z University of Coimbra in Portugal [14]*

*Obr. 2.12 (vpravo) Plovoucí dům v Amsterdamu [15]*

Příkladem země, kde mnoho lidí právě v plovoucích domech žije, je Nizozemsko. V této zemi se snad v každém městě vyskytuje síť kanálů, které jsou především kvůli poměrně vysokým cenám nemovitostí a pozemků plovoucími domy obsazovány.

Jako jeden z příkladů plovoucích objektů z České republiky lze uvést projekt PORT X. Jedná se o modulový systém, kdy pomocí jednotlivých dílů je možné sestavit obytný objekt, plovoucí kancelář či plovoucí galerii požadovaného rozměru. [16]



*Obr. 2.13 Plovoucí objekt projekt PORT X [16]*

Výše uvedené příklady a realizace jsou pouze částečným výčtem toho, s jakými plovoucími prvky se můžeme setkat a co vše se z betonu dá vyrobit.

## 3 Problematika návrhu plovoucích těles

### 3.1 Archimédův zákon

Archimédův zákon je jedním ze základních zákonů hydrostatiky. Jedná se o zákon statiky platící pro tekutiny v klidu. Slovní definice zákona je: „*Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná tíze kapaliny tělesem vytlačené.*“ [20]

Na těleso nacházející se v kapalině působí tíhová síla  $F_G$  a to směrem svisle dolů a vztlaková síla  $F_{VZ}$ , ta směřuje svisle vzhůru. Velikost síly  $F_G$  je vyjádřena:

$$F_G = m \cdot g = V \cdot \rho_T \cdot g$$

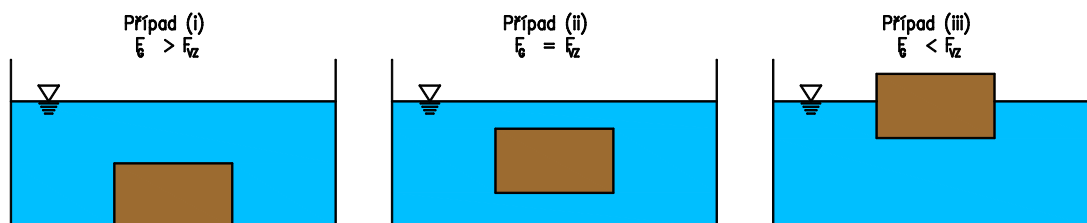
Tíhová síla  $F_G$  je přímo úměrná objemu tělesa  $V$ , hustotě tělesa  $\rho_T$  a tíhovému zrychlení  $g$ . Velikost vztlakové síly je možné vyjádřit takto:

$$F_{VZ} = V \cdot \rho_K \cdot g$$

Vztlaková síla  $F_{VZ}$  je přímo úměrná objemu ponořené části tělesa  $V$ , hustotě kapaliny  $\rho_K$  a tíhovému zrychlení  $g$ .

V závislosti na velikosti jednotlivých sil  $F_{VZ}$  a  $F_G$  při plování těles v kapalinách mohou nastat celkem 3 jevy:

- (i)  $F_G > F_{VZ}$  – při tomto stavu těleso klesá ke dnu, jelikož jeho tíha je větší než vztlaková síla, nastává tedy právě v případě, pokud  $\rho_T > \rho_K$
- (ii)  $F_G = F_{VZ}$  – při tomto stavu se těleso vznáší v kapalině, jelikož jeho tíha se právě rovná vztlakové síle, nastává tedy právě v případě, pokud  $\rho_T = \rho_K$
- (iii)  $F_G < F_{VZ}$  – při tomto stavu těleso plave na hladině kapaliny, jelikož jeho tíha je menší než velikost vztlakové síly, nastává tedy právě v případě, pokud  $\rho_T < \rho_K$



Obr. 3.1 Případy plování těles

Pro plovoucí tělesa je nejdůležitější 3 případ - průměrná hustota tělesa ponořeného do kapaliny je nižší než hustota kapaliny, to zaručuje, že tělesa či lodě plavou na hladině.

Důležitou otázkou spojenou s Archimédovým zákonem a návrhem plovoucích těles je právě otázka: Jak velkou částí bude těleso při plování v kapalině vynořeno? Řešení je následující:

$$F_G = F_{VZ}$$

$$V_T \cdot \rho_T \cdot g = V_{PC} \cdot \rho_K \cdot g \quad (m \cdot g = A \cdot h \cdot \rho_K \cdot g - \text{pro případ pravidelných těles})$$

kde  $V_T$  je objem tělesa

$m$  je hmotnost tělesa

$\rho_T$  je hustota tělesa

$A$  je plocha dna tělesa

$g$  je tíhové zrychlení

$h$  je výška tělesa ponořená v kapalině [20]

$V_{PC}$  je objem ponořené části tělesa

$\rho_K$  je hustota kapaliny

## 3.2 Nepotopitelnost

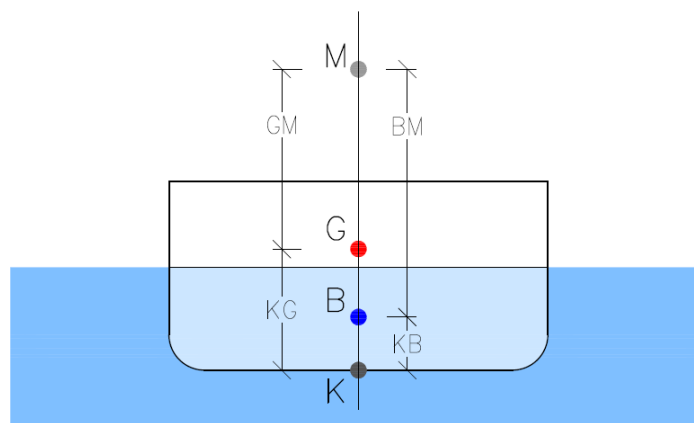
Jedná se o schopnost plavidla či tělesa v případě, kdy dojde k zaplavení některé z jeho vnitřních částí, setrvat na hladině, respektive se nepotopit. Příkladem nepotopitelného tělesa je právě například betonový plovoucí ponton, jehož jádro je zcela vyplněné lehkým materiálem – polystyrenem či pěnou. V případě, kdy loď či ponton je členěn na jednotlivé komory, je nutné nepotopitelnost ověřit výpočtem pro případ kdy dojde k zaplavení některé komory. [17]

## 3.3 Stabilita plovoucího tělesa

Druhým důležitým faktem pro správné chování a posouzení plovoucího tělesa je jeho stabilita. Stabilita tělesa může být narušena okolními vlivy, jako je například nerovnoměrné zatížení (osoby stojící na jedné straně tělesa), vlny na hladině či vítr. U plovoucích těles rozeznáváme příčnou a podélnou stabilitu.

Plovoucí těleso se nachází v rovnováze právě když

- (i) hydrostatický tlak se rovná vlastní tíze tělesa,
- (ii) těžiště tělesa a těžiště vytlačené vody jsou na společné svislici tzv. ose plování a
- (iii) momentové účinky na těleso jsou rovny nule. [18]

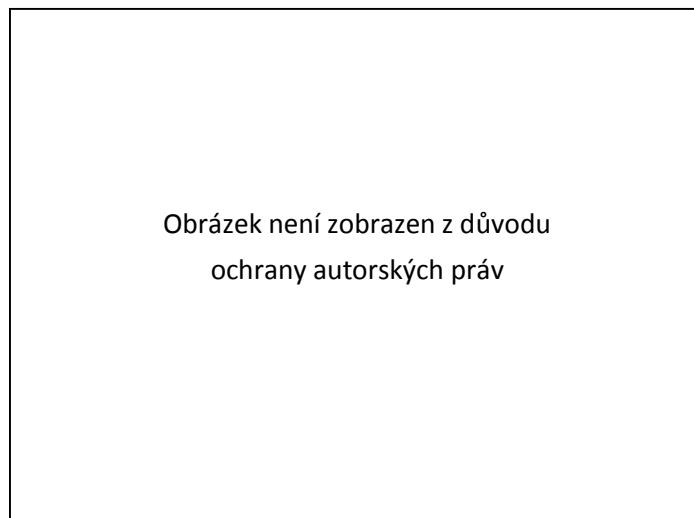


Obr. 3.2 Základní důležité body plovoucího tělesa

Na obrázku 3.2 jsou vyobrazeny základní důležité body plovoucího tělesa pro posouzení stability a označení jednotlivých vzdáleností mezi nimi.

- Bod G – je těžiště plovoucího tělesa, kdy v tomto bodě je uvažováno působení gravitační síly svisle dolů, která se rovná tíze tělesa
- Bod B – je výtlačové těžiště, kdy v tomto bodě je uvažováno působení vztlačové síly svisle nahoru, která se rovná tíze vody vytlačené
- Bod K označuje spodní hranu plovoucího tělesa, respektive jeho dno
- Bod M označuje takzvané metacentrum, jedná se o průsečík vztlačové síly s rovinnou souměrnosti, respektive osou plování. Jeho získání je popsáno dále.
- Svislá vzdálenost bodů GM se nazývá metacentrickou výškou.

Při působení vnější síly mimo těžiště plovoucího tělesa dojde k natočení celého tělesa o určitý úhel  $\theta$ , vytlačený objem zůstává zachován. Dojde k natočení tělesa okolo bodu O, kdy bod O je průsečíkem osy souměrnosti tělesa a vodní hladiny. Nově vynořená část tělesa – obrazec  $WOW_1$  odpovídá nově zanořené části tělesa – obrazec  $LOL_1$ . Výtlačkové těžiště – bod B se nově přesune do bodu  $B_1$ . Vychýlením tělesa se mění vzájemná poloha bodů B a G. Body  $B_1$  a G již neleží na svislici a tím vzniká moment dvojice sil – otáčivý moment M, pomocí kterého se při dané výchylce  $\theta$  definuje statická stabilita. U momentu je důležitá jeho velikost a směr působení. Pokud moment působí proti výchylce, těleso se vrátí do původní polohy. V případě, kdy moment působí ve směru natočení, dojde k překlopení tělesa. Stabilita platí pro malé úhly náklonu do  $\theta=15^\circ$ . [18]



Obr. 3.3 Natočení tělesa při působení síly mimo těžiště [18]

Stabilitní moment je dán vztahem:

$$M = w \cdot |GZ|$$

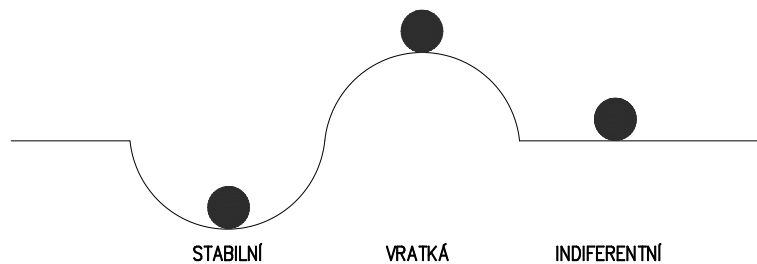
Vzájemná poloha bodů G a M je důležitá z pohledu stability a může nastat několik případů.

(i) **Stabilní rovnováha** nastane v případě, pokud metacentrum M se nachází nad těžištěm tělesa G ( $GM > 0$ ), neboli metacentrická výška je pozitivní. Pokud tedy těleso vychýlíme, samovolně se posléze vrátí do původní rovnovážné polohy. Rozsah stability tělesa, pro který je zachována rovnováha, je udáván v rozmezí  $\theta$ .

Vzdálenost GM je dále důležitá pro chování tělesa. Pokud je vzdálenost GM poměrně velká (v řádu jednotek metrů), je rameno otáčení momentu také velké. Těleso se natáčí v malých výchylkách, ale rychle se opakujících periodách. Perioda lodi je doba, za kterou se loď vrátí, resp. „zhoupne“ z jedné strany na druhou a zpět do výchozí polohy. Takové těleso je označováno jako „tuhé“. Pokud je vzdálenost GM poměrně malá (v řádech desítek centimetrů), je rameno otáčení momentu také malé. Těleso se natáčí ve velkých výchylkách, ale pomaleji se opakujících periodách. Takové těleso je označováno jako „měkké“. Ideálním stavem je, aby těleso nebylo ani příliš tuhé ani měkké. Optimální metacentrická výška se udává, že je okolo 5% šířky lodi. Velikost GM je různá pro různé druhy lodí a jejich využití.

(ii) V případě, kdy metacentrum M splývá s těžištěm tělesa G ( $GM = 0$ ), jedná se o případ **indiferentní rovnováhy**. Moment otáčení tělesa je nulový, tudíž těleso se nevrátí do původní polohy. Pokud je těleso vychýleno, zůstane vždy v nově vychýlené pozici a těleso tedy pluje v jakékoli poloze.

(iii) Poslední případ nastane, pokud se metacentrum M nachází pod těžištěm tělesa G ( $GM < 0$ ), metacentrická výška je tak záporná a těleso pluje v takzvané **vrátké rovnováze**. Moment otáčení působí ve směru výchylky, kdy se vzrůstající výchylkou vzrůstá i velikost momentu až do „překlopení“ tělesa. [17][18]



Obr. 3.4 Stav rovnováhy

Řešení stability pro velké úhly náklonu je výpočet časově a odborně náročný. Pro velké úhly není totiž možné použít vztahy uvedené výše, jelikož metacentrum si již nenachází na témže místě na nakloněné ose plování. Úhel náklonu do  $15^\circ$  však ve většině případů dostačuje pro posouzení, jelikož při náklonech větších již dochází například k zaplavení paluby, což je z pohledu používání nepřipustné. [17] [18]

Příčná stabilita plovoucích těles bývá výrazně nižší oproti stabilitě podélné, která kvůli větší délce v podélném směru je vyšší. Metacentrum se v tomto případě nachází výrazně výše. [18]

### Výpočet metacentrické výšky

Metacentrická výška závisí na tvaru lodi či tělesa, vlastní hmotnosti a hmotnosti případného nákladu. Tyto faktory ovlivňují polohy jednotlivých bodů G, K, B a M. Vzdálenosti bodů KG a KB lze jednoduše dopočítat pomocí Archimedova zákona. Ostatní parametry je nutné dopočítat výpočtem uvedeným dále. Jedná se o příklad výpočtu pro pravidelné těleso kvádru.

$$GM = KB + BM - KG \quad (\text{označení bodů viz obr. 3.2})$$

$$BM = \frac{I_T}{\nabla} [m]$$

$$I_T = \frac{LB^3}{12} [m^4]$$

$$\nabla = A \cdot B \cdot C [m^3]$$

kde  $I_T$  je moment setrvačnosti tělesa

$\nabla$  je objem vytlačené vody tělesem

Pokud  $GM > 0$ , je těleso stabilní, pokud  $GM = 0$ , je těleso v indiferentní rovnováze a pokud  $GM < 0$ , je těleso ve vrátké rovnováze. [18]

### 3.4 Hydrostatický tlak

Hydrostatická síla vzniká v kapalině vlivem působení tíhového pole na jednotlivé částice kapalné látky. Kapalina touto silou působí na dno nádoby, ve které se kapalina nachází, na stěny nádoby, ale i na všechna tělesa do kapaliny ponořená. Tlak, který je hydrostatickou silou vyvolán, se označuje jako hydrostatický tlak, který tedy působí všemi směry. Hydrostatický tlak je definován následovně:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

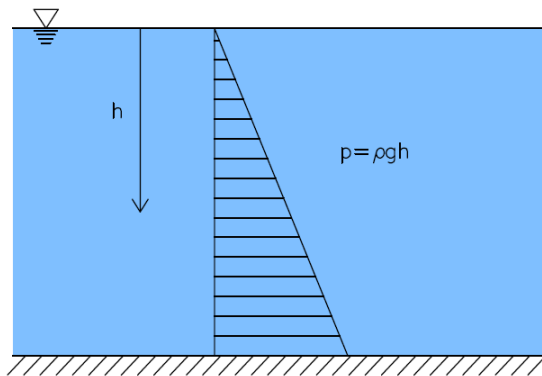
kde  $p$  je hydrostatický tlak,

$h$  je hloubka pod povrchem kapaliny,

$\rho$  je hustota kapaliny a

$g$  je tíhové zrychlení

Velikost hydrostatického tlaku je tedy přímo úměrná hloubce. Průběh velikosti hydrostatického tlaku je uveden na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 Průběh hydrostatického tlaku

Pro velikost hydrostatické síly působící na plochu o určitém obsahu  $S$ , nacházející se v určité hloubce  $h$  poté platí definice:

$$F_h = S \cdot h \cdot \rho \cdot g$$

Důležitým faktem je, že velikost této síly nezávisí na tvaru nádoby a pro různé nádoby, avšak stejné výšky, respektive stejné výšky hladiny je velikost síly stejná. Tento jev se nazývá hydrostatický paradoxon. [19]

Problematika návrhu především lodních těles je složitá, avšak zajímavá. Problematice jsou podrobně věnovány zvláštní obory a odvětví především v oblasti strojírenství a dopravního inženýrství.

### 3.5 Legislativa, základní pojmy

Při návrhu a provozování plavidla či jiného plovoucího tělesa na našich vodních tocích či nádržích je samozřejmě nutné držet se platných norem a předpisů. K plavebnímu provozu a plavidlům se pojí mnoho zákonů a vyhlášek platných v České republice. Hlavní činnost v této oblasti vykonává správní úřad - Státní plavební správa. Úřad má na starosti vykonávat státní

správu a dozor při provozování plavby, vydávání osvědčení k vedení plavidel, schvaluje technickou způsobilost plavidel a vede evidenci plavidel.

Legislativa v této oblasti je poměrně rozsáhlá. Po prostudování legislativy zde autor uvádí seznam alespoň nejdůležitějších zákonů a vyhlášek týkajících se vnitrozemské plavby, plavidel, jejich třídění a požadavky. Níže uvedené dokumenty byly podkladem pro praktickou část této práce.

**zákon č. 114/1995 Sb., o vnitrozemské plavbě, ve znění pozdějších předpisů [21]**

Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie, zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Evropské unie a upravuje

- a) vymezení vodních cest a jejich správu,
- b) podmínky provozování plavidel na vnitrozemských vodních cestách,
- c) pravidla plavebního provozu,
- d) podmínky provozování vodní dopravy na vnitrozemských vodních cestách,
- e) působnost a pravomoc správních orgánů v oblasti plavby.

**vyhláška Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb., o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí, ve znění pozdějších předpisů [22]**

**vyhláška Ministerstva dopravy č. 223/1995 Sb., o způsobilosti plavidel k provozu na vnitrozemských vodních cestách, ve znění pozdějších předpisů [23]**

Tato vyhláška zároveň definuje znaky jednotlivých plavidel a vysvětluje dále důležité pojmy.

Jednotlivé druhy plavidel tvoří:

- a) lodě, které se dále dělí dle využití a účelu,
- b) plovoucí stroje,
- c) plovoucí zařízení,
- d) jiná ovladatelná plovoucí tělesa (dále jen "plovoucí těleso").

Základním znakem lodě je její určení pro:

- a) dopravu osob, nákladů nebo nesených zařízení,
- b) dopravu jiných plavidel vlečením, tlačáním nebo bočním vedením,
- c) jiné účely spojené s opakovaným přemísťováním po vodní cestě.

Základním znakem **plovoucího stroje** je jeho vybavení mechanickým zařízením pro práci na vodní cestě nebo v přístavu. Plovoucím strojem je např. plovoucí bagr, plovoucí jeřáb, plovoucí čerpací stanice, plovoucí beranidlo apod.

Základním znakem **plovoucího zařízení** je, že není vybaveno vlastním strojním pohonem ani zařízením pro své ovládání při plavbě a není určeno pro opakované přemísťování na vodní cestě, plovoucí zařízení je zpravidla vyvázané nebo jinak upevněné na stálém stanovišti. Plovoucím zařízením je např. plovoucí přístavní můstek, plovoucí dok, plovoucí garáž, plovoucí plovárna, botel apod.



Základním znakem **plovoucího tělesa** je to, že jako předmět nebo pevné seskupení předmětů je schopné ovladatelně plout na hladině, přičemž není lodí, plovoucím zařízením ani plovoucím strojem.

Vyhláška 223/1995 Sb. zároveň definuje provádění pravidelných technických prohlídek. Součástí vyhlášky 223/1995 Sb. je též příloha č. 1, která stanovuje technické podmínky způsobilosti lodí a plovoucích strojů, dále pak požadavky na konstrukci plavidel.

**vyhláška Ministerstva dopravy č. 334/2015 Sb.**, o vedení rejstříku malých plavidel a technické způsobilosti malých plavidel, převozních lodí a plovoucích zařízení k provozu na vodních cestách, ve znění pozdějších předpisů [24]

Vyhláška především definuje technické požadavky na bezpečnost provozu malých plavidel a podmínky technické způsobilosti malých plavidel.

**Malé plavidlo** je definováno jako plavidlo, které svou velikostí nesplňuje parametry lodě, kdy jeho délka nepřesahuje 20 m a jehož objem vypočtený jako součin délky, šířky a ponoru je menší než 100 m<sup>3</sup>. Zároveň musí být splněna podmínka, že plavidlo není určeno či používáno k vlečení, tlačení či vedení v bočně svázané sestavě a plavidlo nesmí zároveň sloužit k přepravě více než 12-ti osob a nesmí být plavidlem převozním.

## 4 Vláknobeton

Vláknobeton jako kompozitní materiál se odlišuje od běžných betonů obsahem rozptýlených vláken ve struktuře. Vláken, jejich materiálů, pevností, druhů a rozměrů existuje v dnešní době široké spektrum, které se zároveň stále významně rozvíjí. V rámci aplikace vláknobetonu pro konstrukce či výrobky je tedy možné vybrat vlákna, která budou právě pro danou aplikaci nejvhodnější. Použití vláknobetonu nachází v dnešní době stále nové oblasti aplikace.

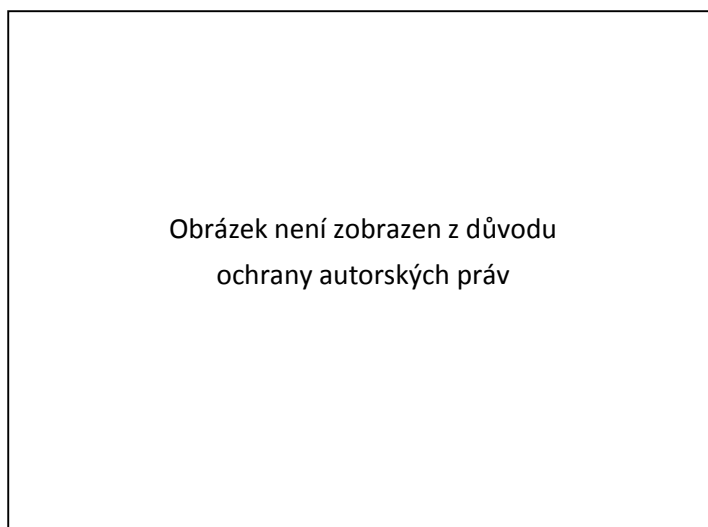
Počátky myšlenky použít rozptýlené výztuže pro zpevňování materiálů jsou staré více než 4500 let. Důvodem byla snaha o vytvoření kompozitu se zvýšenou tvrdostí a odolností. Příkladem aplikace z této doby je při výrobě hliněných cihel, kdy se za tímto účelem do materiálu přidávala sláma a později i koňské žíně. Jedním z prvních lidí, který se právě problematikou vyztužením betonu zabíral, byl již jednou zmíněný Joseph Lambot, který vytvořil nový stavební materiál, kdy do betonu přidával výztuž v podobě drátů či drátěného pletiva. V roce 1855 si nechal tento pokrok ve Francii patentovat pod názvem Ferricement, kdy tento název se používá i v dnešní době. Od této doby však uplynulo mnoho času a sláma je nahrazena jinými sofistikovanějšími materiály. V posledních letech tato oblast prochází rozsáhlým vývojem, zkoumáním a především rozšiřováním aplikací v praxi. [25] [26]

V praxi jsou vláknobetony využívány především pro jejich výhody, jako jsou například (i) zvýšení houževnatosti, (ii) zvýšení tlakové a tahové pevnosti v případě použití především ocelových vláken, (iii) schopnost přenášet tahové napětí i po vzniku makrotrhlin, (iv) možnost výroby tenkostěnných konstrukcí bez běžné betonářské výztuže jako jsou například fasádní prvky či jiné prefabrikované prvky nebo (v) zvýšení životnosti, trvanlivosti konstrukce či mechanických vlastností (mechanické opotřebení či obrus). Rozptýlená vlákna v betonu mají příznivý vliv též v procesu tuhnutí a tvrdnutí betonu, dále pak na objemové změny v průběhu životnosti. Jednou z důležitých výhod vláknobetonu je také zjednodušení, zrychlení a tím i zlevnění výroby u některých betonových prvků. Rozptýlenými vlákny tak může být částečně nahrazena běžná betonářská výztuž. [27]

Vláknobetony lze dělit do několika skupin dle funkcí – nenosný či nosný vláknobeton, druhu použitých vláken – ocelová, polymerní či skleněná, či použité výztuže – vláknobeton doplněný o betonářskou výztuž, předpínací výztuž či pouze jako prostý vláknobeton.

**Polymerová vlákna** se používají především k redukci či potlačení vzniku trhlin způsobených smršťováním betonu. Vlákna mohou být přímá či tvarovaná, různých délek a průměrů. Vlákna jsou korozivzdorná, nemagnetická, většinou chemicky odolná a dosahují pevností v tahu v rozmezí od 200 MPa do 800 MPa. Youngův modul pružnosti bývá nižší než 10 000 MPa. Oproti vláknům ocelovým je tedy toto nevýhoda. Nevýhodou může být i ztráta pevnosti při vyšších teplotách. Polymerová vlákna se dělí na makrovlákna (s průměrem > 0,3 mm) a mikrovlákna (s průměrem < 0,3 mm). Mikrovlákna se dále dělí na monofilamentická vlákna (jednovlákna) a fibrilovaná vlákna (vláknitá). [25] [28]

**Ocelová vlákna** (drátky) jsou v současné době pravděpodobně nejrozšířenější vlákna používaná pro vláknobeton. Cíleně je možné vybírat z ocelových drátků různých průměrů, tvarů, délek a koncových úprav, a tím dosáhnout požadovaných vlastností vláknobetonu. Právě zakončení drátků je z pohledu jejich funkce v betonu velmi důležité. Vlákna bývají vyráběna z ocelí s pevností převyšující 1000 MPa, u vysopevnostních drátků pak pevnost oceli přesahuje 2000 MPa. Drátky zlepšují tahové a tlakové vlastnosti betonu. Krátké drátky délky přibližně 10 mm jsou pak nedílnou součástí vysokopevnostních betonů. Drátkobetony se stále nejvíce využívají při realizaci podlah či základových desek. Předními firmami vyrábějícími ocelové drátky jsou společnosti Bekaert, Arcelormittal či KrampeHarex. [28] [29]



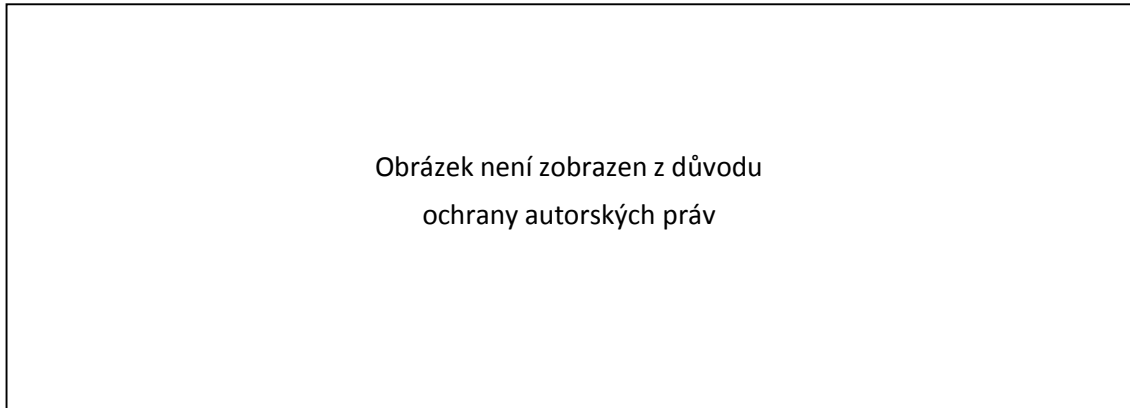
*Obr. 4.1 Různé druhy ocelových vláken – tvar, délka a koncová úprava [28]*

Pro vláknobetony v současné době již existují alespoň předběžné české **technické normy**, kterými se lze řídit. Jedná se o normy: (i) ČSN P 73 2450: Vlákobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [30], (ii) ČSN P 73 2451: Vlákobeton – Zkoušení čerstvého vláknobetonu [31], (iii) ČSN P 73 2452: Vlákobeton – Zkoušení zatvrdlého vláknobetonu [32]. Se zkouškami vláknobetonu dále úzce souvisí i normy pro zkoušky běžného betonu.

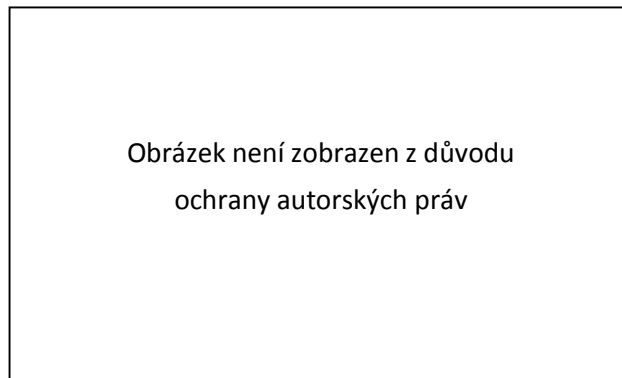
Pro návrh vláknobetonových konstrukcí se využívají především technické návody, které však nejsou prozatím na úrovni norem. K návrhu se například využívá zahraničních směrnic či software a doporučení výrobců rozptýlené výztuže. Česká technická norma pro navrhování vláknobetonových konstrukcí je v současné době ve fázi příprav. Návrh výpočtu se připravuje i v nové návrhové normě Modelcode. [33] [34]

Při **výrobě vláknobetonu** je důležité zajistit rovnoměrné rozptýlení vláken ve struktuře, tak aby bylo zajištěno prostorové působení vláken. Dávkování vláken při výrobě betonu by tedy mělo být přizpůsobeno druhu vláken, která jsou aplikována. Nutné je zmínit i technologickou kázeň. Některá vlákna lze běžně aplikovat bez úpravy technologického procesu, jiná vlákna však úpravu technologického procesu vyžadují, jako například vlákna ocelová. V jejich případě může dojít k tzv. efektu nakypření (rozhoduje délka vlákna, tvar a především jejich hmotnostní zastoupení ve směsi) a při špatném postupu dávkování může také docházet ke vzniku ježků – shlukům drátků – viz obr. 4.3. Přidaná vlákna výrazně ovlivňují zpracovatelnost čerstvého

betonu. S ohledem na použitý druh vláken musí být například upravena křivka zrnitosti kameniva či musí být dávkováno vyšší množství plastifikátoru. [28]



*Obr. 4.2 Příkladů způsobu dávkování vláken [28]*



*Obr. 4.3 Důsledek špatného dávkování drátků [28]*

**Zkoušky čerstvého vláknobetonu** vycházejí z ČSN P 73 2451: Vlákno-beton – Zkoušení čerstvého vláknobetonu, respektive zároveň z norem řady ČSN EN 12350. Pro zkoušku konzistence se používá metoda dle ČSN EN 12350–5: Zkouška rozlitím [46]. Vzhledem k obsahu vláken se jedná o nevhodnější druh zkoušky, zkouška sednutím kužele či zkouška VeBe nelze pro vláknobeton použít. Důležitou zkouškou čerstvého vláknobetonu je kontrola množství vláken v betonu. Realizuje se odběrem čerstvého vláknobetonu a následně se provede extrakce vláken (například pomocí magnetu) ze směsi. Získaná vlákna se zváží a tím se zjistí jejich zastoupení ve směsi. [31]

Pro **zkoušky ztvrdlého vláknobetonu** se využívá normy ČSN P 73 2452: Vlákno-beton – Zkoušení zatvrdlého vláknobetonu, respektive se využívá i norem řady ČSN EN 12390. [32]

Za poslední řadu let prošel a prochází vláknobeton významným vývojem. Vývoj a pokrok v této oblasti zároveň určitě bude nadále pokračovat. Většímu rozšíření vláknobetonu do praxe však stále brání především technologické problémy při výrobě (dávkování vláken, homogenní rozmístění vláken), chybějící normy či směrnice a v neposlední řadě i odbornost pracovní síly.

Navazující praktická část diplomové práce je věnována různým příkladům plovoucích pontonů právě z vláknobetonu, jejich návrhu a využití v praxi. Cílem bylo využít výhod vláknobetonů a konstrukčně tak navrhnou plovoucí prvky bez další přídavné výztuže. Praktická část se dále věnuje návrhu a ověřování betonové směsi a výrobě pilotního vzorku.

## 5 Plovoucí betonové těleso pro rybáře a rekreaci

Cílem této části bylo navrhnout jednoduché plavidlo sloužící pro rybáře či jako rekreační plovoucí „ostrůvek“. Plovoucí těleso je navrženo s ohledem na tyto potřeby a využití se předpokládá v České republice, například na vodních nádržích jako je vodní nádrž Lipno či Orlík, případně i v zahraničí. Plavidlo by bylo možné pronajímat, bylo by možné jej využívat i v rámci rekultivace jezer, respektive v rámci obnovy území ovlivněného těžbou nerostných surovin. Příkladem jsou jezera sloužící k těžbě šterku či místa, kde byla ukončena těžba uhlí a zatopením lomů vznikají nová jezera.

Pro konstrukci plováku bylo cílem využít vlastností vláknobetonu a použít pro konstrukci plováku pouze vláknobeton bez jakékoli přídavné výztuže. V rámci návrhu bylo také důležité myslet na technologii provádění, aby byl plovák navržen s co nejnižší pracností výroby a aby zároveň i celkové náklady na výrobu byly co nejnižší.

V současné době jsou tato plavidla či plovoucí tělesa realizována většinou z plastových či plechových barelů. Často však tyto barely či nádoby k danému účelu nebyly vyrobeny a ke konstrukci plováků jsou určeny až jako sekundární využití. Často se tedy stává, že barely jsou zbylé nádoby od olejů, pohonných hmot či chemikálií a aplikací pro plovoucí prvky pak může dojít i k úniku zbylých látek v těchto obalech do vodního prostředí. To je bezesporu z pohledu ekologie zcela nepřijatelné. Životnost uvedených materiálů je velmi nízká a vyžaduje opakované údržby. Plovoucí těleso betonové tyto nevýhody odstraňuje.

### 5.1 Navržené plavidlo

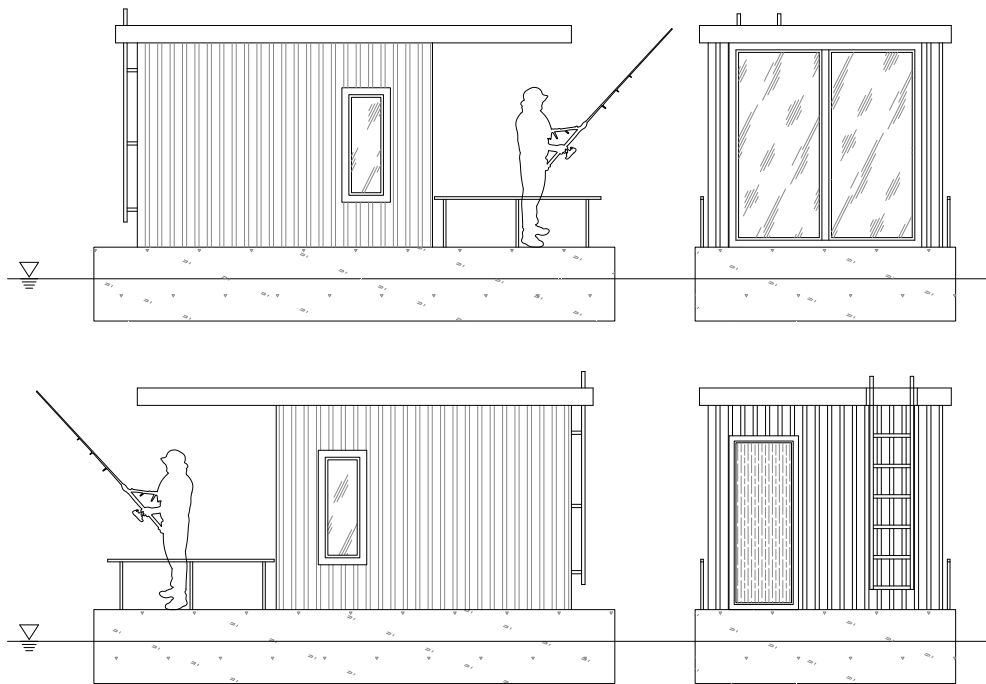
Navržené plavidlo, respektive plovák má tvar kvádrů o půdorysných rozměrech 6 m x 3 m a výšce 0,85 m. Stěny jsou navrženy jako tenkostěnné, tvořeny vláknobetonem tloušťky 40 mm a jádro plováku je tvořeno polystyrenem.

Plavidlo je určeno vzhledem ke svým rozměrům pro obsazení osobami v maximálním počtu 8 osob (limit posádky) a největší povolené užité zatížení plavidla je 1000 kg. Dle vyhlášky 334/2015 Sb. se uvažuje u dospělé osoby s hmotností 75 kg a u dítěte 35 kg.

Důležitým parametrem je též rozměr plavidla. Jelikož rozměr a parametry splňují podmínky dané platnou vyhláškou 223/1995 Sb. jedná se o malé plavidlo, a to z důvodu že:

- (i) objem vypočtený jako součin délky, šířky a ponoru je menší než 100 m<sup>3</sup>,
- (ii) jedná se o malé plavidlo, jehož délka trupu je menší než 20 m.

Plavidlo nepodléhá evidenci v plavebním rejstříku a to dle zákona 114/1995 Sb. Plavidlo je možné zároveň řídit i osobou bez průkazu způsobilosti, a to v případě, že bude mít vlastní strojní pohon o výkonu do 4kW. Plavidlo je tedy možné pronajímat a půjčovat.



Obr. 5.1 Vizualizace navrženého plovoucího tělesa

Na betonovém plováku je umístěna nástavba (viz obr. 5.1) - buňka sloužící jako zázemí pro osoby na plavidle. Jedná se tedy o částečně uzavřené plavidlo. V přední části se nachází volný prostor, který je částečně kryt přesahem střechy přístřešku. Pro podlahu v exteriéru je navrženo pouze protiskluzné ošetření betonu dle požadavků vyhlášky 334/1955 Sb. (povrchová úprava striáží) a v interiéru je navržena jednoduchá podlahová skladba s pochozí vrstvou. Stěny nástavby jsou tvořeny sendvičovou konstrukcí s nosnou kostrou ze dřeva, totéž je navrženo i pro střechu nástavby. Uvedené konstrukce, jejich skladba a parametry jsou převzaty z katalogů výrobců a nebyly tedy podrobně navrhovány. Jejich posouzení není předmětem této práce.

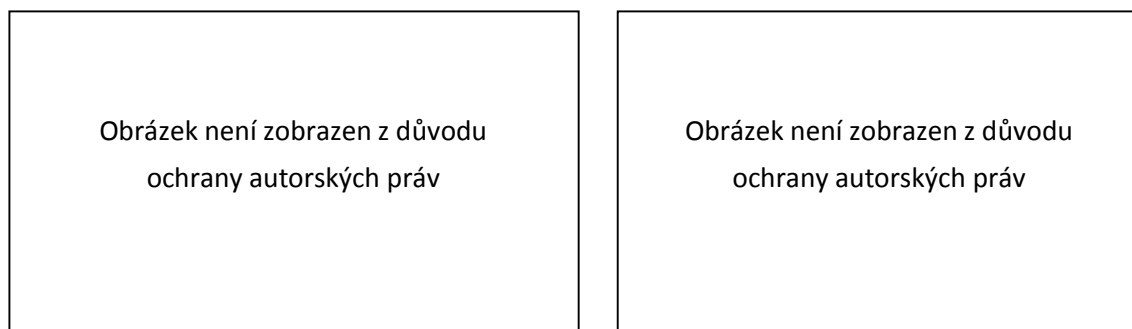
Konstrukce stěny je uvedena na obrázku 5.4. Je tvořena nosnou dřevěnou sloupkovou konstrukcí tl. 140 mm vyplněnou tepelnou izolací z minerální vlny mezi sloupky. Z venkovní strany je navržena zálup z OSB desek s následným dřevěným obkladem. V interiéru je zálup stěny realizován též OSB deskami s obkladem ze sádkokartonu. Uchytení stěn nástavby k plováku se předpokládá pomocí dřevěného základového prahu. Střešní konstrukce je tvořena dřevěným nosným roštem tl. 140 mm vyplněným mezi nosnými prvky tepelnou izolací z minerální vlny, podhled je tvořen OSB deskami s obkladem ze sádkokartonu a zálup je tvořen OSB deskami a foliovou hydroizolací. Skladby konstrukcí byly navrženy podle skladby výrobců [35] [36]. Obvodové stěny jsou dále doplněny okny, v zadní části dvěma a v přední části je pak sendvičová stěna nahrazena prosklenými dveřmi.

Z pohledu návrhu plováku je nutné znát skladby z důvodu výpočtu hmotností konstrukcí - výpočtu celkového zatížení, ponoru plováku a ověření stability plavidla.

Celou nástavbu plavidla by bylo možné realizovat přímo na hotovém plováku, ale je možné i osadit a upevnit již vyrobenou nástavbu přímo od výrobce. Montáž nástavby na plovák však musí vždy proběhnout z důvodu bezpečnosti na souši a přemístění plavidla na vodu je následně

v kompletně sestaveném stavu realizováno mobilním jeřábem. Za tímto účelem jsou na plavidle navrženy transportní úchyty.

Na plovák je možné samozřejmě umístit i jiné nástavby. Betonový plovák je možné využít například pro plovoucí saunu či plovoucí bar, v každém případě však musí být pro konkrétní nástavbu plovák upraven dle parametrů dané nástavby. Příklady jiných nástaveb a způsobu využití jsou uvedeny na obrázku 5.2.



*Obr. 5.2 Příklady možné nástavby plováku [37] [38]*

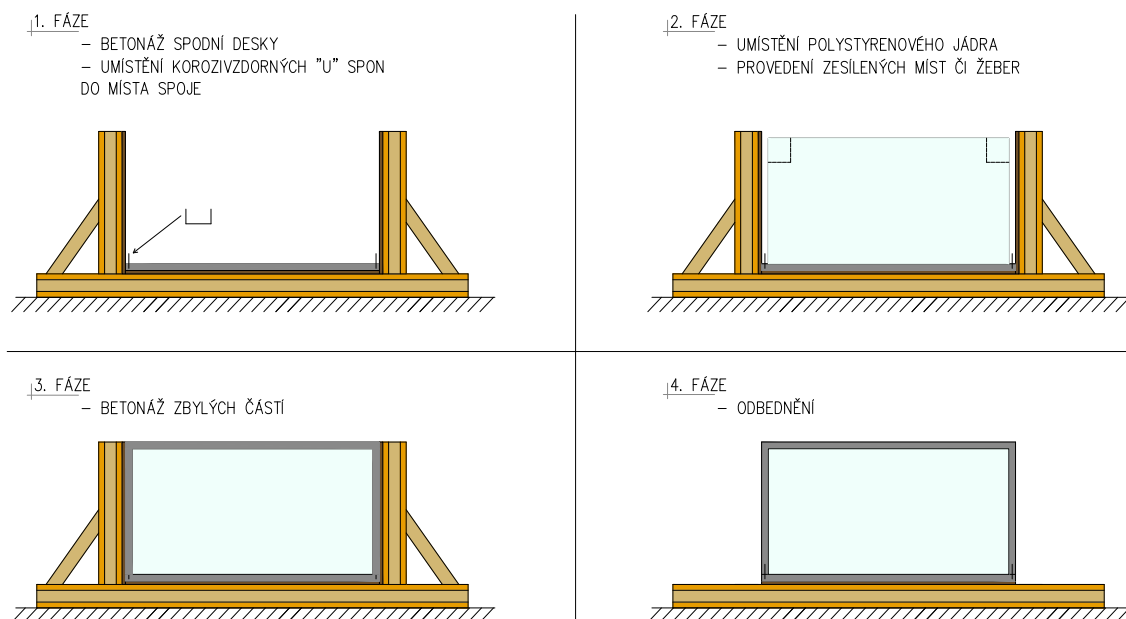
Při návrhu plavidla bylo nutné zahrnout požadavky dané platnou vyhláškou 334/2015 Sb. – technické požadavky na bezpečnost, kdy konstrukce plavidla musí odpovídat požadavkům na bezpečnost osob, plovatelnost, ovladatelnost a dále například i na vybavení plavidla.

### **5.1.1 Technologie výroby a polystyrenové jádro**

Řešení jádra plovoucích prvků pomocí polystyrenového vnitřku je bezesporu výhodné. Při realizaci prvku je možné polystyrenové jádro využít při betonáži jako vnitřní bednění a není tedy nutné vnitřní bednění pracně realizovat. Stačí tedy pouze vytvořit „jednoduché“ bednění v podobě boxu, do kterého se polystyrenový blok jádra vloží a jednotlivé stěny se následně vybetonují. Vložené jádro je nutné fixovat, aby při betonáži nedošlo k jeho posunutí. Zajištění fixace je možné realizovat pomocí připevnění bloku ke spodní straně, respektive ke spodní betonové desce, či polohu v bednění zajistit pomocí distančních vložek. Betonáž plováku je nutné realizovat nadvrát. V případě betonáže v „jednom záběru“ by došlo vlivem působení vztlakové síly na spodní stranu jádra k jeho vyplavání.

Výhodou spodního betonového dna je možnost aktivně ovlivňovat výšku polohy těžiště ovlivňující stabilitu a s ní souvisící vzdálenosti bodů GM (viz kapitola 3.3). V případě, že je nutné těžiště posunout níže, provede se betonové dno s ohledem na celkový ponor ve větší tloušťce.

V první fázi betonáže dojde k vybetonování spodní desky plováku. V této fázi je zároveň nutné po obvodě desky, kde budou navazovat stěny plováku, osadit ocelové spony s antikorozií úpravou ve tvaru písmene U. Ty slouží ke spojení spodní desky se svislými stěnami plováku. V případě záměru vytvořit přímo vodotěsný spoj je nutné aplikovat těsnicí prvek, či použít těsnicí profil. Po zatvrdnutí, respektive zavadnutí betonu se provede osazení a připevnění polystyrenového jádra. V závěrečné fázi dojde k vybetonování zbylých stěn a horní plochy plováku. Schématický postup betonáže je naznačen na obrázku 5.3.



Obr. 5.3 Navržená technologie betonáže

Polystyren je jednoduše opracovatelný materiál, lze tedy s výhodou právě v polystyrenu realizovat, respektive vyřezávat jednotlivá žebra. Ta jsou následně při betonáži zalita a mohou sloužit k celkovému zlepšení pevnostních charakteristik pontonu. S výhodou tak lze vyztužit plášť plovoucího prvku, který je schopen odolávat vyšším zatížením například od hydrostatického tlaku či je schopen lépe odolávat nárazu do cizího tělesa či cizího tělesa do plavidla. Stejným způsobem může být výhodně vytvořen i rošt z žebér pro horní desku plováku, který může sloužit k lepšímu roznosu zatížení či může být použit v místech soustředěných namáhání. S výhodou je také možné vytvořit v bednění místa, kde je zapotřebí větší množství betonu, například v místech montážních úchytů, v místech instalace vyvazovacích pacholat či jinak více namáhaných míst. Zároveň je možné takto jednoduše vytvořit v plováku prostor pro vedení instalací například pro řízení plavidla, osvětlení atd. Polystyrenové jádro mimo jiné částečně slouží jako výtzuha a jako vnitřní výplň podílející se na roznosu zatížení do ostatních betonových ploch.

Postup betonáže navrženého tělesa by bylo nutné před výrobou ověřit na odpovídajících pilotních vzorcích. Především by bylo nutné vyzkoušet zajištění dokonalého probetonování takto vysokých stěn plováku, jelikož tloušťka stěn 40 mm je vzhledem k obsahu vláken „hraniční“. Technologie výroby plováku pro rybáře navrženého autorem práce byla alespoň rámcově ověřena v experimentální části (viz kapitola 8), na menším pilotním vzorku.

Z podobných realizací lze uvést především plovoucí vláknobetonový ostrůvek pro rybáky, zde však tloušťka stěn byla 60 mm, avšak stěny prvku byl vyšší, konkrétně 1500 mm. Betonáž těchto ostrůvků je ověřena již několika realizacemi [9].

Nevýhodou polystyrenu je nízká odolnost vůči ultrafialovému záření, kdy jeho dlouhodobým působením se polystyren rozpadá na jemný prach. V případě použití pro jádro plováku však bude polystyren obklopen po celé obvodové ploše betonem, degradace



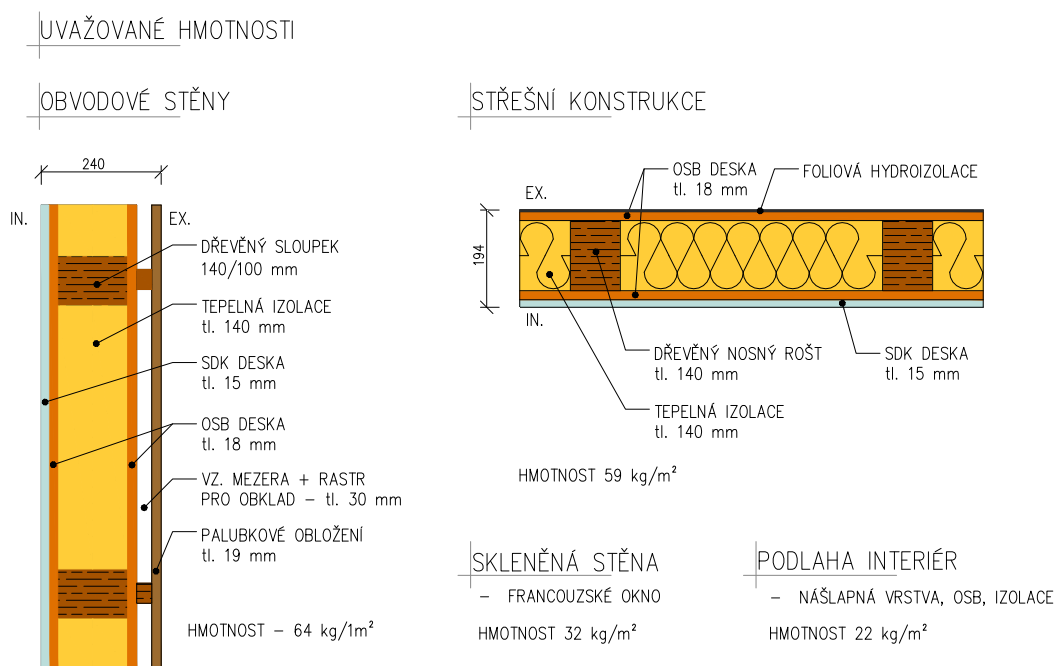
působením UV záření je tedy vyloučena. Další důležitou vlastností, avšak v případě plováků nežádoucí, je nasákavost polystyrenu. Ta se standardně pohybuje v rozmezí 3–6 % hmotnosti.

V případě ocelových pontonů či lodí je proces výrobně poměrně náročnější. Konstrukci tvoří ocelový rošt, na který se po obvodě upevňuje obšívka tělesa a slouží zároveň k roznosu zatížení z horní paluby. Ocelová tělesa mají vnitřní dutinu prázdnou a při výrobě je tedy nutné zajistit jejich dokonalou vodotěsnost, která je postupem času a degradací ohrožena.

## 5.2 Analýza navrženého tělesa

### 5.2.1 Stanovení hmotnosti a těžiště plavidla

V první řadě je nutné stanovit celkovou hmotnost plavidla včetně nástavby a stanovit polohu těžiště plavidla. Hmotnost má vliv na ponor plavidla. Výška plováku musí být navržena s ohledem na minimální volný bok, jehož výška je 300 mm. Ve druhé fázi návrhu je plovák přizpůsoben umístěním „protizávaží“, respektive úpravou předělu plavidla tak, aby plavidlo nebylo vlivem hmotnosti nástavby již v počáteční fázi nakloněno. Hmotnosti konstrukcí byly stanoveny dle objemových hmotností udávaných výrobcem. Okenní a dveřní výplně vzhledem ke své hmotnosti byly při výpočtu uvažovány jako obvodová stěna. Hmotnost skleněné přední stěny byla opět převzata z údajů od výrobce.



Obr. 5.4 Navržené skladby konstrukcí

Ostatní hmotnosti v rámci plavidla, jako například drobné vybavení, zábradlí či doplňky, nejsou z pohledu výpočtu již významné a je možné je zanedbat.

## 5.2.2 Stanovení těžiště nástavby plavidla

V příčném směru lze vzhledem k půdorysu nástavby považovat plavidlo za symetrické a těžiště se tedy bude nacházet přímo v jeho polovině. V podélném směru je těžiště stanoveno výpočtem, který je níže uveden. Popis označení jednotlivých prvků vycházejí z obrázku 5.5 a 5.6.

$$x_c = \frac{\sum_i m_i \cdot x_i}{\sum_i m_i}, \quad z_c = \frac{\sum_i m_i \cdot z_i}{\sum_i m_i}$$

Tabulka 5.1 Výpočet polohy celkového těžiště

Výpočet hmotnosti jednotlivých dílců

Prvek	a [m]	b [m]	obj. hmot. [kg/m <sup>2</sup> ]	m [kg]
1 stěna 1	3,4	2,35	64	511,4
2 stěna 2	2,22	2,35	64	333,9
3 stěna 3	3,4	2,35	64	511,4
4 podlaha	3,04	2,22	22	148,5
5 střecha	5,25	2,9	59	898,3
6 sklo	2,22	2,35	32	166,9

Σ 2570,3 kg

Poloha těžiště - směr x

Prvek	x <sub>i</sub> [mm]	m [kg]	x <sub>i</sub> *m
1 stěna 1	1700	511,4	869312,0
2 stěna 2	120	333,9	40066,6
3 stěna 3	1700	511,4	869312,0
4 podlaha	1760	148,5	261313,5
5 střecha	2375	898,3	2133403,1
6 sklo	3315	166,9	553419,4

Σ 4726826,6 mm·kg

X<sub>c</sub> 1839 mm

Poloha těžiště - směr z

Prvek	z <sub>i</sub> [mm]	m [kg]	z <sub>i</sub> *m
1 stěna 1	1175	511,4	600848,0
2 stěna 2	1175	333,9	392318,4
3 stěna 3	1175	511,4	600848,0
4 podlaha	40	148,5	5938,9
5 střecha	2447	898,3	2198078,9
6 sklo	1175	166,9	196159,2

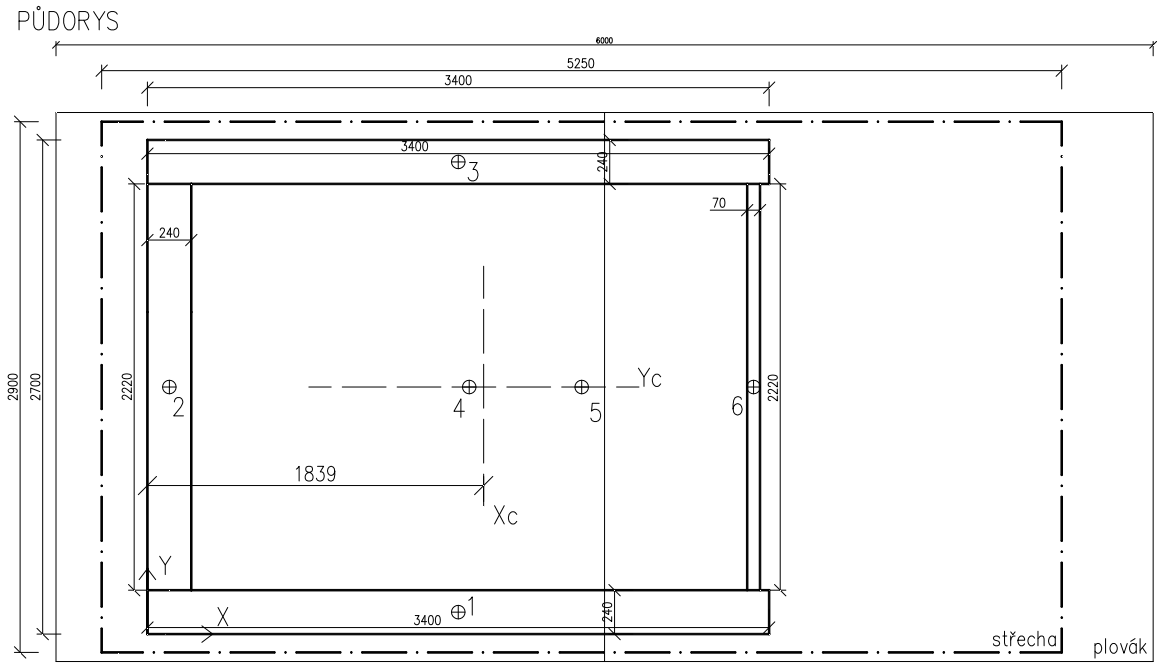
Σ 3994191,5 mm·kg

Z<sub>c</sub> 1554 mm

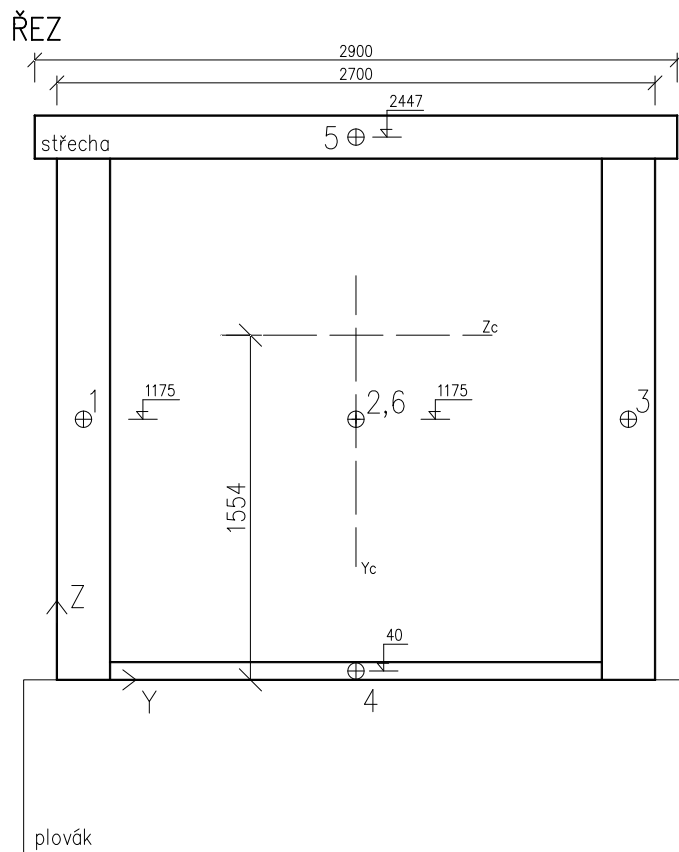
Poloha těžiště - směr y

- nástavba je v tomto směru symetrická => těžiště leží uprostřed příčné délky

Y<sub>c</sub> 1350 mm



Obr. 5.5 Půdorys a poloha těžišť jednotlivých prvků



Obr. 5.6 Řez a poloha těžišť jednotlivých prvků

### 5.2.3 Stanovení potřebného protizávaží

Z výpočtu polohy těžiště nástavby je patrné, že těžiště neleží na středu podélného rozměru plováku. Plovák musí mít z tohoto důvodu provedené „protizávaží“ tak, aby výsledná poloha soustavy plovák + nástavba byla v polovině délky plováku. Pokud by tato podmínka nebyla dodržena, celé plavidlo by bylo vlivem hmotnosti nástavby nakloněné na zád.

Protizávaží lze realizovat poměrně jednoduše, a to změnou tloušťky čelní stěny plováku - tloušťka nebude 40 mm, ale více. Pokud by byl plovák navržen pro univerzální použití bez přesné dimenze protizávaží – pro různé nástavby, muselo by být protizávaží dodatečně provedeno například na dno plováku či na čelo plováku v podobě závaží. Jak již bylo řečeno, v případě použití jiné nástavby je nutné protizávaží vždy ověřit a jeho velikost upravit. V případě použití lehčích nástaveb, než zde uvažované, by bylo možné závaží poměrně jednoduše realizovat a zakomponovat například v rámci stěn nástavby a plovák by tedy mohl zůstat stejný.

Velikost protizávaží je stanovena následovně:

$$F_1 \cdot e_1 = F_2 \cdot e_2$$

$$25,7 \cdot 661 = F_2 \cdot 2905$$

$$F_2 = 5,85 \text{ kN}$$

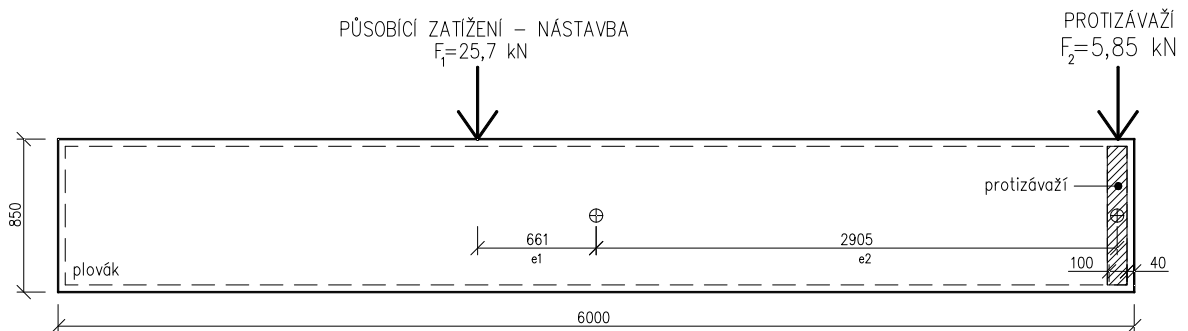
Potřebná tloušťka stěny pro zajištění protizávaží, aby byl ponton ve vodorovné poloze je:

$$m = a \cdot b \cdot c \cdot \rho$$

$$585 = 2,92 \cdot 0,77 \cdot c \cdot 2400$$

$$c = 108 \text{ mm} \doteq 110 \text{ mm}$$

Čelo plováku bude mít celkovou tloušťku 150 mm (110 mm protizávaží a 40 mm stěna plováku).

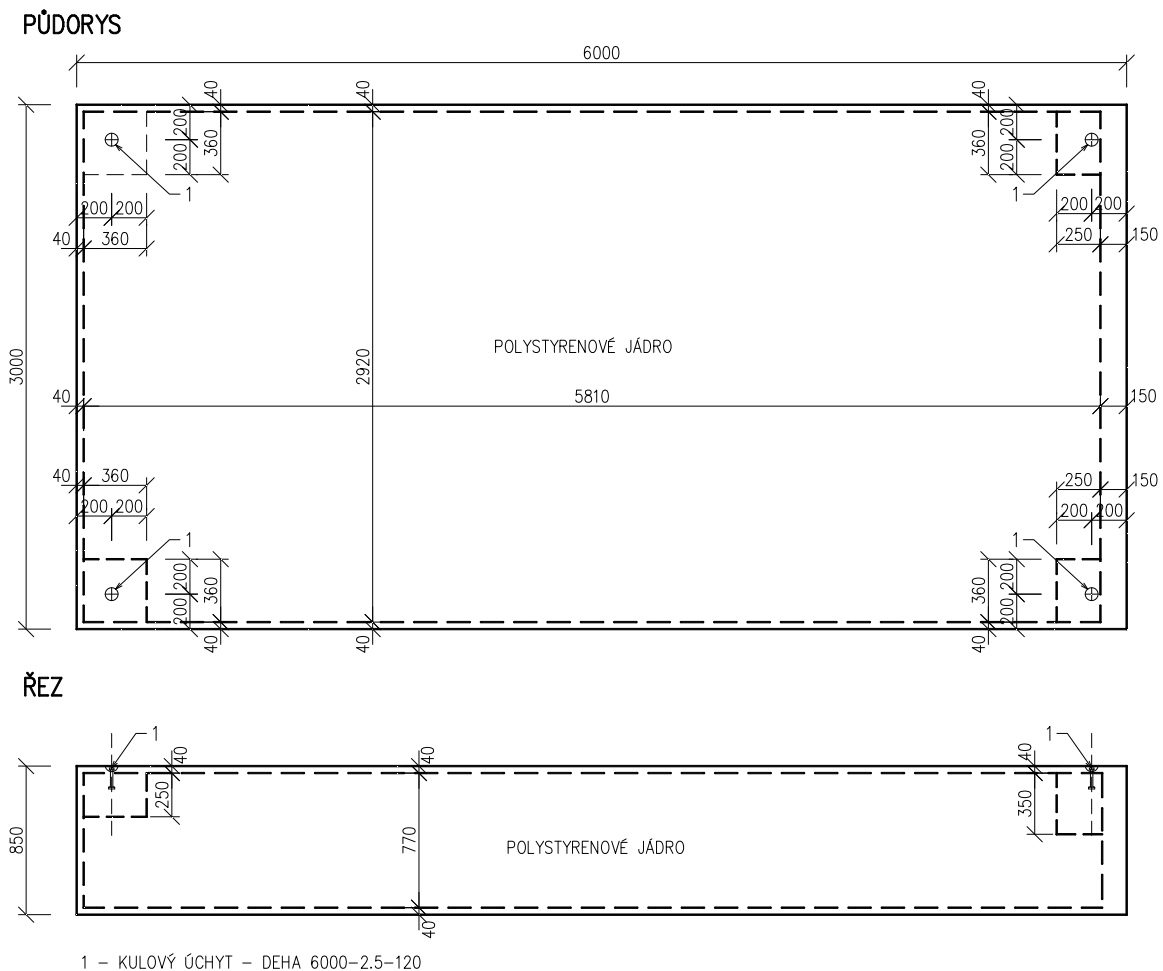


Obr. 5.7 Schéma pro stanovení polohy protizávaží

Poloha těžiště byla dále ověřena a porovnána s výsledky z výpočtového programu Dlubal RFEM.

## 5.2.4 Výkres plováku

Po stanovení velikosti a působíště síly od nástavby byl pro další postup výpočtu proveden přesný výkres plováku. V rámci konstrukce plováku musí být umístěny úchyty sloužící pro transport. Ty byly realizovány v každém z rohů plováku a v místě jejich osazení bylo nutné provést větší tloušťku betonu. Samotný transport, včetně přemístění z pevniny na vodu, je uvažováno pomocí autojeřábu. Jako závěs je nutné použít vahadlo (traverzu se dvěma symetrickými závěsy) a to z důvodu rovnoměrného roznosu na všechny čtyři úchyty.



Obr. 5.8 Výkres plováku

## 5.2.5 Hloubka ponoru

Hloubka ponoru vychází z Archimédova zákona, jak již bylo zmíněno v teoretické části. Pro výpočet jsou důležité objemové hmotnosti materiálů plováku (vláknobeton a polystyren) a dále hmotnost nástavby plováku. V případě vláknobetonu je uvažováno s objemovou hmotností  $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$ , tato hodnota byla získána v rámci experimentální části (kapitola 7) při realizaci zkušebních těles. Nasákavost vláknobetonu je možné z důvodu malé hodnoty (dle výsledků experimentů navrženého betonu) zanedbat, ovlivnění ponoru nasákavostí betonu by nebylo rozhodující. Pro jádro plováku je použit extrudovaný polystyren. Uvažovaná objemová hmotnost tohoto materiálu dle výrobce [39] včetně zahrnuté nasákavosti dle výrobce je  $\rho=38 \text{ kg/m}^3$ .

### Hmotnost plováku

$$m_{dno} = 3 \cdot 6 \cdot 0,04 \cdot 2400 = 1728 \text{ kg}$$

$$m_{paluba} = 3 \cdot 6 \cdot 0,04 \cdot 2400 = 1728 \text{ kg}$$

$$m_{bokvy} = 0,77 \cdot 5,81 \cdot 0,04 \cdot 2400 \cdot 2 = 859 \text{ kg}$$

$$m_{záď} = 0,77 \cdot 3 \cdot 0,04 \cdot 2400 = 221,8 \text{ kg}$$

$$m_{příd} = 0,77 \cdot 3 \cdot 0,15 \cdot 2400 = 831,6 \text{ kg}$$

$$m_{kotvy} = 0,36 \cdot 0,36 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 2400 = 311 \text{ kg}$$

$$m_{jádro} = 5,81 \cdot 2,92 \cdot 0,77 \cdot 38 - 4 \cdot 0,36 \cdot 0,36 \cdot 0,25 \cdot 38 = 491,5 \text{ kg}$$

$$m_{celkové} = 6170,9 \doteq 6171 \text{ kg}$$

### Plocha dna plováku

$$A_{dno} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ m}^2$$

### Hloubka ponoru plavidla včetně nástavby

$$F_G = F_{vz}$$

$$m \cdot g = A \cdot h \cdot \rho_K \cdot g$$

$$(6171 + 2570) \cdot 9,81 = 18 \cdot h \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$h = 0,486 \text{ m}$$

### Hloubka ponoru zatíženého plavidla 8 osobami, respektive maximálním užitečným zatížením

$$F_G = F_{vz}$$

$$m \cdot g = A \cdot h \cdot \rho_K \cdot g$$

$$(8741 + 1000) \cdot 9,81 = 18 \cdot h \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$h = 0,541 \text{ m}$$

## 5.2.6 Výpočty a posouzení vybraných zatěžovacích stavů

Během životnosti a používání plavidla mohou nastat různé zatěžovací stavy či jejich kombinace, kterým plavidlo musí vyhovět. Velikosti zatížení, jejich působení a kombinace jsou určeny především dle uvážení autora s přihlédnutím k normovým hodnotám. Bylo navrženo několik zatěžovacích stavů, které se během užívání s vysokou pravděpodobností mohou vyskytnout a je nutné plavidlo na jejich působení navrhnout a ověřit. Je však jasné, že během užívání mohou nastat i případy kdy k poškození dojde. K tomu by však došlo pouze porušením správného užívání, které pro plavidlo musí být stanoveno.

V rámci spolehlivosti návrhu běžných konstrukcí je nutné uvažovat dílčí součinitele spolehlivosti, zatížení a spolehlivosti materiálu, které jsou dány platnými normami. V případě návrhu plovoucího tělesa jsou tyto součinitele též uvažovány, avšak pouze u stavů, ve kterých je nutné tyto součinitele zahrnout z důvodu bezpečnosti. Například v případě výpočtu vlastní hmotnosti v rámci stanovení ponoru součinitele uvažovány nejsou, jelikož by výpočet hodnoty ponoru nebyl odpovídající. Při instalaci nástavby v již sestaveném stavu na plovák je možné její celkovou hmotnost ověřit například pomocí závěsné jeřábové váhy, totéž lze provést i u

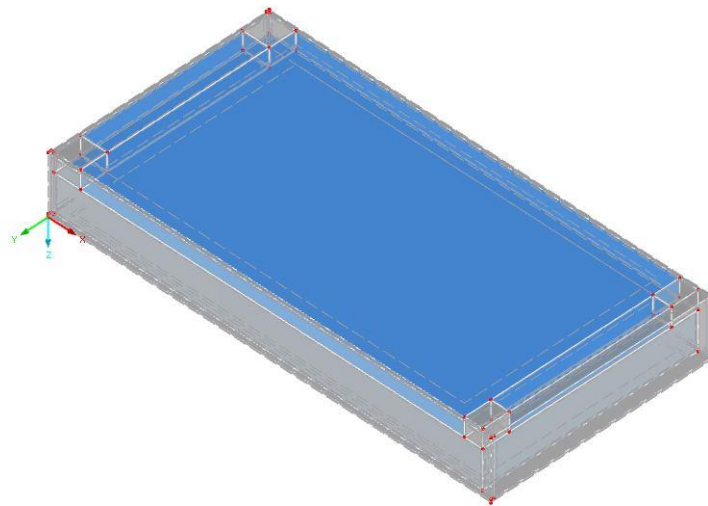
samotného plováku. Lze však předpokládat, že vzhledem k velikosti konstrukce bude případná odchylka vlastní hmotnosti konstrukce nízká.

V případě užívání plavidla je pak celkové užité zatížení omezeno podmínkami užívání plavidla a maximální užité zatížení nemá být překročeno. Oproti tomu v případě návrhu transportních úchytů, jejich posouzení a transportu plavidla na vodu jsou dílčí součinitele materiálu zahrnuty z důvodu bezpečnosti. Stejně tak je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu zahrnut i v ostatních zatěžovacích případech, kde je uvažování důležité.

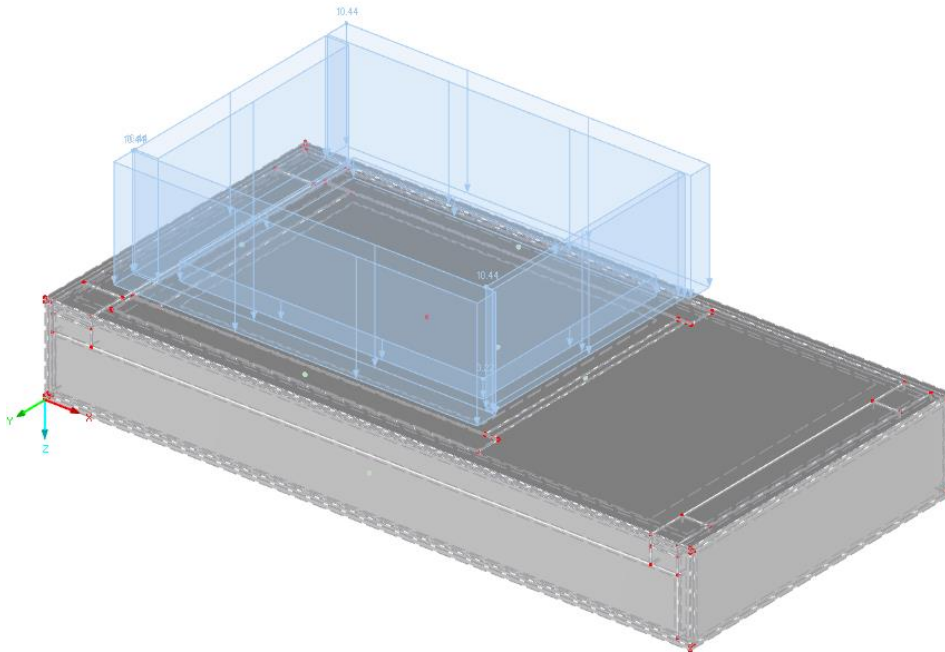
Při výrobě plavidla je možné pevnostní charakteristiky použitého betonu ověřit pomocí zkoušek pevností na zkušebních tělesech a potvrdit tak předpoklady výpočtu.

Pro výpočet bylo nutné využít výpočetního softwaru, kdy jako nejvhodnější byl zvolen výpočetní program RFEM od společnosti Dlubal. V programu bylo plovoucí těleso vymodelováno z 3D prvků, co možná nejpřesněji a nejvěrohodněji, a to včetně vnitřního jádra z polystyrenu či zesílených míst pro montáž transportních úchytů. Model byl následně podroben numerické analýze pro jednotlivé zatěžovací stavy. Hustota sítě konečných prvků byla stanovena s ohledem na tloušťku konstrukce a náročnost výpočtu. Velikost byla v rozmezí 40–80 mm, respektive v důležitých místech byla síť konečných prvků zahuštěna.

Při výpočtech bylo do jednotlivých zatěžovacích stavů zavedeno zatížení působící od nástavby plováku. Hodnota zatížení odpovídá hmotnosti nástavby vztažené na kontaktní plochu nástavby s plovákem a je modelováno jako plošně působící zatížení o příslušné velikosti znázorněné na obrázku 5.10.

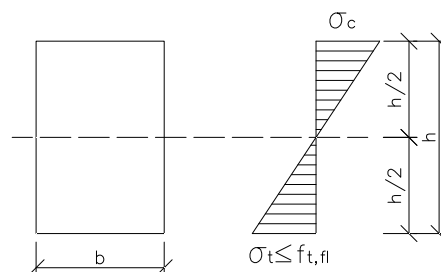


Obr. 5.9 Model plováku (ve fázi bez vrchní desky), šedá barva – vláknobeton, modrá barva – polystyren



Obr. 5.10 Model plováku včetně uvažovaného zatížení od nástavby pro výpočet napětí

Předpokladem při posouzení jednotlivých zatěžovacích stavů a případů bylo, že maximální tahová napětí budou dosahovat nižších hodnot než tahové pevnosti dané materiálem, respektive získané ze zkoušek. Zajištěním tohoto předpokladu je tedy vyloučen vznik trhlin. Trhliny by byly v případě plováku nežádoucí z důvodu průsaku či snížení životnosti. Pokud tahová pevnost betonu není vyčerpána, je platný výpočet lineární analýzou.



Obr. 5.11 Napjatost obecného průřezu do mezního stavu vzniku trhlin při kvazilineárněpružném chování

Důležitými parametry pro výpočet jsou dále materiálové parametry použitých materiálů. Objemové hmotnosti materiálů byly již řešeny v textu výše. V rámci výpočtu průběhu napětí na tělesech je nutné uvažovat modul pružnosti, především u betonu. Modul pružnosti nemá zásadní vliv na velikost průběhu napětí. Hodnota modulu pružnosti má vliv především na průhyb konstrukce.

Pro uvažovaný vláknobeton byla hodnota modulu pružnosti uvažována jako u betonu běžného pevnostní třídy C 35/45 hodnotou  $E=34$  GPa. V rámci předpokladu hodnoty modulu pružnosti bylo využito a přihlédnuto k informacím [7]. Vzhledem k navrženému vláknobetonu v navazující experimentální části (kapitola 7), který by vykazoval vyšší třídu pevnosti, lze předpokládat, že hodnota modulu pružnosti byla uvažována na straně bezpečné.



### 5.2.6.1 Ověření ponoru

Cílem výpočtu bylo získání hodnoty ponoru v případě umístění plováku na hladinu včetně síly působící jako náhrada za nástavbu a získání hodnoty samotné hmotnosti plováku.

Při výpočtu bylo nutné pro plovák simulovat chování vody. Toho bylo docíleno pomocí uložení plováku na podporu – pružné podloží. Tuhost této podpory byla zvolena tak, že při umístění plováku došlo vlastní tíhou k poklesu rovnému právě hloubce ponoření. Tuhost pružného podkladu se určí pomocí Archimedova zákona a byla stanovena následovně:

$$F = C_1 \cdot u$$

Kde  $F$  je reakce od podloží (hydrostatický tlak),  $C_1$  je tuhost podloží a  $u$  je pokles podloží.

Plovák z předchozích výpočtů bude ponořen do hloubky 0,486 m. Hodnota hydrostatického tlaku v této hloubce je tedy:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p = 0,486 \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$p = 4,768 \text{ kN} / \text{m}^2$$

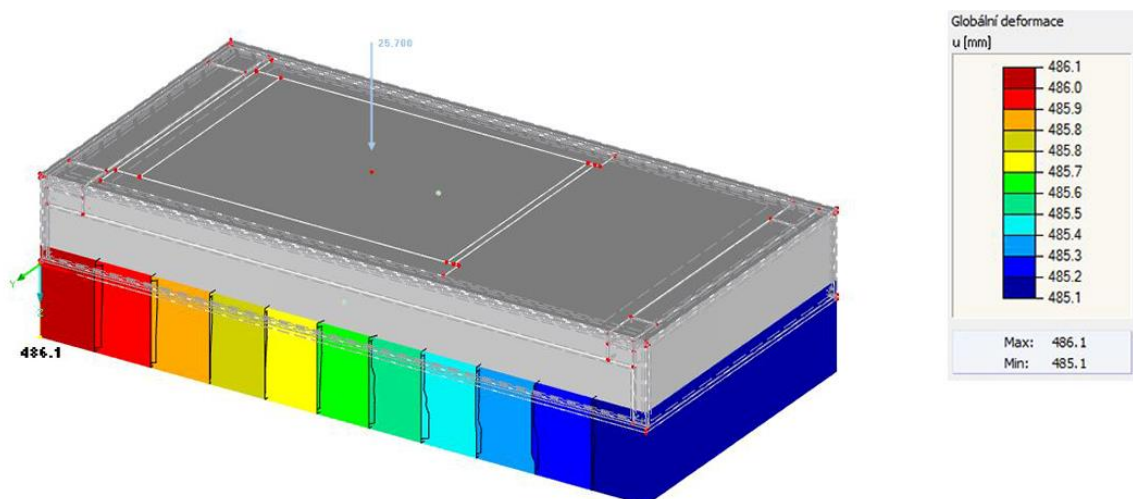
Hodnota  $C_1$  poté tedy:

$$C_1 = F / u$$

$$C_1 = 4,768 / 0,486$$

$$C_1 = 9,81 \text{ kN} / \text{m}^3$$

Ve výpočetním softwaru bylo tedy nastaveno podloží s tuhostí  $9,81 \text{ kN/m}^3$

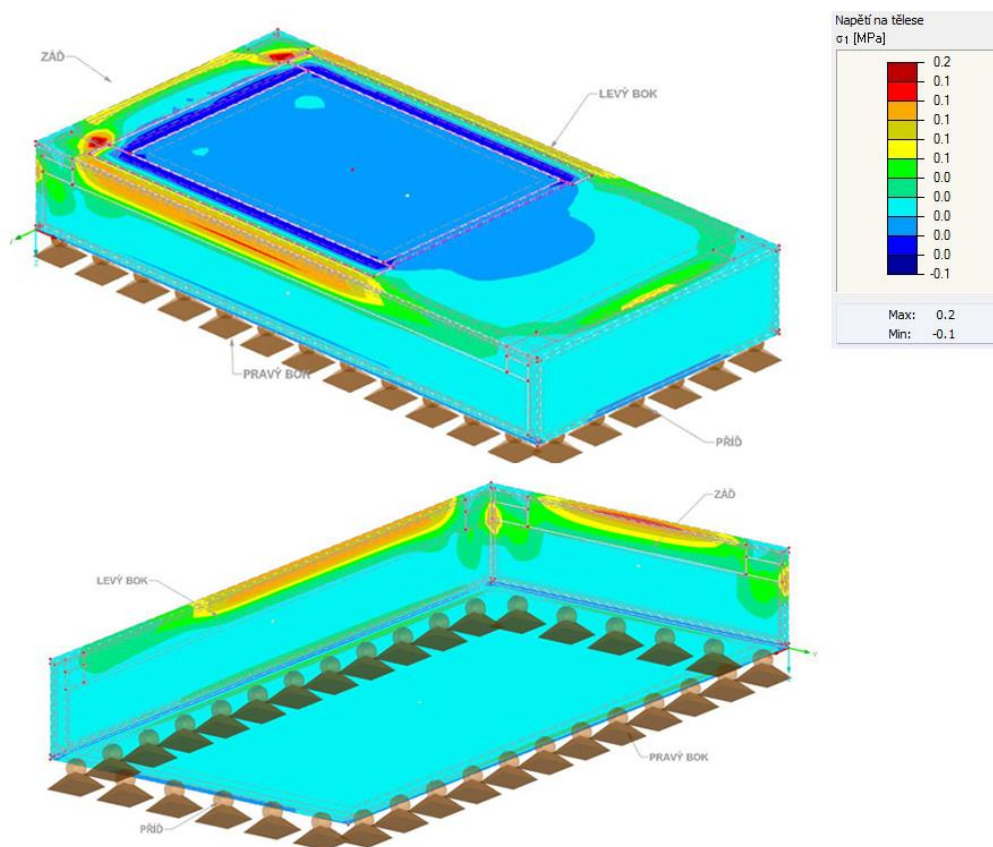


Obr. 5.12 Ověření ponoru výpočtem pomocí SW

Z výsledků výpočtu pomocí výpočetního softwaru je patrné, že výsledky se shodují. Vytvořený model plováku tak byl ověřen a tento model je použit i pro následující výpočty.

### 5.2.6.2 Vlastní tíha plováku a nástavby

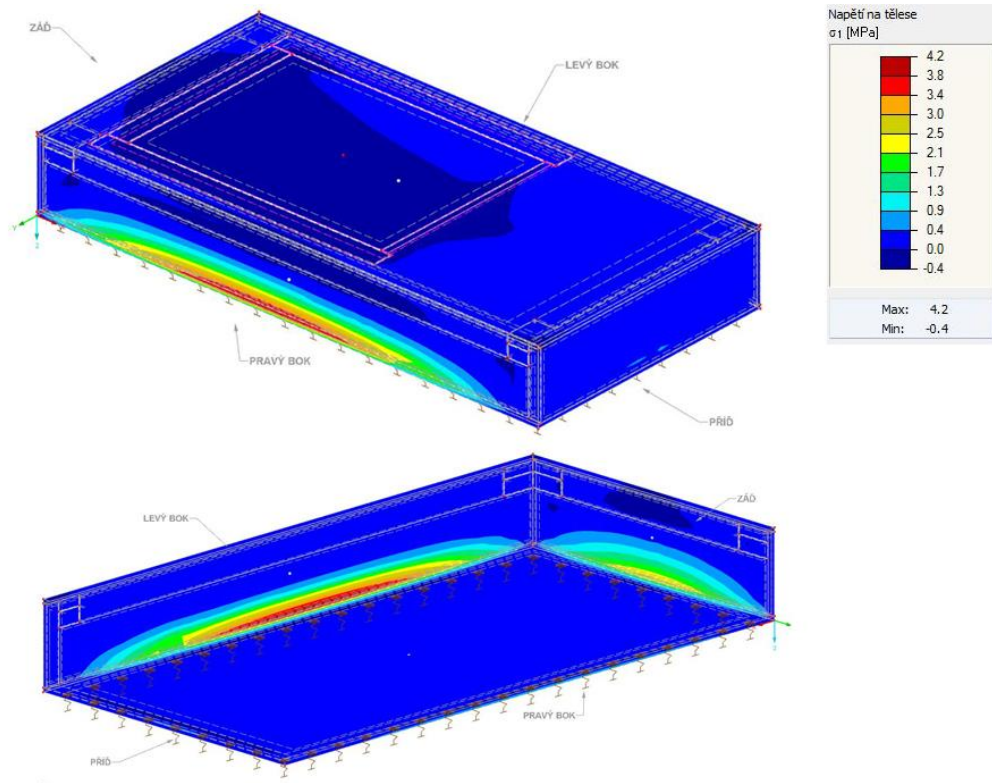
Zatěžovací stav zobrazuje výsledné napětí plováku v případě, kdy je plovák umístěn na pevnině a zároveň je již na něm umístěna nástavba. Při výpočtu je počítáno s vlastní tíhou plováku a vlastní tíhou nástavby.



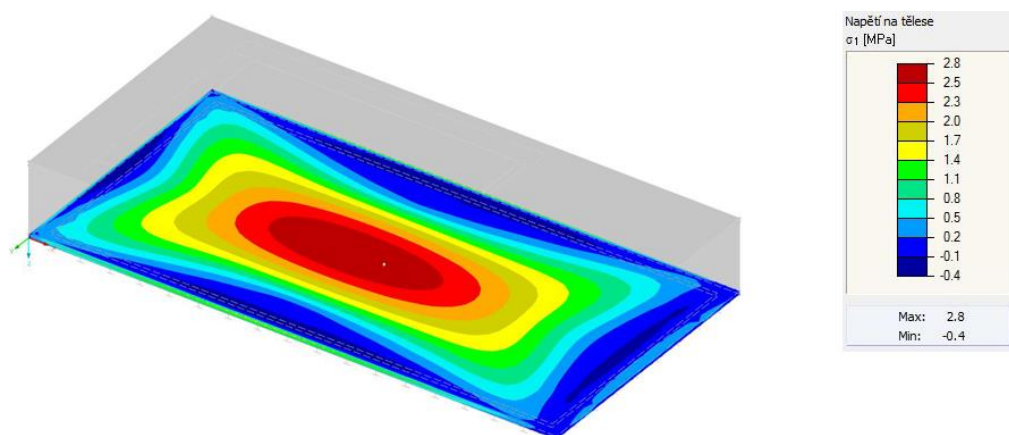
Obr. 5.13 Výsledná napětí na konstrukci  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora a zdola)

### 5.2.6.3 Průběh napětí při umístění plavidla na vodu

V rámci tohoto stavu je provedena analýza plavidla v momentě, kdy se již nachází na hladině vody. Při výpočtu je uvažováno zatížení vlastní tíhou plováku a vlastní tíhou nástavby plováku. Uložení plováku je provedeno na pružných plošných podporách s tuhostí odpovídající chování vody.



Obr. 5.14 Výsledná napětí na konstrukci  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora a zdola)

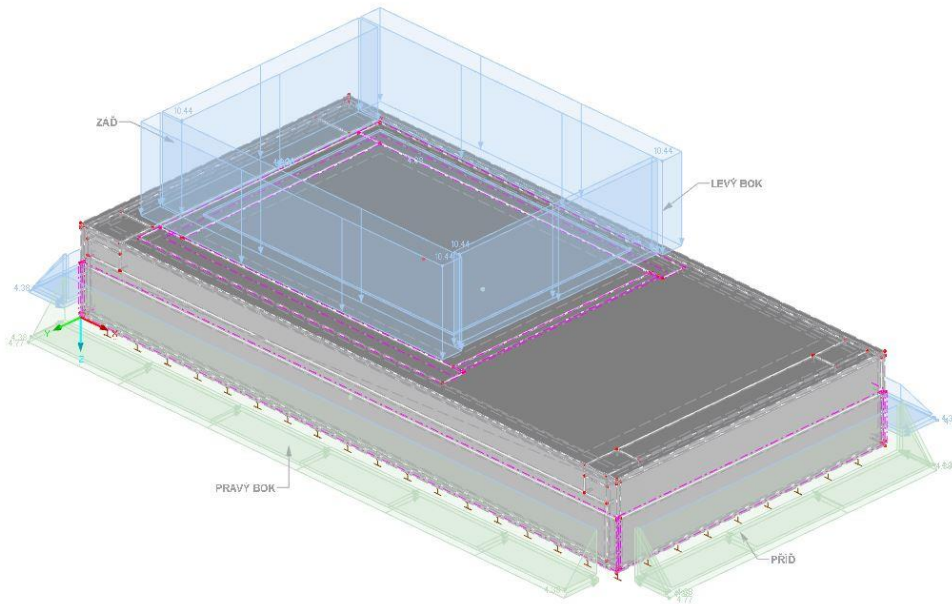


Obr. 5.15 Výsledná napětí na desce dna plováku  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora)

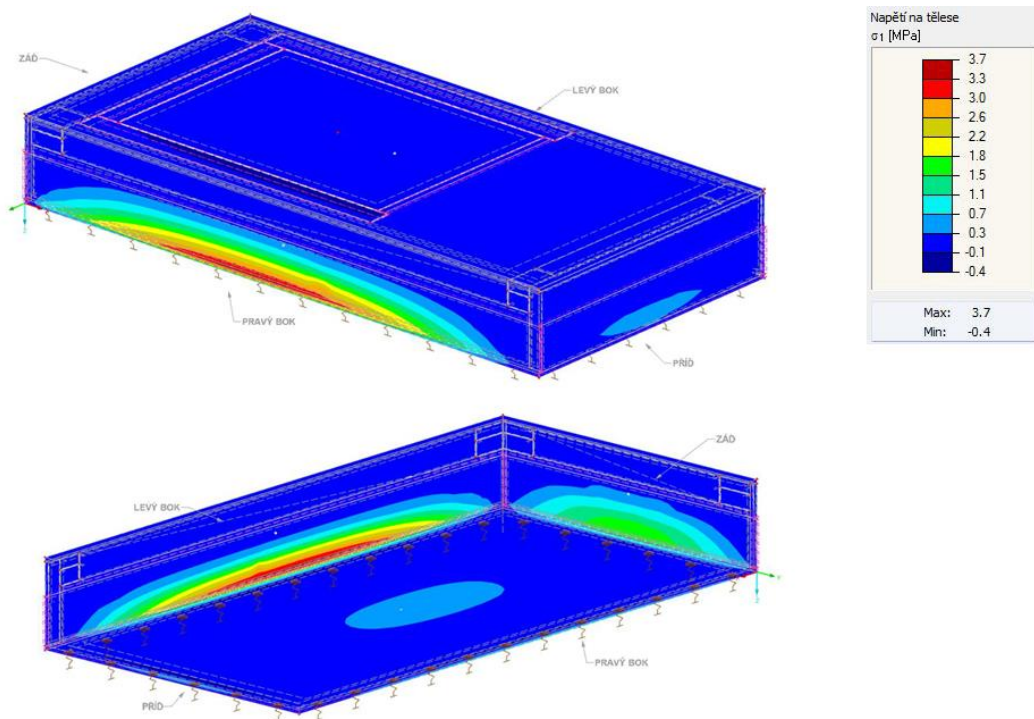
V případě umístění plavidla do vody však vždy zároveň nastane působení i hydrostatického tlaku na boční stěny. Lze tedy říct, že tento stav je nereálný, avšak je modelován především za účelem srovnání a znázornění, jaký vliv má hydrostatický tlak na boční stěny zahrnutý v následujícím výpočtu.

#### 5.2.6.4 Tlak hydrostatický

Na ponořenou část plováku působí hydrostatický tlak – na boční stěny a dno. Hodnota tlaku s rostoucí hloubkou stoupá. Tlak působící na dno plováku je uvažován jako rovnoměrný daný hloubkou, tlak na boční stěny je zadán pomocí trojúhelníkového zatížení působícího na ponořené ploše plováku (viz obr. 5.16). Dle předešlého výpočtu byla stanovena hodnota hydrostatického tlaku u dna plováku na  $4,77 \text{ kN/m}^2$ .



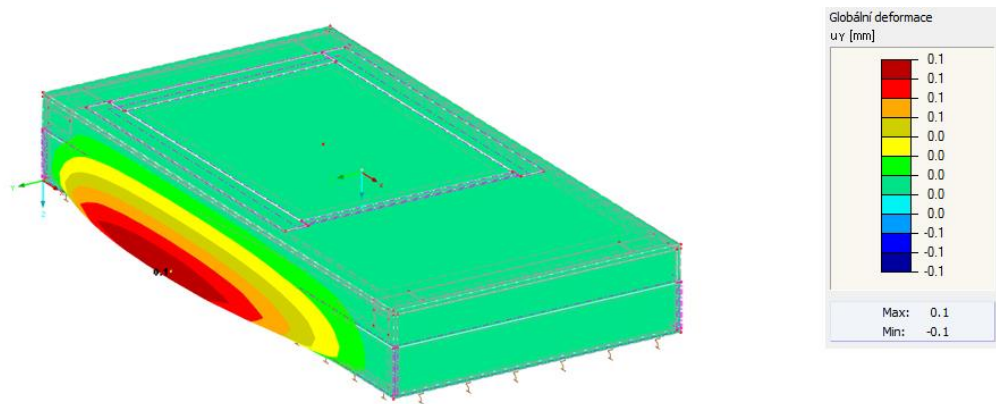
Obr. 5.16 Uvažované zatížení na modelu



Obr. 5.17 Výsledná napětí na konstrukci  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora a zdola)



Z porovnání výsledků je zřejmé, že vlivem hydrostatického tlaku na boční stěny dochází k příznivému snížení hodnot napětí tělesa. Výsledná deformace bočních stěn plováku ale i přes působení hydrostatického tlaku je směrem vně - viz obrázek 5.18 – deformace ve směru osy y.

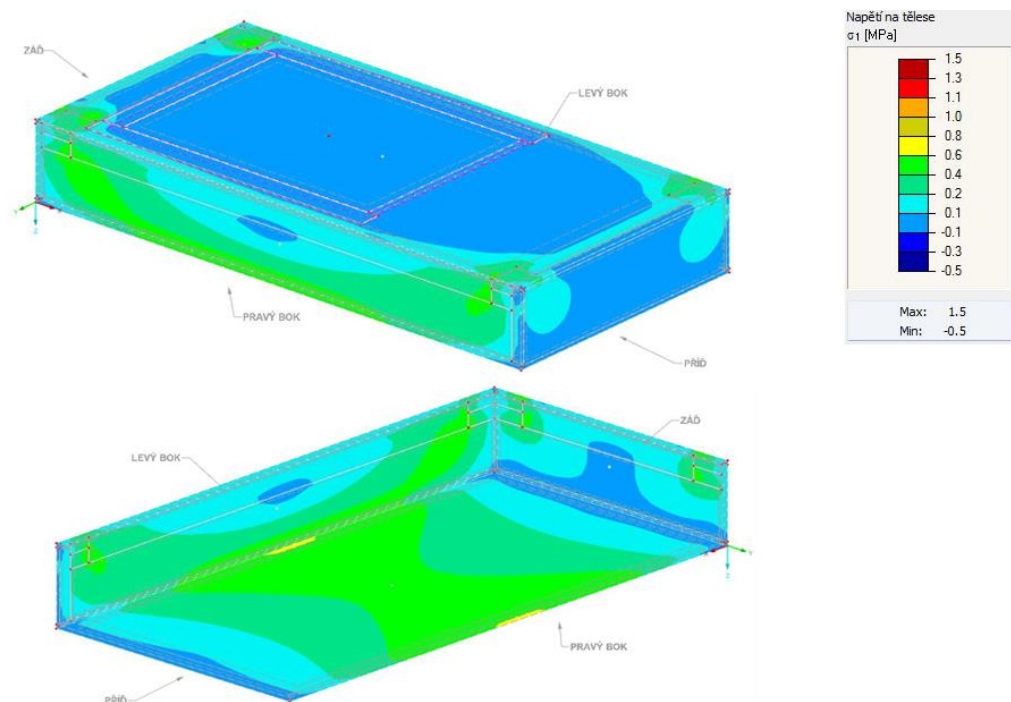


Obr. 5.18 Deformace konstrukce  $u_y$  [mm]

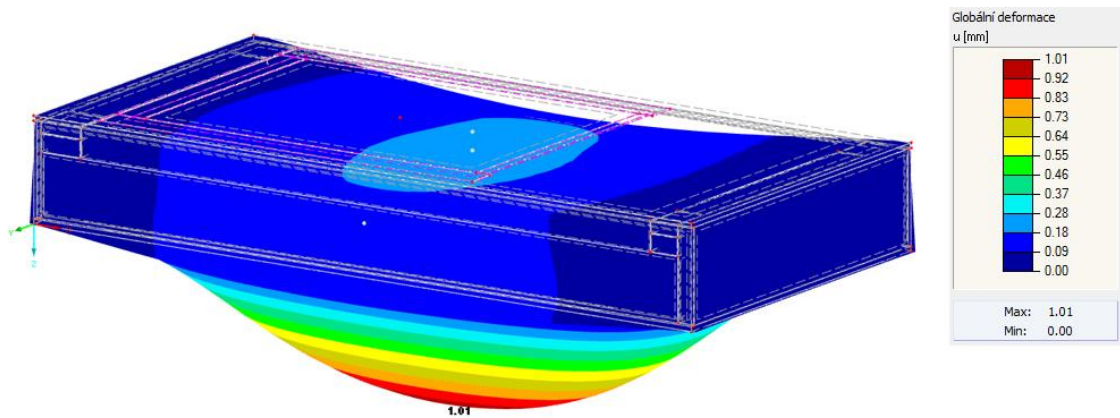
### 5.2.6.5 Transport + úchyty

Tento zatěžovací stav prověřuje plavidlo při transportu. V každém z rohů jsou umístěny transportní úchyty.

Při výpočtu je uvažováno zatížení vlastní tíhou plováku a vlastní tíhou nástavby plováku. Plovák, respektive výpočetní model je pak v místě transportních úchyťů uložen bodově kloubově.

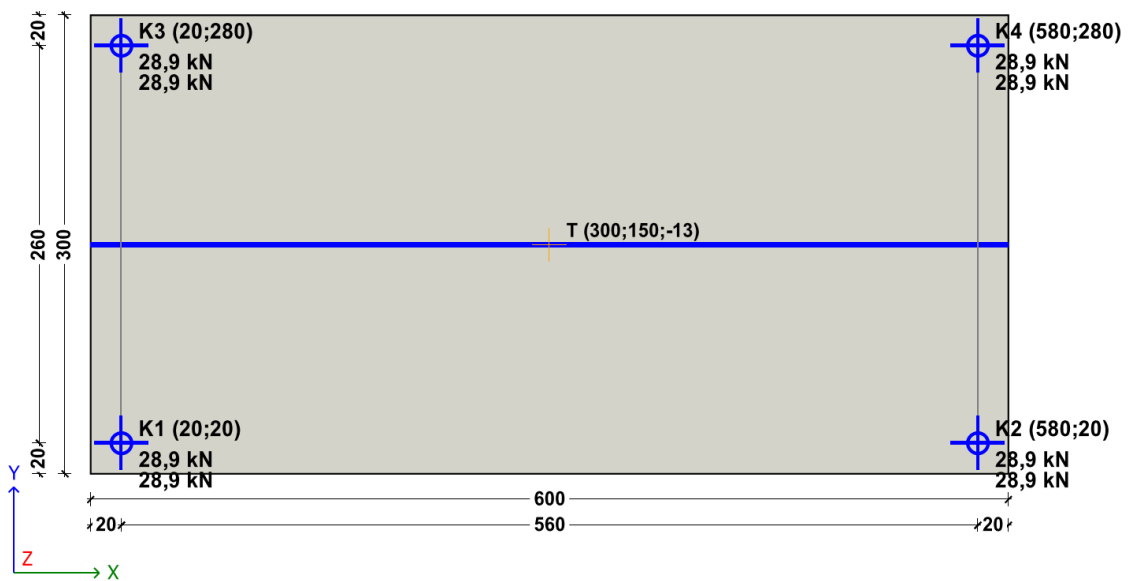


Obr. 5.19 Výsledná napětí na konstrukci  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora a zdola)



Obr. 5.20 Globální deformace konstrukce u [mm]

Pro transport jsou navrženy úchyty od společnosti Halfen – přepravní úchyt s kulovou hlavou. K ověření výpočtu přepravního úchytu bylo zároveň využito výpočetního programu od výrobce [55].



Obr. 5.21 Poloha transportních úchytů, poloha vahadla [55]

Zvedání desky je navrženo za pomoci vahadla – traverzy se dvěma symetrickými závěsy zajišťujícími rovnoměrný roznos váhy na všechny čtyři úchyty. Minimální výška vahadla od úrovně úchytů je vzhledem k výšce nástavby a velikosti vrcholového úhlu stanovena na 3,6 m. V okamžiku zdvihání panelu je zaveden předpoklad, že minimální tlaková pevnost betonu bude dosahovat již hodnot 25 MPa.

### Navržená kotva

Typ kotvy:	DEHA Kotva s kulovou hlavou 6000
Popis položky:	6000 - 5,0-0120 - FV (žárově zinkované)
Délka kotvy:	120 mm
Minimální hloubka prvku:	160 mm
Min. osová vzdálenost ez:	375 mm
Min. vzdálenost od kraje	187,5 mm
Zátěžová skupina:	5 t
Povolené zatížení při $\beta_v=25 \text{ N/mm}^2$ :	41 kN

### Rozměry kotvy

l:	120 mm
d:	20 mm
d1:	36 mm
d2:	50 mm
k:	15 mm
Da:	94 mm

Obr. 5.22 Výkres a rozměry navržené kotvy [55]

### Posouzení navržených úchytů

Vlastní tíha panelu:	$F_p =$	62 kN
Styčná plocha mezi dílcem a bedněním při odbedňování:	$A =$	18 m <sup>2</sup>
Součinitel při lnavosti k bednění: (hladké, naolejované)	$q =$	1 kN/m <sup>2</sup>
Přilnavost k bednění:	$F_{odb} =$	18 kN
Úhel závěsu:	$\beta =$	20 °
Součinitel úhlu závěsu:	$a =$	1,06
Dynamický součinitel: (transport autojeřábem)	$\delta =$	1,3
Počet aktivních úchytů:	$n =$	4
Součinitel bezpečnosti:	$\gamma_{g0} =$	1,35

Výpočtová síla při odbedňování:

$$N_d = \delta \cdot \frac{\gamma_{g0}}{n \cdot \cos \beta} \cdot (F_p + F_{odb})$$

$$N_d = 37,4 \text{ kN}$$

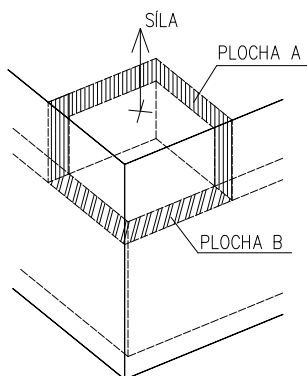
Výpočtová síla při manipulaci:

$$N_d = \delta \cdot \frac{\gamma_{g0}}{n \cdot \cos \beta} \cdot (F_p)$$

$$N_d = 28,9 \text{ kN}$$

Navržený úchyt vyhoví

Při návrhu přepravních úchytů je vzhledem ke konstrukci plováku dále zjednodušeně posouzeno, zda nedojde k vytržení celého zesíleného místa s úchytem. Jako nejhorší možný případ lze předpokládat porušení v místech napojení „bločku“ pro přepravní úchyt na stěny plováku (znázorněno níže na obrázku 5.23). Zjednodušeně je uvažováno, že plocha A je smykově namáhána a plocha B je namáhána tahem. Hodnoty tahové a smykové pevnosti betonu jsou uvažovány pro beton třídy C 80/95. Z výsledků je pak patrné, že samotná plocha B by na přenos zatížení vyhověla.



$$\text{Plocha A: } 52000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Plocha B: } 30400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tahová pevnost betonu: } f_{ctd} = 1,45 \text{ MPa}$$

$$\text{Smyková pevnost betonu: } \tau_{Rd} = 0,56 \text{ MPa}$$

$$\text{Únosnost plochy A: } 29,12 \text{ kN}$$

$$\text{Únosnost plochy B: } 44,08 \text{ kN}$$

$$\Sigma \quad 73,2 \text{ kN}$$

Obr. 5.23 Uvažované porušení

### 5.2.6.6 Výpočet stability

Při posouzení plavidla bylo nutné věnovat pozornost i problematice stability. V rámci výpočtu stability byl uvažován stav, kdy maximální přípustné zatížení lodi by bylo umístěno v nejnepříznivější poloze a to v příčném směru a následně ve směru podélném. Dále pak bylo nutné uvažovat účinky větru, které mohou způsobit překlopení plavidla.

#### Poloha těžiště zatíženého plavidla - G

Hmotnost plováku	6171 kg
Poloha těžiště plováku ( $z_i$ )	438 mm
Hmotnost nástavby	2570,3 kg
Poloha těžiště nástavby ( $z_i$ )	2404 mm
Hmotnost - užité zatížení	1000 kg
Poloha - užité zatížení ( $z_i$ )	1750 mm
$G_{\text{celkové}} =$	9741,3 kg
$Z_c =$	1091 mm
<b>KG =</b>	<b>1091 mm</b>

#### Poloha výtlačkového těžiště - B

Hloubka ponoru	541 mm
Poloha výtlačkového těžiště	270,5 mm
<b>KB =</b>	<b>270,5 mm</b>

#### Stabilita příčná

##### Výpočet metacentrické výšky - GM

$$GM = KB + BM - KG$$

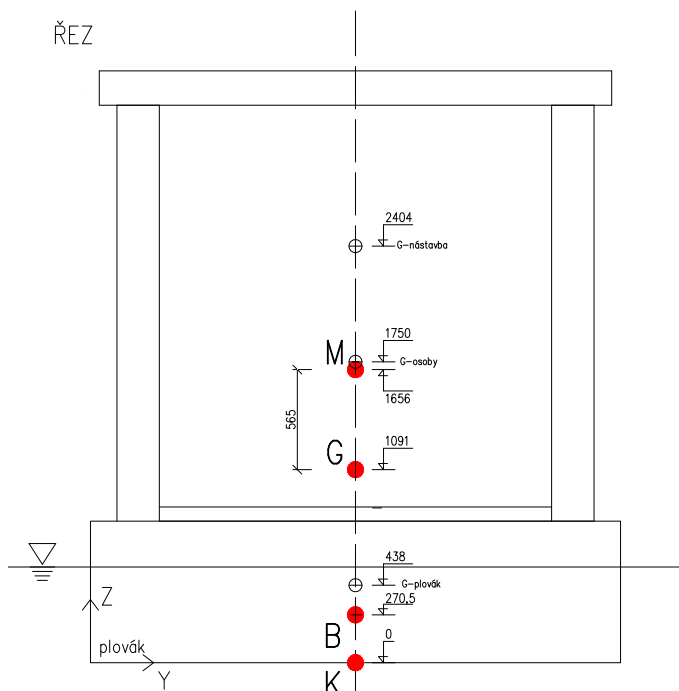
$$BM = \frac{I_T}{V} \text{ [m]}, \quad I_T = \frac{LB^3}{12} \text{ [m}^4\text{]}, \quad V = A \times B \times C \text{ [m}^3\text{]}$$

$$I_T = 13,5 \text{ m}^4$$

$$V = 9,738 \text{ m}^3$$

$$BM = 1386 \text{ mm}$$

$$\text{Metacentrická výška GM} = 565 \text{ mm}$$



Obr. 5.24 Základní body plavidla a jejich poloha – příčná stabilita

Metacentrická výška je kladná a poloha bodu M se nachází nad těžištěm tělesa – jedná se o stabilní rovnováhu. V případě vychýlení s rostoucí velikostí úhlu  $\theta$  roste i rameno gravitační a vztlačové síly. Otáčivý moment má účinek proti směru přírůstku výchylek a těleso se tak samovolně vrací do původní rovnovážné polohy.

Pro plavidlo je nutné v první řadě stanovit velikost úhlu náklonu, pro který má smysl stabilitu uvažovat - v příčném směru při úhlu větším než  $10,5^\circ$  začne přitékat voda na palubu, což je z pohledu užívání nepřijatelné.

Moment statické stability pro natočení  $10,5^\circ$  se vypočte následovně:

$$GM = 0,565 \text{ m}$$

$$M_{\text{stat.stab.}} = G_{\text{celkové}} \times |GM| \times \sin\theta$$

$$M = 10,03 \text{ kNm}$$



V dalším výpočtu bylo posouzeno, jak velký vznikne moment a jaká by byla velikost náklonu plavidla v případě, pokud by celkem 8 osob o celkové hmotnosti 600 kg stálo přímo na okraji paluby.

$GG_1$  - vzdálenost mezi těžištěm G a posunutým těžištěm

$g$  - hmotnost přemístěného závaží

$d$  - vzdálenost přemístěného závaží od těžiště

$$GG_1 = \frac{g \cdot d}{G_{\text{celkové}}}$$

$$g = 600 \text{ kg}$$

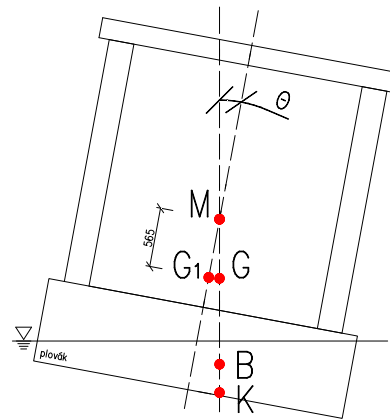
$$d = 1,5 \text{ m}$$

$$GG_1 = 0,092 \text{ m}$$

$$\tan\theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$\tan\theta = 0,1635$$

$$\theta = 9,28^\circ$$



Obr. 5.25 Schéma náklonu – příčná stabilita

Pokud budou uvažované osoby stát na kraji plavidla, dojde k natočení o  $9,28^\circ$ , což je méně než natočení  $10,5^\circ$ , kdy dochází k zaplavení paluby.

Stejný postup byl uplatněn i v případě vyšetření **podélné stability**, dále jsou již uvedeny jen výsledky zjednodušeně.

#### Výpočet metacentrické výšky - GM

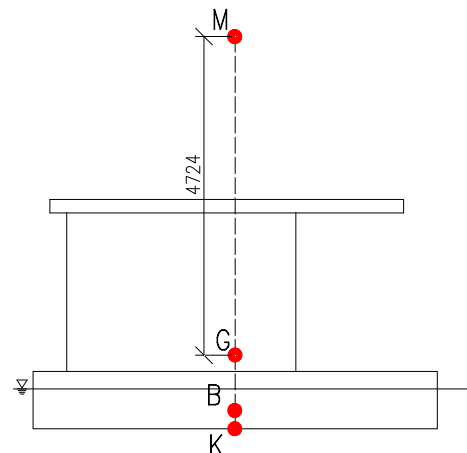
$$GM = KB + BM - KG$$

$$I_T = 54 \text{ m}^4$$

$$V = 9,738 \text{ m}^3$$

$$BM = 5545 \text{ mm}$$

$$\text{Metacentrická výška GM} = 4724 \text{ mm}$$



Obr. 5.26 Základní body plavidla a jejich poloha – příčná stabilita

Při natočení plavidla v podélném směru o úhel  $5^\circ$  začne přitékat voda na palubu, což je z pohledu užívání nepřijatelné.

Moment statické stability pro natočení  $5^\circ$  je roven:

$$GM = 4,724 \text{ m}$$

$$M_{\text{stat.stab.}} = G_{\text{celkové}} \times |GM| \times \sin\theta$$

$$M = 40,11 \text{ kNm}$$

Pokud bude na stát na přídi plavidla 8 osob o celkové hmotnosti 600 kg, dojde k natočení plavidla o úhel  $2,24^\circ$ , což je méně než natočení  $5^\circ$ , kdy dochází k zaplavení paluby.

V obou směrech v případě nejnepříznivějšího uvažovaného stavu zatížení plavidlo vyhovuje.

Stabilitu plavidla je nutné dále ověřit na účinky větru ve směru podélném i příčném. Jak bylo předchozími výpočty prokázáno, stabilita plavidla v podélném směru je výrazně vyšší než ve směru příčném a lze tedy předpokládat, že pokud vyhoví stabilita ve směru příčném, vyhoví i ve směru podélném. Jednoduchou úvahou však lze říci, že v případě působení větru na plavidlo, především jeho nástavbu, bude vznikat vodorovný silový účinek, který zapříčiní posouvání plavidla po hladině. K překlopení plavidla by tak dojít nemělo.

**Klopný moment způsobený větrem -  $M_w$**  (dle ČSN EN ISO 12217-3)

$$M_w = 0,53 \cdot A_{LV} \cdot h \cdot v_w^2$$

$A_{LV}$  - návětrná plocha

$h$  - svislá vzdálenost mezi geometrickými středy  $A_{LV}$  a plochou ponořeného profilu

$v_w$  - rychlost větru - 17 m/s

$$A_{LV} = 11,23 \text{ m}^2$$

$$h = 1,88 \text{ m}$$

$$v_w = 17 \text{ m/s}$$

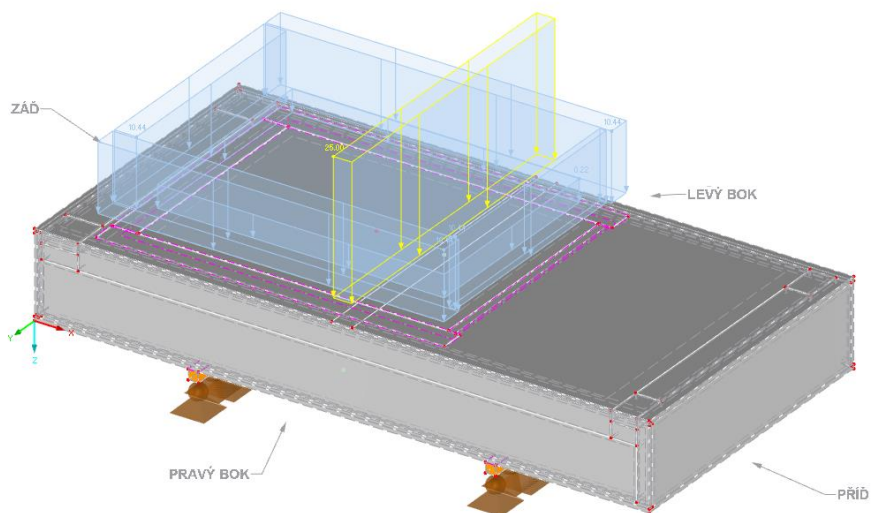
$$M_w = 3,23 \text{ kNm}$$

Vypočtená hodnota klopného momentu je nižší než moment statické stability, kdy dojde k zaplavování paluby vodou a plavidlo tedy z pohledu maximálního náklonu vyhoví. Stabilita by bezpečně vyhověla i v podélném směru, jelikož návětrná plocha je téměř dvakrát menší.

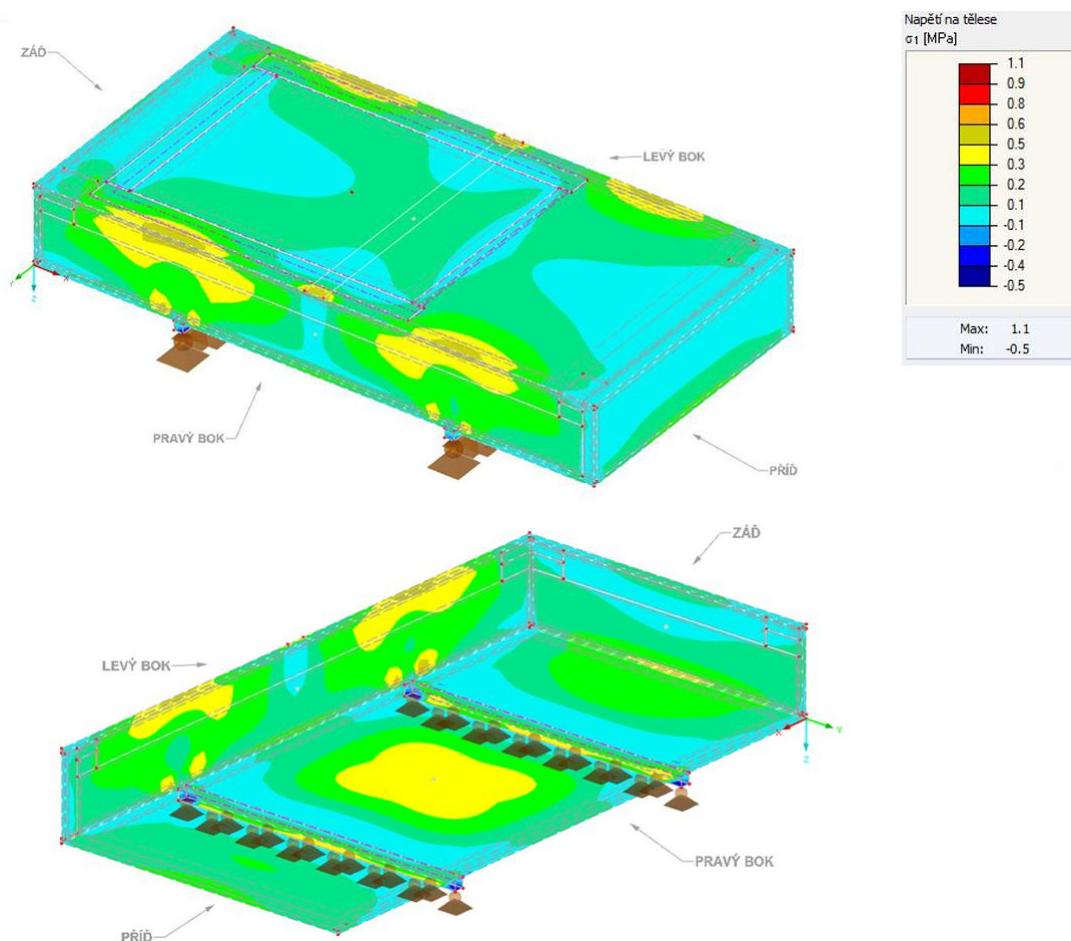
#### **5.2.6.7 Statická zkouška dle vyhlášky 334/2015 Sb.**

**V rámci vyhlášky 334/2015 Sb., část 2, čl. 2.01.3 je popsáno provedení statické zkoušky nově navrženého plavidla takto:** „Lodní těleso nově stavěného plavidla je dimenzováno tak, aby po provedení statické zkoušky se nevyskytovaly v lodním trupu a nástavbách trvalé deformace. Statická zkouška se provede zatížením rovným maximální nosnosti plavidla zvýšeným o 50 %, rovnoměrně rozloženým v délce rovné polovině délky  $L$  trupu souměrně uprostřed. Zkouška se provede na souši, kdy je plavidlo podepřeno v místech stanovených výrobcem, nebo ve čtvrtinách jeho délky LWL od konců plavidla. Od statické zkoušky může být upuštěno v případě, že z dokumentace plavidla, provedených výpočtů pevnosti, dokladování jakosti materiálů a prováděných kontrol v průběhu stavby vyplývá dostatečná pevnost plavidla.“ [24]

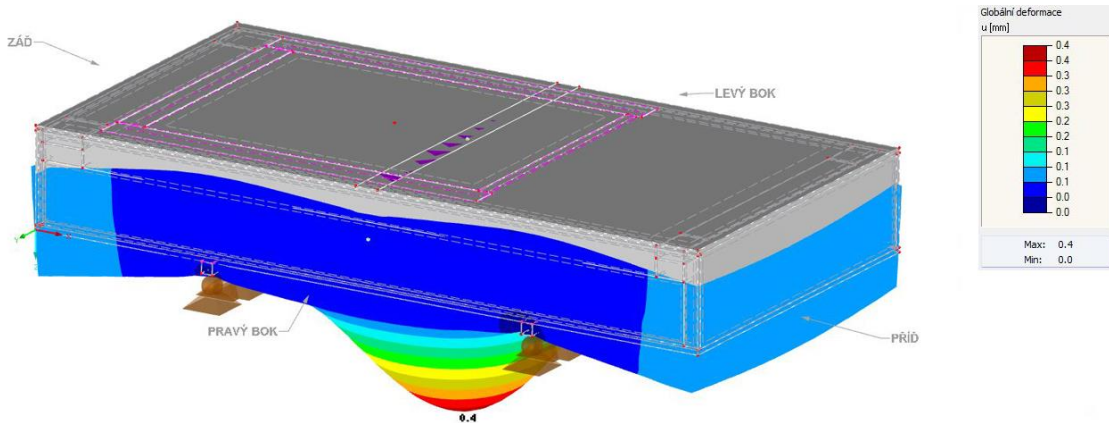
Plavidlo bylo pro numerickou simulaci statické zkoušky podepřeno ve vzdálenosti 1,5 m od přídi a zádi liniovou podporou a zatíženo uprostřed rozpětí plošným zatížením na šíři 0,2 m odpovídající maximální nosnosti zvýšené o 50 % - viz obr. 5.27.



Obr. 5.27 Uvažované zatížení na modelu



Obr. 5.28 Výsledná napětí na konstrukci  $\sigma_1$  [MPa] (pohled shora a zdola)



Obr. 5.29 Globální deformace konstrukce  $u$  [mm]

### 5.3 Zhodnocení

Navržené plavidlo by mělo posuzovaným situacím a účelu vyhovovat. Z výše provedených výpočtů jednotlivých zatěžovacích stavů je patrné, že pro konstrukci plováku je nutné použít vláknobeton s minimální pevností betonu v tahu za ohybu 3,7 MPa.

Při realizaci plavidla by bylo nutné na obvod plováku instalovat elastomerové základní ochranné prvky tlumící případný náraz plavidla a sloužící zároveň k ochraně plováku při kotvení.

Plavidlo musí být dále z pohledu platné vyhlášky 334/1995 Sb. vybaveno povinnou výbavou a to podle parametrů plavidla – vyvazovací lana, kotva, pacholata atd. Pro navržené plavidlo se předpokládá použití elektromotoru do 4 kW umístěného na zádi plavidla, ovládání je pak uvažováno zevnitř plavidla z přídi. Instalace sloužící pro spojení pohonu a řízení je možné vést vnitřním prostorem plováku. Elektropohon může být nahrazen i spalovacím motorem při dodržení maximálního výkonu. Pohon musí být upraven tak, aby plavidlo nepřesáhlo rychlost 15 km/h, přičemž vzhledem ke tvaru plavidla se předpokládá maximální rychlost plavby do 3 km/h.

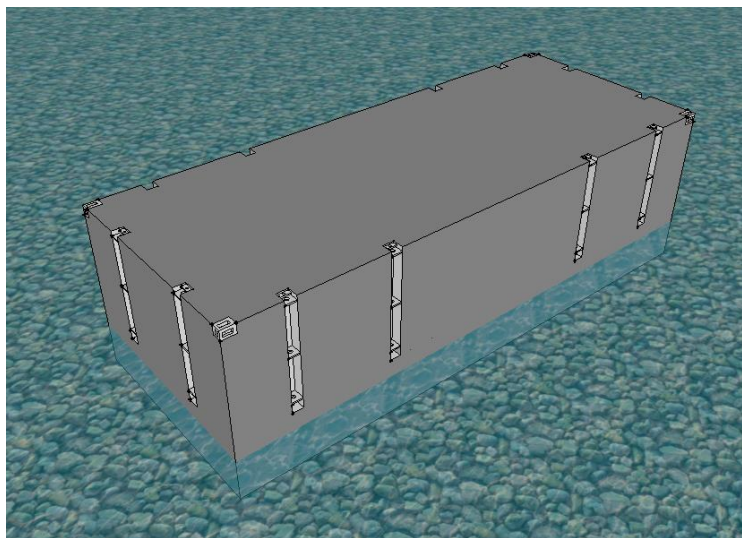
V příručce pro užívání plavidla je nutné uvést podmínky provozu a údržby k plavidlu a upozornit tak, že při překročení omezujících podmínek může mít za následek poškození či převržení plavidla. Navržené plavidlo by bylo po výrobě a umístění na vodu nutné podrobit zkouškám, dle platných norem (především ČSN EN ISO 12217-3).

## 6 Modulové pontony

Cílem návrhu bylo koncepčně navrhnout možné řešení plovoucích modulových pontonů z vláknobetonu. Základním prvkem je ponton, který je možné spojovat pomocí navržených spojovacích prvků v celky větších rozměrů. Předností řešení je možnost vytvoření pontonu prakticky neomezeného rozměru a libovolného tvaru. Využití nachází tento systém v různých oblastech jako například u těžebních plovoucích strojů, jako pracovní plošiny při opravách z vodních hladin či jako přístavní pontony.

### 6.1 Navržený ponton

Navržený základní ponton modulového systému je 6,1 m dlouhý a 2,4 m široký. Výška navrženého pontonu je 1,85m. V případě využití pontonů pro aplikace, kde není vyžadována vysoká únosnost, je možné výšku pontonu redukovat dle potřeb. Vnitřní jádro pontonu je stejně jako u prvku navrženého v kapitole 5 tvořeno polystyrenem. Stěny pontonu jsou navrženy z vláknobetonu a tloušťka stěn je 50 mm. V rámci konstrukce pontonu jsou navíc vytvořena výztužná žebra v příčném směru v místech spojovacích prvků zajišťující vyšší tuhost. V místech, kde jsou osazeny spojovací prvky či transportní úchyty, jsou stěny zesíleny. Konstrukci je možné v extrémně namáhaných oblastech vyztužit též pomocí betonářské výztuže - svařovaných sítí. Provedení pontonu je patrné z vizualizace na obrázku 6.1 a z výkresové dokumentace pontonu v příloze. Návrh pontonu vycházel i z předpokladu jejich využití pro těžební stroj Reiter RCM 60 ze štěrkopískovny v Hulíně.



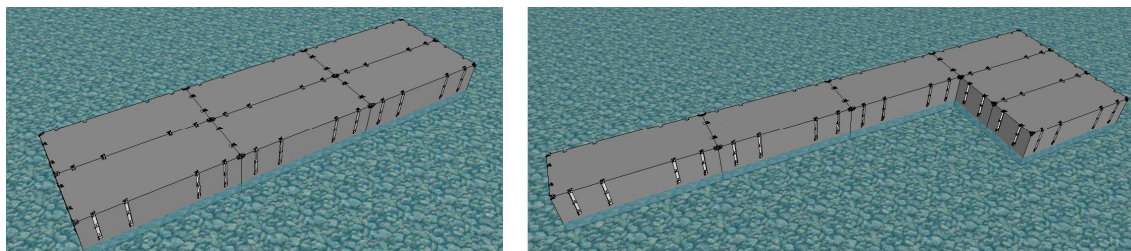
Obr. 6.1 Vizualizace navrženého modulového pontonu

Technologie výroby navrženého pontonu je uvažována obdobně jako pro navržený plovák pro rybáře a rekreaci v rámci kapitoly 5. Modulový ponton je však oproti předchozímu plováku doplněn celkem o 12 spojovacích prvků, které musí být v bednění osazeny již před betonáží, stejně tak jako prvky sloužící pro transport umístěné v každém z rohů pontonu.

Modulový systém je navržen tak, aby jednotlivé pontony bylo možné spojovat jak delší stranou k sobě, tak i stranou kratší. V případě spojování pontonů po delší straně vzniká systém

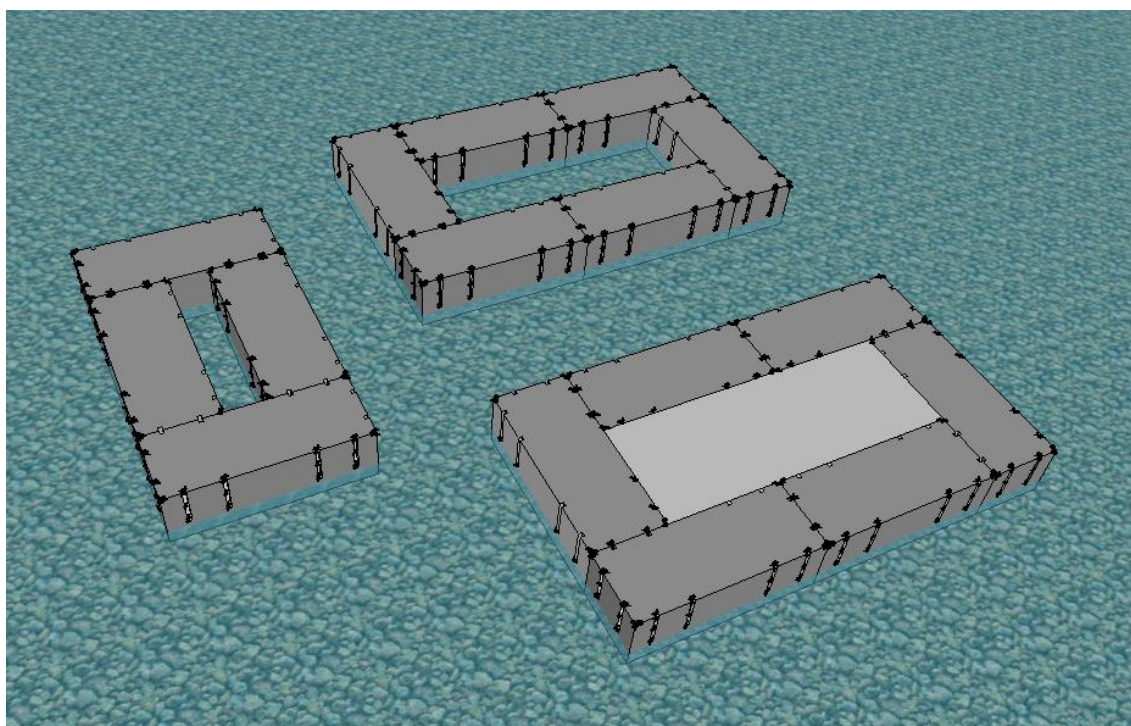


s modulovou délkou v násobcích šířky 2,4 m. Při spojování pontonů kratší stranou pak vzniká systém s modulovou délkou v násobcích délky 6,1 m. Příklady různých sestav jsou znázorněny na obrázku 6.2.



Obr. 6.2 Příklady spojení pontonů

V případě kombinovaného spojování, tzn. delších a kratších stran kolmo k sobě však násobnost modulu zachována záměrně není. Vzniká tak volný prostor, který může sloužit jako přístupový prostor pod vodní hladinu (pro stroje) či může sloužit jako prostor pro osazení kotevních sloupů. Volný prostor je možné případně jednoduše překrýt například pomocí ocelové konstrukce. K jejímu kotvení může být s výhodou využito míst pro spojovací prvky. Tyto sestavy jsou zobrazeny na obr. 6.3.



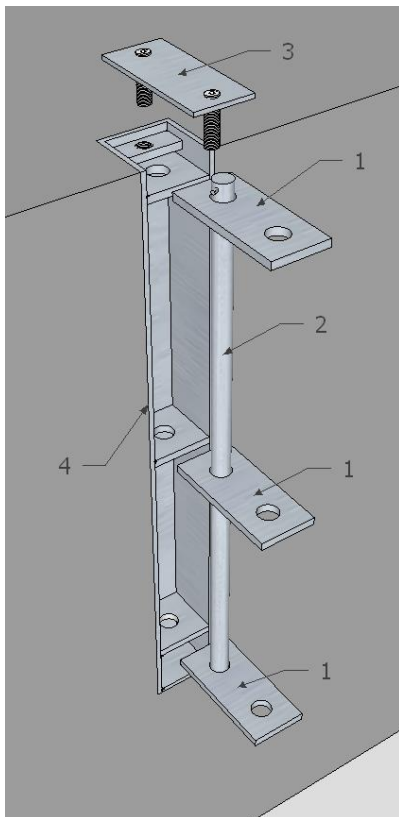
Obr. 6.3 Příklady kombinovaného spojování pontonů

## 6.2 Spoje pontonů

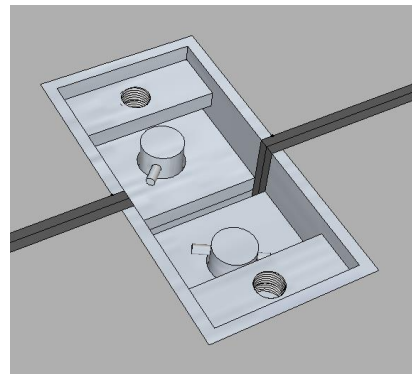
Provedení spojů pontonů může být realizováno jako tuhé – zabraňující posunům i natočením či kloubové – umožňující natočení pontonů vůči sobě. Spoje jsou pak navrhovány cíleně dle využití pontonu. Pro vlnolamy či přístavní mola jsou většinou prováděny spoje kloubové, tuhé spojení není vyžadováno a spoj je provedením významně jednodušší. Pontony určené právě například pro těžební stroje musí tvořit „jeden“ tuhý celek – vyžadován spoj tuhý. Tuhé spojení pontonů

může být ale realizováno i pomocí konstrukce nacházející se nad pontonem - ocelovou konstrukcí kotvenou do pontonů.

Pro navržený modulový systém byly v rámci diplomové práce koncepčně řešeny spoje mezi jednotlivými pontony s cílem co nejjednoduššího a nejlevnějšího provedení. Spojení pontonů dohromady musí zajišťovat zabránění proti svislému posunutí, vodorovnému oddálení a natočení pontonů vůči sobě. Jednoduchá vizualizace spoje je znázorněna na obr. 6.4. Spoj je realizován pomocí dvou závlačí (2), každé pro jeden ponton, doplněné o sadu spojovacích ocelových prvků (1), kterými závlač v zabudovaném spojovacím prvku pontonu (4) prochází. Veškeré kotevní prvky jsou navrženy z oceli se povrchovou úpravou žárovým zinkováním zabraňující korozi.



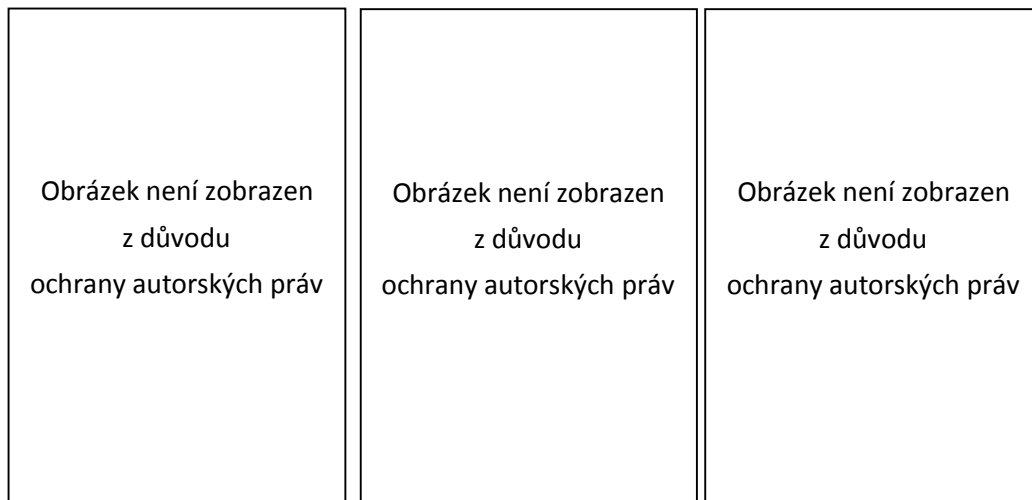
Obr. 6.4 Vizualizace jednotlivých prvků spoje



Obr. 6.5 Vizualizace sestaveného spoje

Při spojování pontonů je v první fázi, již na souši, na jednom z pontonů osazena závlač (2) do prostoru spoje pontonů (4), a to včetně spojovacích prvků (1). Po transportu pontonu na vodní hladinu jsou dva spojované pontony přiblíženy k sobě v místech spojení, spojovací prvky (1) se zasunou do kotvícího prvku druhého pontonu (4) a osadí se druhá závlač (2). Takto sestavený stav je znázorněn na obr. 6.5 nahoře. Spojení závlači zabraňuje vodorovnému oddálení a vzájemnému natočení pontonů. Spoj je dokončený po osazení prvku (3). Prvek (3) se osadí do místa spoje a pomocí ocelových šroubů se pontony spojí. Tento prvek zabraňuje vzájemnému svislému posunu pontonů. Kontaktní plochy pontonů musí být zároveň doplněny na každé z ploch pontonu o pryžovou deskou, která eliminuje výrobní odchylky a zabraňuje přímému kontaktu betonových ploch. Navržené spoje by bylo nutné pro příslušný způsob využití a zatížení pontonu posoudit.

Spoje pontonů je možné řešit i jinými druhy spojů, které se používají především pro ocelové pontony. Jedním z druhů je spojování pontonů dohromady pomocí šroubení umístěného při dně pontonu a vrchní části pontonu. Pro realizaci spoje je však nutný přístup do vnitřního prostoru pontonu, odkud je spoj proveden. Dalším řešením je poměrně sofistikovaný patentovaný systém IncradiLock [40] spočívající na principu rozšiřujícího se ocelového prvku ve tvaru „I“ profilu, který je zasunut do předem připravených kapes v pontonech a zafixován pomocí roztažných prvků v hlavě spojovacího dílu. Z pohledu rychlosti realizace spoje mezi pontony je tento systém nejlepší, avšak z pohledu výrobních nákladů je rozhodně cena tohoto spoje výrazně vyšší. Tento druh spoje je uveden níže na obr. 6.6.



Obr. 6.6 Řešení spoje – IncradiLock [40]

### 6.3 Analýza navrženého pontonu

Po vytvoření konečného výkresu pontonu (obr. 6.7), včetně všech nezbytných částí a prvků, bylo možné stanovit konečnou hmotnost a parametry pontonu.

#### Hmotnost plováku

Betonové části:  $m_{bet.} = 8031 \text{ kg}$

Polystyrenové jádro:  $m_{pol.} = 725 \text{ kg}$

Spojovací prvky:  $m_{boky} = 352 \text{ kg}$

Celková hmotnost pontonu:  $m_{tot} = 9108 \text{ kg}$

#### Plocha dna plováku

$$A_{dno} = 14,64 \text{ m}^2$$

#### Hloubka ponoru nezatíženého pontonu

$$F_G = F_{vz}$$

$$m \cdot g = A \cdot h \cdot \rho_K \cdot g$$

$$9108 \cdot 9,81 = 14,64 \cdot h \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$h = 0,622 \text{ m}$$

#### Maximální zatížení pontonu (volný bok 40 cm)

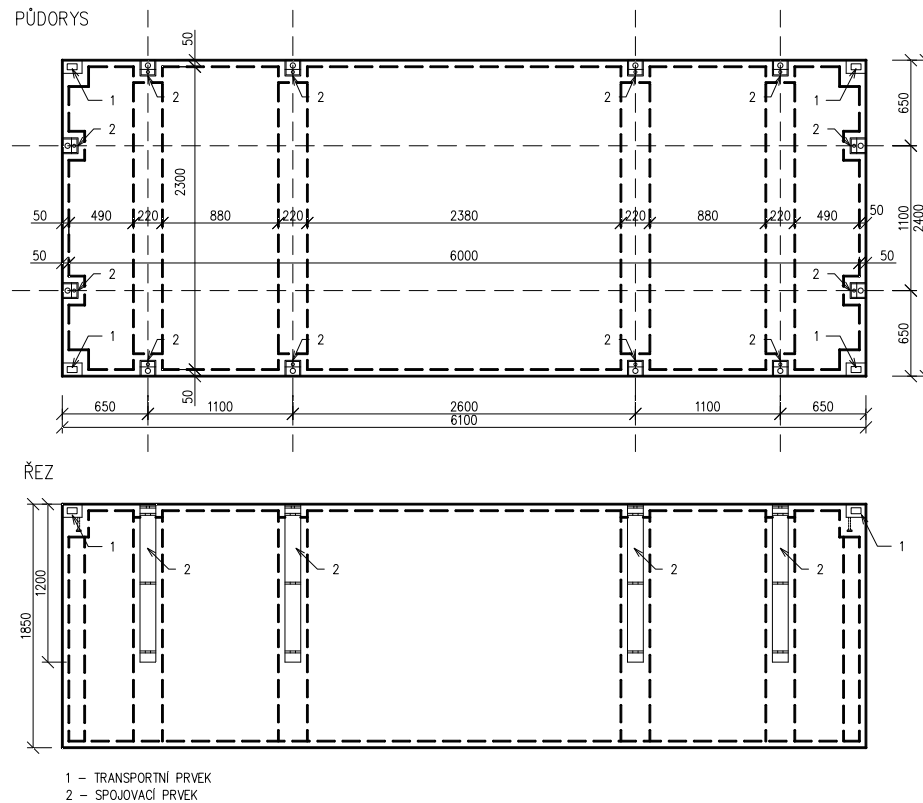
$$F_G = F_{vz}$$

$$m \cdot g = A \cdot h \cdot \rho_K \cdot g$$

$$(9108 + X) \cdot 9,81 = 14,64 \cdot 1,45 \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$X = 12120 \text{ kg}$$

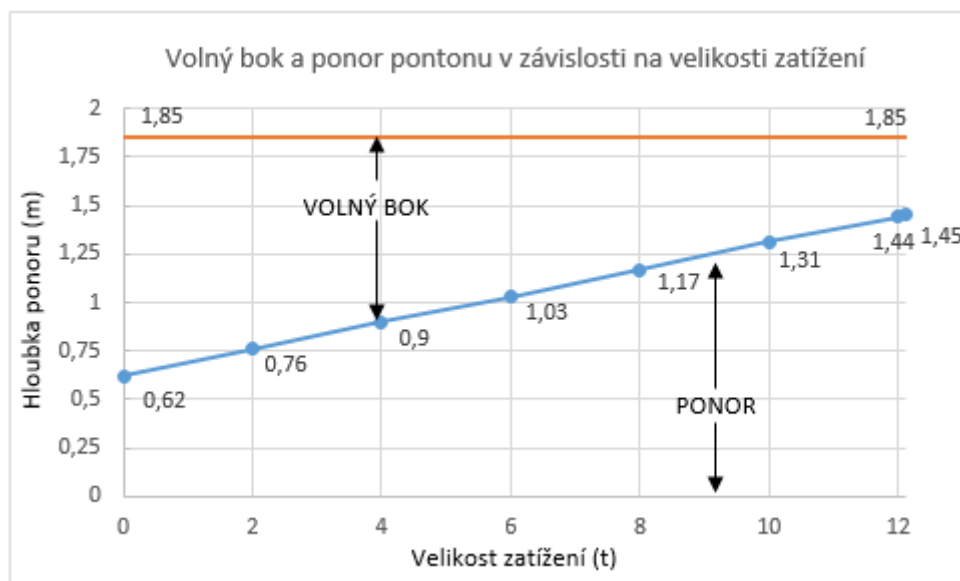




Obr. 6.7 Výkres pontonu

Při zachování volného boku minimálně 40 cm (minimální hodnota výšky pontonu nad hladinou při maximálním zatížení) je pak možné ponton zatížit maximální užitnou hmotností 12 120 kg. Únosnost pontonu je tedy 827 kg/m<sup>2</sup>. Závislost hloubky ponoru na velikosti zatížení pontonu je patrná z níže uvedeného grafu.

Graf 6.1 Ponor pontonu v závislosti na velikosti zatížení



Pro využití pontonu by bylo dále nutné v další fázi provést a posoudit výpočet stability a numerickou analýzou posoudit navržený ponton pro dané využití.

Výše navržený modulový systém betonových pontonů by pravděpodobně vyhovoval i k použití pro těžební stroj Reiter RCM 60. Hmotnost těžebního stroje včetně vlastní hmotnosti pontonů byla při prohlídce stanovena z výtlačku vody a plochy pontonů stroje. Plocha pontonů stroje je 239 m<sup>2</sup> a průměrný ponor pontonů je 1,35 m. Z těchto údajů byl určen celkový výtlak, který je 322,65 t. Při nahrazení ocelových pontonů pontony betonovými při zachování stejné plochy by únosnost betonových pontonů byla téměř 200 t. Při této úvaze by vlastní hmotnost nástavby pontonů (vlastní hmotnost stroje) tvořila přibližně 62% celkové hmotnosti sestavy. Hrubým odhadem lze z celé sestavy předpokládat, že vlastní hmotnost stroje – nástavby pontonů je srovnatelná s vlastní hmotností pontonů. Pro přesné posouzení by bylo nutné hmotnost nástavby pontonů zjistit z dokumentace plovoucího stroje, která nebyla k dispozici.

## 6.4 Problematika náhrady oceli betonem pro plovoucí tělesa

Aktuální platná legislativa a normy v současné době neumožňují použití betonu jako materiálu pro konstrukci plovoucích plavidel či těles. V rámci autorem prostudované platné legislativy byla především ve vyhlášce 223/1995 Sb. uvažována pouze lodní ocel. Výpočty a vzorce pro tloušťku obšívky, tloušťky a rozteče žebel uvedené v této vyhlášce jsou právě přizpůsobené pouze lodní oceli. Lodní trup musí vykazovat takovou odolnost, aby v případech, které mohou během užívání nastat, bezpečně namáhání vyhověl. V případě, pokud se na stavbu lodního trupu či tělesa použije jiný materiál než ocel, musí odolnost trupu či tělesa odpovídat nejméně pevnosti, jako kdyby bylo použito oceli.

Ocelové pontony se provádějí jako duté konstrukce. Vnitřní prostor pontonu je vyztužen soustavou žebel zajišťující tuhost a odolnost pontonu, a zároveň musí být vnitřní prostor pontonu přístupný, z důvodu pravidelných kontrol, jak již bylo podrobněji popsáno v rámci kapitoly 2.6. V případě proražení stěny ocelového pontonu může tedy dojít i k jeho zaplavení až potopení. V případě betonových pontonů vyplněných polystyrenem v takovém případě však k potopení nedojde. Lodní ocel použitá pro stavbu pontonu musí být certifikovaná. Ocel nesmí být křehká, při nárazu se může deformovat, ale nesmí prasknout. Ocelové pontony, v závislosti na použité tloušťce plechu mají životnost přibližně do 20 až 25 let, v případě pravidelné údržby a ošetřování ještě delší. Při prohlídce se sleduje technický stav plavidla (především plováků), je prováděna kontrola svarů, ultrazvukem je měřena tloušťka plechu obšívky a zhodnocen tak úbytek materiálu. Dále je prováděna kontrola vodotěsnosti.

V rámci malých plavidel lze pro aplikaci jiných materiálů než oceli použít normy řady ČSN EN ISO 12215 – 1 až ČSN EN ISO 12215 – 8. Tyto normy již uvažují i jiné použitelné materiály, samozřejmě vzhledem k menším rozměrům malých plavidel.

Vývoj a pokrok v oblasti vláknobetonů je za poslední roky významný. Je tedy možné, že právě vláknobeton bude v následujících letech materiálem, který se pro výrobu pontonů či dokonce plavidel bude využívat. Výhodou oproti oceli či plastu je vyšší životnost, nižší výrobní pracnost a nižší cena. Nevýhodou však může být nutná větší tloušťka stěn prvků a vyšší hmotnost. V případě použití vláknobetonů však bude nutné navrhnout vhodný způsob kontroly plavidla jako je u ocelových prvků.

## 6.5 Cenové srovnání

Pro praktickou realizaci pontonů z vláknobetonu je důležité cenové porovnání variant.

Pro výše navržený modulový betonový ponton je pro výrobu zapotřebí celkem  $3,34 \text{ m}^3$  betonu, což při použití receptury navržené v kapitole 7 a její jednotkové ceně přibližně 4500,- Kč za  $1 \text{ m}^3$  je přibližně 15000,- Kč pro celý ponton. K ceně betonu je nutné dále připočítat cenu za polystyrenové jádro, kdy jednotková cena je přibližně do 2500,- Kč za  $1 \text{ m}^3$  [42] v závislosti na výrobci a množství odběru. V celkovém objemu je cena za polystyrenové jádro cca 62500,- Kč.

V případě ocelového pontonu je možné cenu stanovit podobně jednoduchým odhadem ceny materiálu. Ocelový modulový ponton téměř stejných rozměrů jako výše navržený betonový od výrobce [41] váží 6,2 t. Při uvažování přibližné jednotkové ceny ocelového plechu cca 22,- Kč [43] za 1 kg, pak cena samotného materiálu na ocelový ponton vychází na cca 136 000,- Kč.

Výše uvedené ceny jsou stanoveny pouze jako orientační a pro přesnější porovnání by bylo nutné zajistit konkrétní cenové kalkulace.

K oběma variantám je nutné samozřejmě zahrnout výrobní práce. Výrobní náročnost ocelového pontonu oproti betonovému je časově i finančně náročnější. I při konzervativním uvažování, že by výrobní proces obou variant trval stejnou dobu, se však finální cena výrobku liší již na použitých materiálech.

Pro pokračování ve vývoji betonových pontonů pro praktickou realizaci by bylo vhodné podrobnější srovnání variant. Bylo by nutné získat dokumentaci modulového ocelového pontonu od výrobce, na základě této dokumentace pak podrobně navrhnout podobný, avšak betonový ponton a provést analýzu a porovnání obou pontonů. Výsledkem by pak bylo porovnání parametrů a odolností pontonů, ale i podrobnější porovnání z hlediska nákladů, včetně nákladů na provoz.

## 7 Návrh a experimentální ověřování vláknobetonu pro betonové plovoucí prvky

### 7.1 Úvod

V rámci diplomové práce bylo cílem zahrnout i praktický návrh a ověření vlastností možných receptur betonu určených právě pro realizaci vláknobetonových plovoucích prvků. Cílem bylo použít několik druhů dostupných vláken, vytvořit zkušební receptury a porovnat jejich vlastnosti.

Zkušební vzorky byly realizovány v prostorách laboratoře společnosti Betotech s.r.o v Berouně. V rámci experimentů byly provedeny pouze základní zkoušky materiálů, a to především z časových důvodů a možností laboratoře v Berouně.

Z výše uvedených důvodů tak nebyly dosud provedeny zkoušky mrazuvzdornosti, vodotěsnosti či modulu pružnosti, jelikož tyto zkoušky jsou poměrně náročné a bylo by zapotřebí i větší množství vzorků. Jedná se tedy pouze o pilotní zkoušky určené pro zhodnocení možnosti použití určitých typů vláken a navržené receptury.

Navržené zkušební záměsi měly především za úkol

- (i) ověřit zpracovatelnost především z důvodu, že navržené betonové plovoucí prvky jsou tenkostěnné,
- (ii) ověřit, zda navržená směs bude pro uvažovaný výrobek svými parametry vyhovující.

V rámci ověření možnosti betonáže tenkých prvků z vláknobetonu byl za tímto účelem realizován i dílčí pilotní výrobek uvedený v kapitole 8.

### 7.2 Návrh betonové směsi a složení

Při návrhu receptury vláknobetonu určené pro plovoucí betonové prvky bylo důležité, aby složky byly běžně dostupné a vláknobeton tak byl běžně vyrobitelný v betonárně. Při návrhu bylo nutné zároveň přihlížet k faktoru ceny, aby cena nebyla nikterak výrazně vysoká. Receptura byla navržena ve spolupráci s p. Ing. Stanislavem Smiřinským ze společnosti Betotech s.r.o.

Vstupním cílem při návrhu receptury bylo dosažení vysoké pevnosti betonu v tahu za ohybu, a jak již bylo řečeno, tak i dobré zpracovatelnosti. Za tímto účelem byla optimalizována křivka zrnitosti, použity byly celkem dva druhy kameniva. Pro navrženou recepturu bylo vzhledem k tloušťce stěn budoucích prvků 40 mm použito kamenivo s maximální velikostí zrna 8 mm. Součástí receptury byl i superplastifikátor. Úkolem bylo především dosáhnout co nejvyšších parametrů pevnosti, které byly požadovány v první fázi návrhu. Předpokladem návrhu bylo dosáhnout pevnostních charakteristik:

- (i) Pevnosti v tlaku po 28 dnech hodnoty 80-100 MPa
- (ii) Pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech 8-10 MPa.

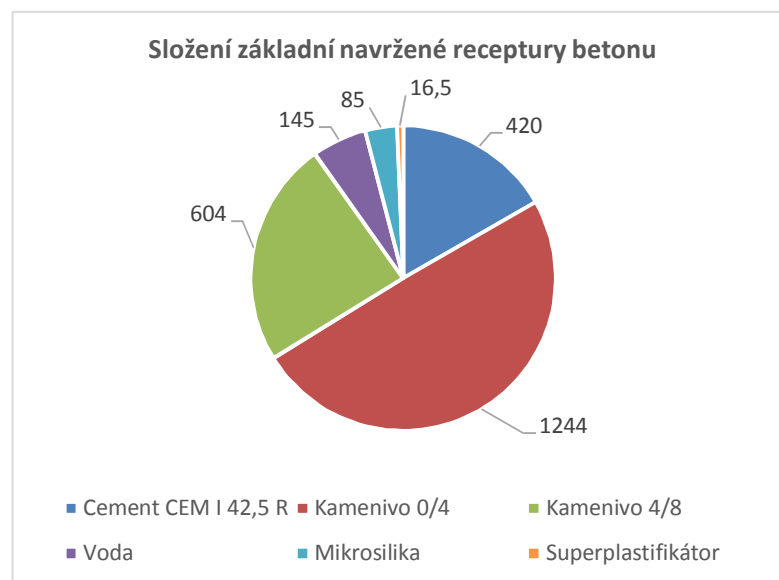
Základní receptura betonu byla složena z těchto základních složek:

- Portlandský cement CEM I 42,5
- Kamenivo frakce 0-4 - Zálezllice
- Kamenivo frakce 4-8 - Měrunice
- Mikrosilika - SikaFume® Compasil CZ
- Superplastifikátor Sika® ViscoCrete®-20 Gold
- Pitná voda

Tabulka 7.1 Složení základní navržené receptury betonu

Základní receptura	
Složka	Obsah [kg/m <sup>3</sup> ]
Cement CEM I 42,5 R	
Mikrosilika SikaFume Compasil CZ	
Kamenivo 0/4 Zálezllice	
Kamenivo 4/8 Měrunice	
Superplastifikátor ViscoCrete-20 Gold	
Voda	

Graf 7.1 Složení základní navržené receptury betonu

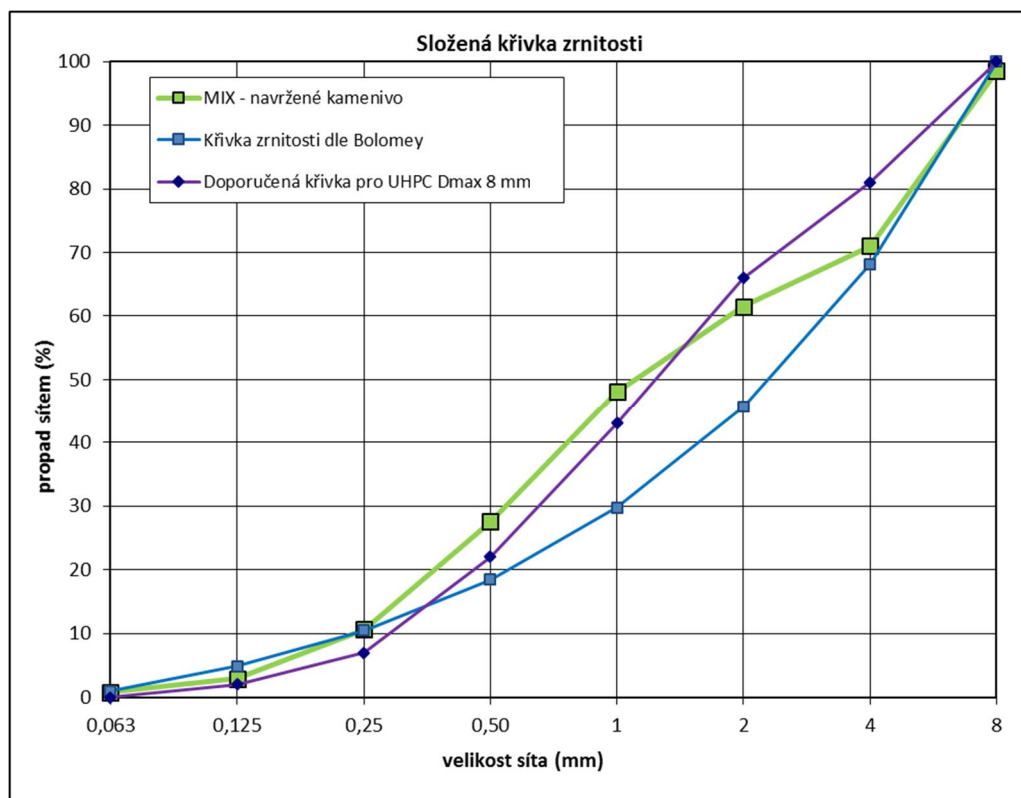


Tabulka 7.2 Křivka zrnitosti použité směsi kameniva

**Křivka zrnitosti**

Podíl	Materiál		0,063	0,125	0,25	0,50	1	2	4	8	16
70,0%	0/4 Zálezllice	Propad %	1	4	15	39	68	87	98	100	100
30,0%	Měrunice 4/8	Propad %	0	0	1	1	2	2	8	95	100
100,0%	<b>MIX</b>		1	3	11	28	48	62	71	99	100

Graf 7.2 Křivka zrnitosti navrženého kameniva



Dávkování kameniva frakce 0-4 a frakce 4-8 bylo navrženo v procentuálním objemovém poměru 70:30. Při výrobě zkušebních záměsí bylo použité kamenivo frakce 0/4 vlhké, konkrétně vlhkost dosahovala hodnoty 3,4 %. Z tohoto důvodu došlo k úpravě množství záměsové vody. Výsledný vodní součinitel referenční směsi byl roven hodnotě  $w = 0,29$ .

Do navržené základní receptury bylo dále použito celkem 3 druhů vláken – skleněná, polymerová a ocelová.

**Skleněná vlákna** byla použita od společnosti Sklocement Beneš s.r.o. - typ Anti-crack HD, o délce 12 mm. Pevnost vláken v tahu dosahuje hodnoty 1700 MPa a modul pružnosti 72 GPa. Tato vysokopevnostní vlákna se používají například do podlahových potěrů, stříkaných betonů, ale právě i pro tenkostěnné betonové prefabrikáty či sklovláknobetonové skořepiny. Vlákna se jednoduše vmíchávají do betonu, betonová směs se dobře upravuje – z betonovaného povrchu vlákna nevystupují a vlákna nepodléhají korozi. Cena vláken se pohybuje okolo 350,- Kč za 1 kg. Dávkování těchto vláken bylo převzato dle doporučení výrobce odpovídající pro betonové prefabrikáty, a to v množství 5 kg/m<sup>3</sup>. [44]

**Polymerová vlákna** byla použita od společnosti GCP Applied Technologies – typ Strux 90/40. Jedná se o makroskopická vlákna délky 40 mm s poměrem stran 90, povrch vláken je rovný, hladký a neprofilovaný. Pevnost vláken v tahu dosahuje hodnoty 620 MPa a modul pružnosti 9,5 GPa. Vlákna se používají například pro průmyslové podlahy, pro interiérové i exteriérové použití či pro tenkostěnné prefabrikované konstrukce. Cena těchto vláken se pohybuje okolo 250,- Kč za 1 kg. Doporučené dávkování vláken od výrobce se pohybuje v rozmezí 2 až 8 kg/m<sup>3</sup>. [45]

**Ocelová vlákna** byla použita od společnosti KrampeHarex typ DE 30/0,5 M. Tyto ocelové drátky dosahují délky 30 mm a průměru 0,5 mm. Koncová úprava drátku je tvořena zahnutým „hákovým“ koncem. Pevnost vláken v tahu dosahuje hodnoty 1250 MPa. Vlákna se používají pro prefabrikované prvky či podlahy. Cena vláken se pohybuje okolo 30,- Kč za 1 kg. Použití těchto ocelových vláken však není pro účely plovoucích betonových zcela vhodné z důvodu trvalého vystavení vodě. Ocelová vlákna by bylo možné použít, avšak pouze v případě ošetření betonových ploch například povrchovým nátěrem. Tím by však u plovoucích prvků musela probíhat pravidelná údržba. Výhodnější by z tohoto důvodu bylo použít ocelová vlákna s antikorozií úpravou jejich povrchu či použít drátky z nerezové oceli, obě tyto možnosti výrobce nabízí. Pro potřeby experimentu byla použita vlákna z běžné oceli bez povrchové úpravy. [29]

Celkem v závislosti na použitých vláknech a jejich dávkování bylo vytvořeno 6 receptur, respektive zkušebních záměsí. Dávkování vláken, kromě receptury č. 3, bylo provedeno ve dvou rozdílných množstvích. Účelem bylo získat porovnání vlivu množství vláken na konečné vlastnosti betonu. U receptury č. 4 bylo množství vláken o 1 kg/m<sup>3</sup> vyšší než doporučené dávkování. Toto množství však bylo navrženo a doporučeno dle zkušeností hlavního technologa společnosti výrobce vláken.

Tabulka 7.3 Tabulka receptur s vlákny

Tabulka jednotlivých receptur		
Označení receptury	Typ vláken	Dávka vláken [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Referenční	-
2	Anti-crack	5
3	Strux 90/40	4
4	Strux 90/40	9
5	KrampeHarex DE 30/0,5 M	35
6	KrampeHarex DE 30/0,5 M	50



Obr. 7.1 Fotografie použitých vláken: a) skleněná vlákna, b) polymerová vlákna, c) ocelové drátky

### 7.3 Příprava a betonáž vzorků

Výroba vzorků probíhala v laboratoři Betotech v Berouně. Jednotlivé suché složky záměsí byly naváženy v potřebném množství a vloženy do metlové míchačky, respektive do plastové nádoby míchačky. Míchání cementu, mikrosiliky a kameniva probíhalo přibližně jednu minutu. Následně



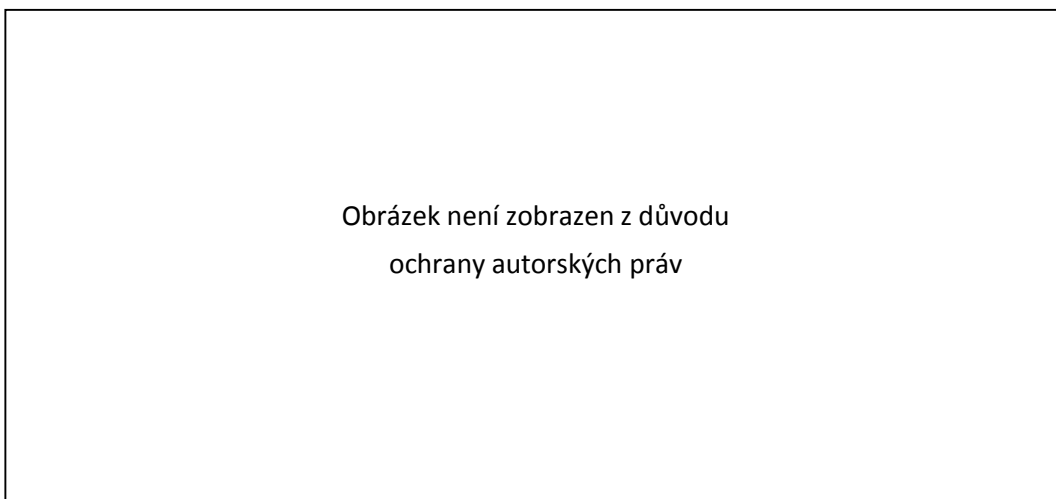
byla do směsi za stálého míchání přidávána jednotlivá vlákna. Po dokonalém promíchání byla postupně přidávána voda a superplastifikátor. Směs byla následně míchána po dobu přibližně 7–10 minut, respektive do doby, kdy vykazovala kompaktní strukturu.



Obr. 7.2 Míchání směsi

Během míchání jednotlivých záměsí bylo nutné v případě receptury číslo 3,4,5 a 6 upravit množství superplastifikátoru z důvodu většího množství vláken, jelikož směs již na první pohled nevykazovala požadovanou míru zpracovatelnosti.

Pro **stanovení konzistence čerstvého betonu** byla pro každou záměs provedena zkouška rozlitím dle normy ČSN EN 12350-5 [46]. Základními prvky této zkoušky jsou střešací stolek o rozměru 700x700 mm a ocelová forma pro zhotovení zkušebního tělesa, viz obrázek 7.3. Na začátku zkoušky se na vodorovný povrch umístí střešací stolek a navlhčí se zkušební forma. Následně se doprostřed stolku umístí kuželová forma, která se naplní betonem. Plní se ve dvou fázích stejným množstvím betonu, kdy každá vrstva je lehkými 10ti úderů dusadlem zarovnána. Po naplnění formy do výšky horního okraje se forma zdvihne svisle nahoru. Následně se provede střešání vzorku, kdy se pomalu zvedne horní deska se vzorkem až do výšky zarážky – 40 mm a deska se pustí a nechá volně dopadnout na desku spodní. Tento postup se opakuje celkem 15krát. Výsledkem je průměr ze dvou hodnot rozměru s přesností 10 mm rozlitého betonu ve směrech s hranami stolku. Dle naměřených hodnot je stupeň konzistence podle rozlití rozdělen celkem do 6 stupňů.

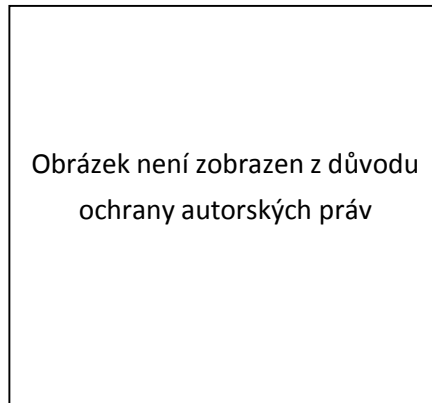


Obrázek není zobrazen z důvodu  
ochrany autorských práv

Obr. 7.3 Střešací stolek a forma na beton [46]



Tabulka 7.4 Klasifikace konzistence podle rozlití [46]



Při vyhodnocení zkoušky byla zároveň kontrolována struktura čerstvého betonu, respektive segregace betonu. Ve všech případech však k segregaci nedošlo a zkoušky a beton lze považovat za vyhovující.

Výsledky zkoušek rozlití jsou uvedeny v souhrnné tabulce 7.5.

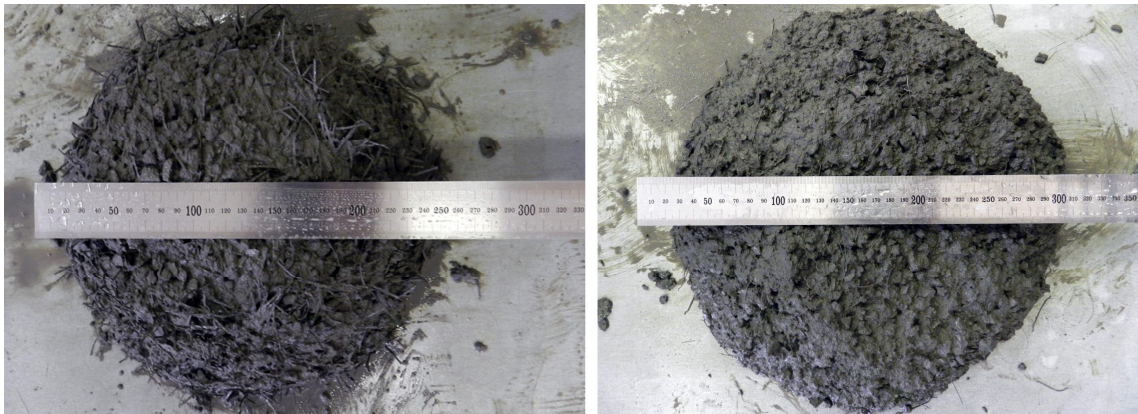
Tabulka 7.5 Hodnoty rozlití, stupeň konzistence

Záměs	1	2	3	4	5	6
Hodnota rozlití [mm]	590	530	440	270	570	340
Stupeň konzistence	F5	F4	F3	F1	F5	F1

Záměsi č. 4 a 6 by vzhledem k jejich dosažené konzistenci nebylo možné pro plovoucí vláknobetonové prvky použít. Již během míchání nebylo možné směs ani dobře promíchat, důvodem bylo velmi vysoké množství vláken v betonu.



Obr. 7.4 Zkouška rozlitím referenční záměsi (vlevo před střešáním, vpravo finální rozlití)



Obr. 7.5 Struktura betonové směsi a zkouška rozlití receptury č.4 (vlevo) a č. 6 (vpravo) - obě nevyhovující

Následně byla vyrobena zkušební tělesa. Z každé záměsi byla vyrobena jedna sada celkem 3 zkušebních trámečků o rozměru 40x40x160 mm a jeden zkušební trámec o rozměru 100x100x400 mm. Při realizaci zkušebních vzorků, především zkušebních trámců byla forma vždy plněna dvojnásobným množstvím uprostřed formy a jednonásobným množstvím na každém z okrajů formy, a to především z důvodů, aby nebyla ovlivněna orientace vláken případným „roztékáním“ betonu právě do stran formy.

Zkušební vzorky byly vybetonované do forem ošetřených odbedňovacím přípravkem a vzorky byly hutněny za pomoci vibračního stolku. Uloženy byly ve formách 24 hodin, následně byly odbedněny a vloženy do vodní lázně, kde byly ponechány až do doby zkoušek, tedy 28 dní.

Důležitým parametrem pro samotnou výrobu a návrh plovoucích betonových prvků je **objemová hmotnost betonu**. Ta byla měřena při betonáži zkušebních těles jako rozdíl plně a prázdné formy trámce, tedy objemová hmotnost čerstvého betonu. Objemová hmotnost byla měřena zároveň i na již vyztřelých tělesech vyjmutých a osušených z vodní lázně. Výsledky objemových hmotností navržených vláknobetonů jsou uvedeny v tabulce 7.6.

Tabulka 7.6 Objemové hmotnosti čerstvého a ztvrdlého betonu

Záměs	1	2	3	4	5	6
Objemová hmotnost čerstvý beton [kg/m <sup>3</sup> ]	2392	2397	2388	2408	2415	2434
Objemová hmotnost ztvrdlý beton [kg/m <sup>3</sup> ]	2390	2375	2378	2389	2410	2432

## 7.4 Zkoušky ztvrdlého betonu

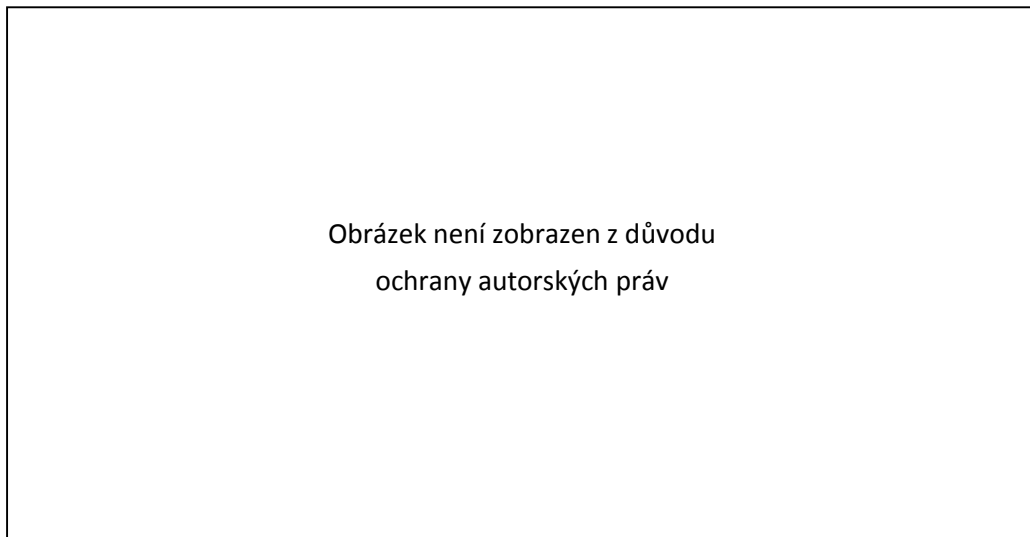
Pevnostní charakteristiky betonu byly zkoušeny po 28 dnech stáří vzorků. Realizovány byly zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a zkoušky tlakové. V rámci zkoušek byla zároveň zjišťována objemová hmotnost ztvrdlého betonu, jejíž výsledky jsou uvedeny v tabulce 7.6.

### 7.4.1 Pevnost v tahu za ohybu

Pro navržené betonové plovoucí prvky je rozhodující pevnost betonu v tahu za ohybu.

Pevnost v tahu za ohybu byla zkoušena na dvou různých typech zkušebních těles a dvěma různými způsoby. Prvním typem byla zkušební tělesa trámce o rozměru 100 x 100 x 400 mm, které byly zkoušeny metodou čtyřbodového ohybu. Druhým typem těles byly trámečky o rozměru 40 x 40 x 160 mm, které byly zkoušeny třibodovým ohybem. Právě trámečky o průřezu 40 x 40 mm svým rozměrem reprezentují tloušťku 40 mm stěn plovoucího prvku uvažovaného v rámci návrhu. Vždy před samotnou zkouškou došlo k přeměření zkušebního tělesa, a to z důvodu zaručení přesnosti zkoušky, respektive k přeměření průřezu došlo i po zkoušce v místě porušení. Měření bylo vždy provedeno 3krát a výsledek zprůměrován.

**Zkouška čtyřbodovým ohybem** probíhala na zkušebním zařízení DELTA 5-300 od výrobce FORM+TEST Seidner + Co. GmbH. Zkouška vycházela z normy ČSN EN 12 390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles [47]. Pro zkušební trámce o rozměru 100 x 100 x 400 mm byly podpory nastaveny ve vzdálenosti 300 mm a zatížení působilo ve dvou bodech a to vždy ve vzdálenosti 100 mm od podpory. Vzorek byl na podpory umístěn vždy tak, aby horní povrch vzorku z formy byl orientován na boční stranu. Schéma zkoušky je znázorněno na obrázku 7.6.

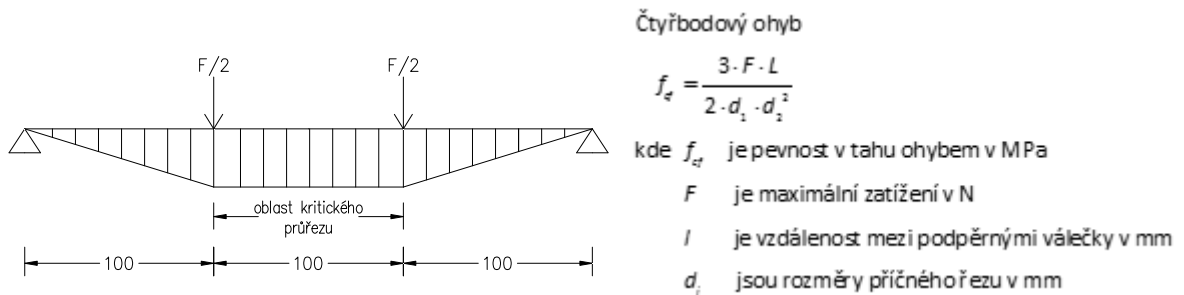


Obr. 7.6 Schéma zkoušky čtyřbodovým ohybem [47]

Na začátku samotné zkoušky byla umístěna do zkušebního zařízení zkušební tělesa a ověřena jejich správná poloha usazení. Následně došlo k nastavení dosednutí zatěžovacích válečků na povrch vzorku a tím k nastavení počátku zkoušky. Zatěžování probíhalo konstantní rychlostí s přírůstkem napětí 0,05 MPa/s. Hlavní sledovanou veličinou, která pro návrh plovoucích betonových prvků je klíčová, byla hodnota pevnosti betonu v tahu za ohybu při

vzniku makrotrhliny. Při zkoušce byla zároveň kontrolována poloha trhliny vůči oblasti zatěžovacích válečků. Měřené hodnoty v průběhu zkoušky byly zaznamenávány zkušebním zařízením.

Z výsledků zatěžovacích zkoušek, maximálních dosažených sil, byla vypočtena příslušná hodnota maximálních napětí v tahu za ohybu.

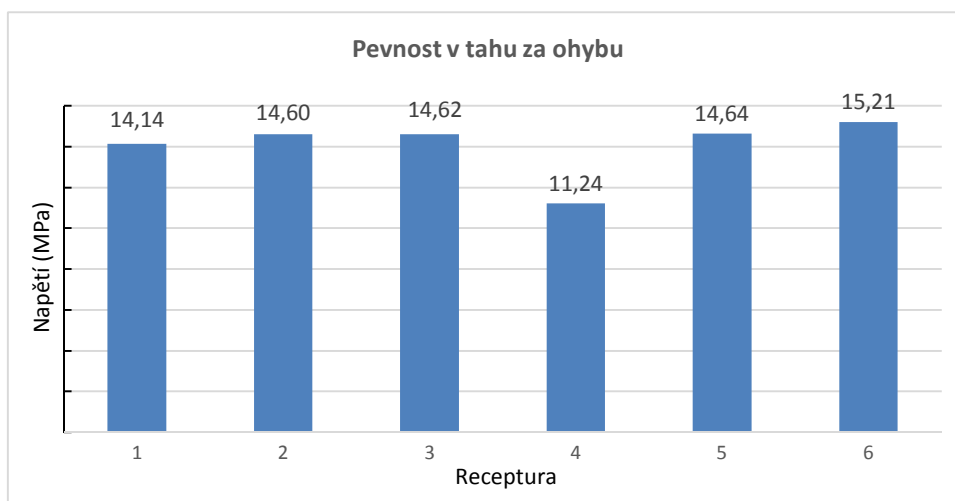


Obr. 7.7 Průběh momentu a poloha kritického průřezu, výpočet napětí

Tabulka 7.7 Výsledky zkoušek čtyřbodovým ohybem na trámčích

Receptura	Rozměr		Síla (kN)	Pevnost v tahu za ohybu (MPa)
	a (mm)	b (mm)		
1	101,9	99,9	47,92	14,14
2	100	99,7	48,38	14,60
3	100,4	99,8	48,73	14,62
4	101,5	99,8	37,86	11,24
5	99,8	99,7	48,4	14,64
6	101,3	99,7	51,04	15,21

Graf 7.3 Výsledky pevností v tahu za ohybu testovaných receptur

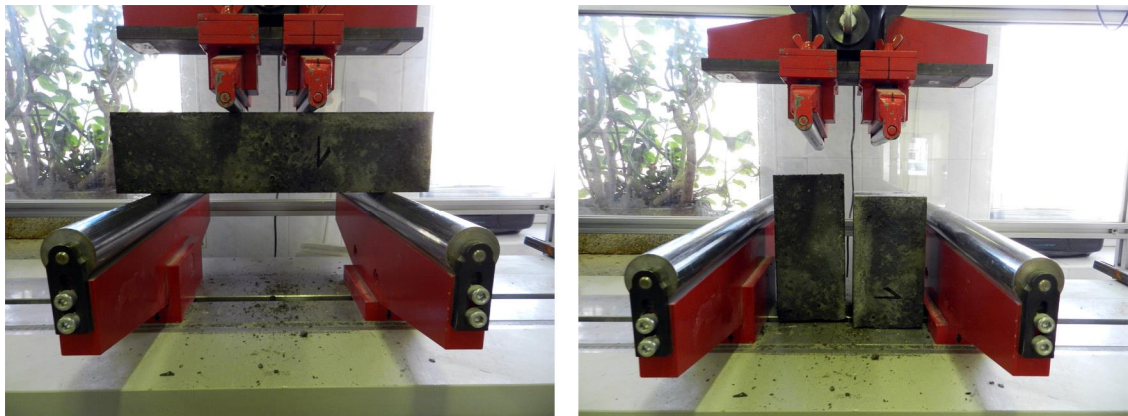


Z dosažených výsledků je patrné, že vlákna ve struktuře tedy neměla výrazný vliv na tahové pevnosti betonu. Výrazný pokles pevnosti v tahu za ohybu je patrný u receptury č. 4. Lze předpokládat, že právě vysoké množství polypropylenových vláken v betonu negativně ovlivnilo výslednou pevnost. Právě množství polypropylenových vláken ovlivnilo i tlakovou pevnost, jak

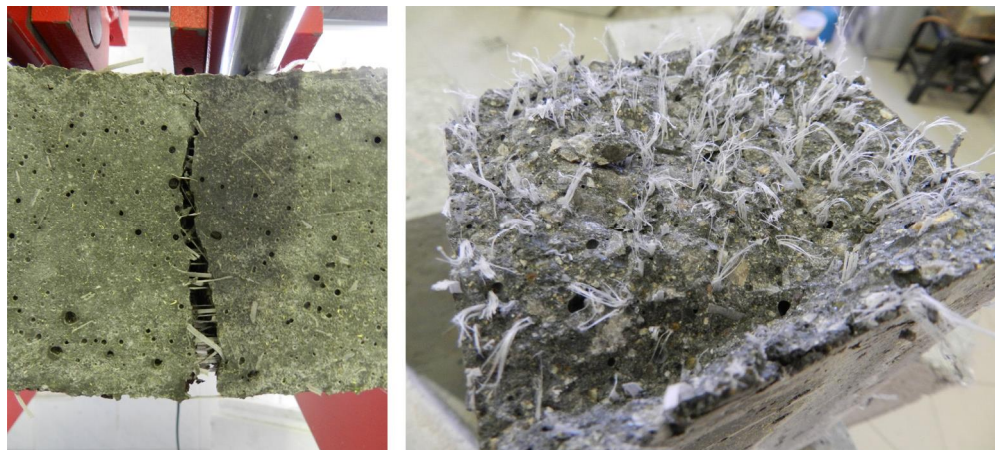


je patrné z výsledků v kap. 7.4.2. U vzorků s ocelovými drátky došlo k mírnému nárůstu především u receptury č. 6.

U vzorků je nutné zmínit, že k jejich porušení došlo poškozením, respektive „přetržením“ kameniva, nikoli jeho vytržením z cementové matrice. Způsob tohoto poškození tedy poukazuje na to, že použité kamenivo má nízkou pevnost a pro další využití navržené receptury by bylo vodné tedy použít kamenivo vyšších pevností.



Obr. 7.8 Zkouška čtyřbodovým ohybem referenčního vzorku



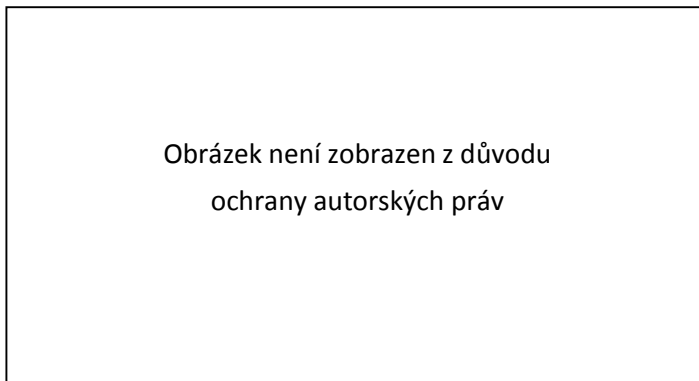
Obr. 7.9 Zkouška tělesa č. 4, detail lomové plochy

Z rozlomených vzorků bylo dobře patrné množství rozptýlených vláken ve struktuře betonu. U receptury 2 vlákna po rozlomení patrná vůbec nebyla, u receptury 3 bylo množství vláken velmi nízké. U receptury 4 je množství vláken patrné z uvedené fotografie. Jejich množství je významné, i během míchání směsi byl problém se zpracováním, což potvrdily i zkoušky rozlití. Polymerová vlákna ve struktuře betonu byla dobře zakotvena, při porušení nedocházelo k jejich vytažení. U vzorku 5 je množství ocelových vláken v rozlomeném průřezu nízké. Receptura č. 6 podobně jako receptura č. 4 již při míchání vykazovala problém se zpracováním. V případě ocelových drátků bylo po porušení vzorku patrné, že u některých drátků došlo pouze k jejich vytažení ze struktury betonu, nikoli k přetržení.

Vzhledem k výsledkům zkoušek u referenčního vzorku betonu (č. 1) s porovnáním s ostatními vzorky lze předpokládat, že největší podíl na pevnosti v tahu za ohybu měla samotná matrice betonu. Z výsledků lze předpokládat, že charakteristická pevnost betonu v tahu za

ohybu by byla přibližně  $f_{cfk} \approx 11$  MPa. Charakteristická pevnost betonu v tahu za ohybu byla stanovena pomocí [48] – dle Hodnocení vlastnosti materiálů podle ČSN EN 1990, přílohy D.

**Zkouška tříbodovým ohybem** probíhala na zkušebním zařízení MEGA 10 od výrobce FORM+TEST Seidner + Co. GmbH. Postup zkoušky byl dle normy ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti [49]. Pro zkoušky byla použita zkušební tělesa o průřezu 40 x 40 mm. Rozpětí podpurných válečků bylo 100 mm a zatížení působilo přesně uprostřed tohoto rozpětí, tedy 50 mm od podpory. Jednotlivá zkušební tělesa byla opět umístěna tak, aby horní povrch vzorku z formy byl orientován na boční stranu. Schéma zkoušky je znázorněno na obrázku níže.



Tříbodový ohyb

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^2}$$

kde  $R_f$  je pevnost v tahu za ohybu v MPa

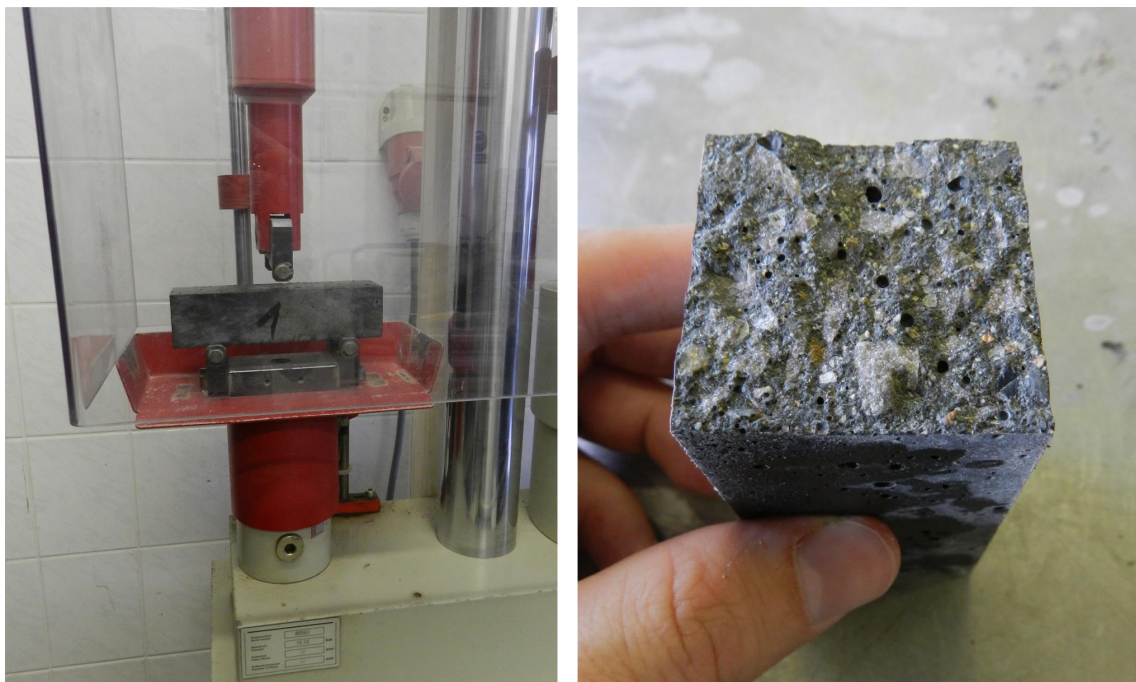
$b$  je strana čtvercového průřezu trámečku v mm

$l$  je vzdálenost mezi podporami v mm

$F_f$  zatížení vynaložené na střed trámečku při zlomení v N

Obr. 7.10 Schéma zkoušky tříbodovým ohybem, výpočet napětí [49]

Zkouška probíhala konstantním nárůstem zatížení až do vzniku trhliny, kdy v tomto momentu byla zkouška automaticky ukončena a zaznamenána hodnota zatížení, respektive zkušební stroj ihned vypočetl hodnotu dosaženého napětí v tahu za ohybu.

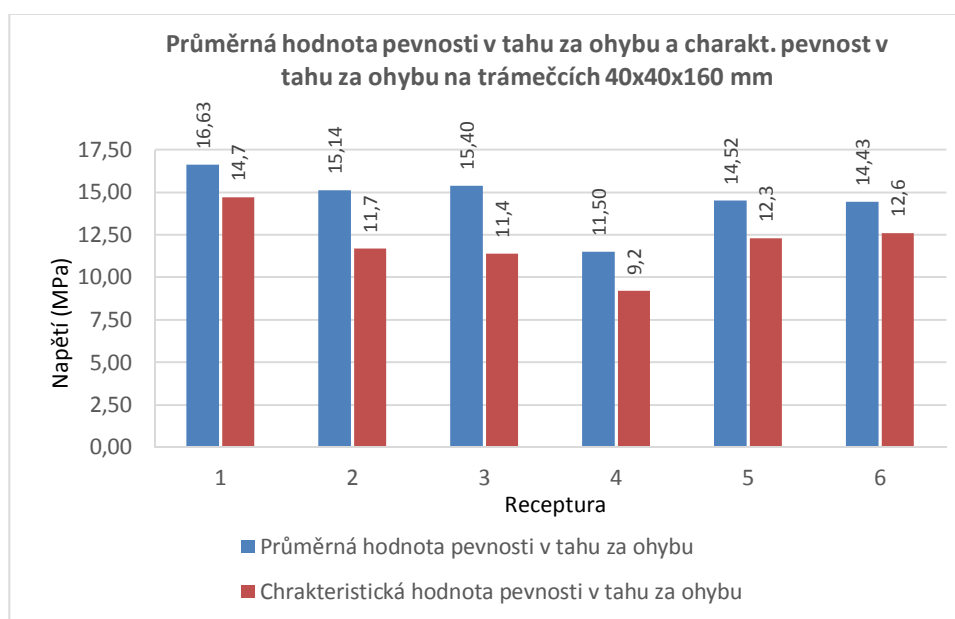


Obr. 7.11 Zkouška tělesa č. 1 tříbodovým ohybem, detail lomové plochy

Tabulka 7.8 Výsledky a vyhodnocení zkoušek tříbodovým ohybem na trámečcích

Receptura	Pevnost v tahu za ohybu (MPa)			Průměrná hodnota napětí (MPa)	Směrodatná odchylka (MPa)	Char. pevnost betonu v tahu za ohybu dle ČSN EN 1990, přílohy D (MPa)
	těleso 1	těleso 2	těleso 3			
1	16,11	16,56	17,23	16,63	0,56	14,7
2	14,69	14,43	16,30	15,14	1,02	11,7
3	14,66	14,68	16,86	15,40	1,27	11,4
4	12,25	10,89	11,36	11,50	0,69	9,2
5	13,89	15,21	14,47	14,52	0,66	12,3
6	14,38	15,00	13,93	14,43	0,54	12,6

Graf 7.4 Průměrná a charakteristická hodnota pevnosti v tahu za ohybu na trámečcích



Z výsledků zkoušek jednotlivých trámečků je patrné, že u receptury č. 4 došlo opět k dosažení nižší tahové pevnosti z důvodu vysokého množství polypropylenových vláken ve struktuře. Charakteristická pevnost betonu v tahu za ohybu jednotlivých receptur byla stanovena pomocí [48] – dle Hodnocení vlastnosti materiálů podle ČSN EN 1990, přílohy D.

## 7.4.2 Pevnost v tlaku

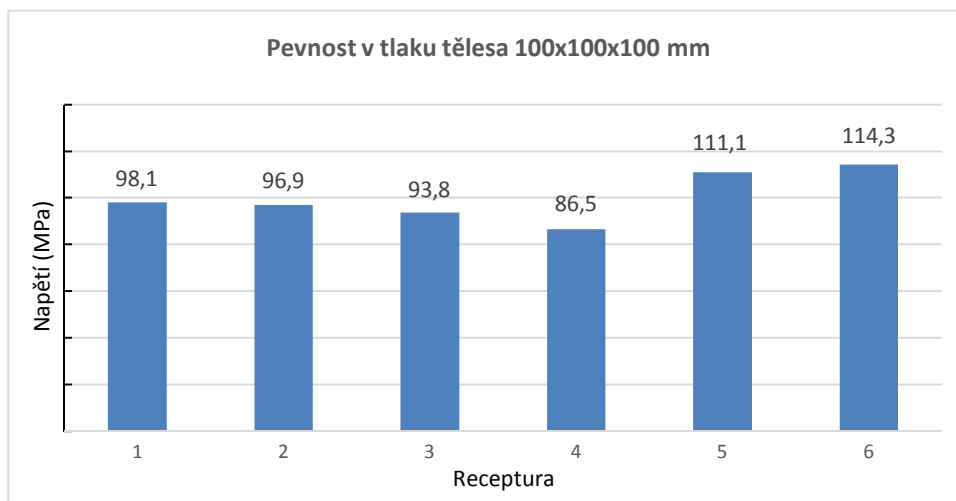
Zkoušky ztvrdlého betonu zahrnovaly i zkoušky betonu v tlaku. Zkoušky byly realizovány na zlomcích trámů a trámečků ze zkoušek v tahu za ohybu.

V případě zlomků z trámů rozměru 400x100x100 mm bylo ke zkoušce pevnosti v tlaku použito zkušební zařízení ALPHA od výrobce FORM+TEST Seidner + Co. GmbH. Zlomek trámce byl do zkušební lisu umístěn tak, aby horní strana z betonáže nebyla na zatěžovacích plochách. Na konce trámce byly umístěny ocelové roznášecí desky o rozměru 100x100 mm, jak je vidět z níže uvedeného obrázku. Zatěžování probíhalo konstantní normovou rychlostí do porušení prvku.



Obr. 7.12 Zkouška zlomků trámčů v tlaku

Graf 7.5 Výsledky tlakových zkoušek na vzorcích 100x100x100 mm



Z výsledků tlakových zkoušek na tělesech o rozměru 100x100x100 mm je patrné, že u receptury č.3 a č.4 dosahovaly tlakové pevnosti nižších hodnot vlivem obsahu polymerových vláken. V případě receptur č.5 a č.6 naopak obsah ocelových drátků měl pozitivní vliv na tlakové pevnosti.

Pro tlakovou zkoušku zlomků trámečků rozměru 40x40x160 mm bylo použito zkušební zařízení totožné pro zkoušku trámečků v tahu za ohybu. Vzorek byl umístěn do zkušebního zařízení o zatěžovacích plochách 40x40 mm. Vzorek byl umístěn tak, aby vrchní strana z betonáže nebyla na zatěžovacích plochách. Zatěžování probíhalo konstantní normovou rychlostí až do porušení prvku. V případě vzorků bez vláken došlo působením síly k celkovému rozpadnutí vzorků. Hodnoty zatížení byly přepočteny na hodnoty napětí.



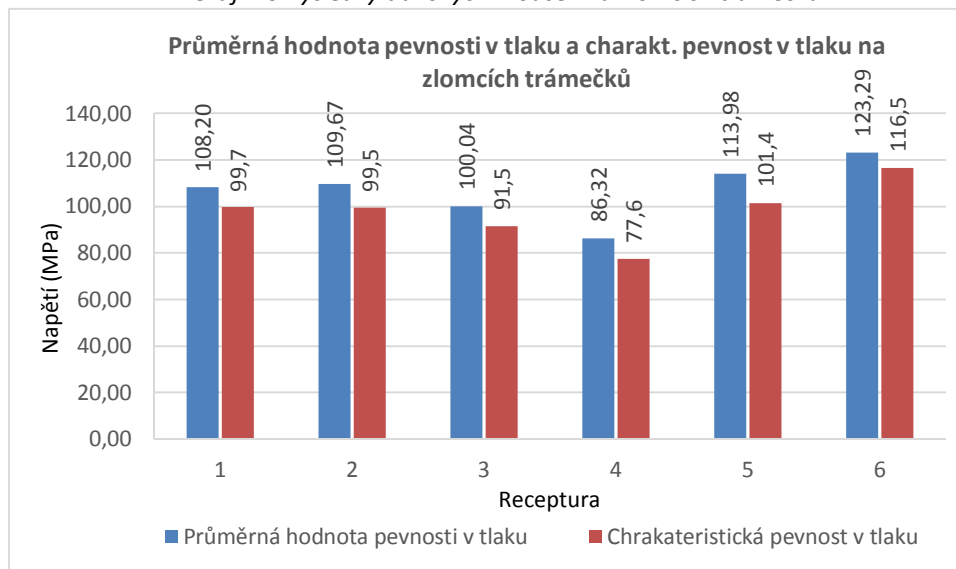


Obr. 7.13 Zkouška zlomků trámečků v tlaku

Tabulka 7.9 Výsledky a vyhodnocení tlakových zkoušek na zlomcích trámečků

Receptura	Napětí (MPa)						Průměrná hodnota napětí (MPa)	Směrodatná odchylka	Char. pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 1990, přílohy D
	těleso 1		těleso 2		těleso 3				
	A	B	A	B	A	B			
1	105,77	110,08	102,63	111,64	112,69	106,36	108,20	3,89	99,7
2	109,46	109,50	111,24	101,62	116,11	110,10	109,67	4,67	99,5
3	104,74	95,66	96,35	104,45	98,49	100,52	100,04	3,92	91,5
4	89,46	93,06	84,66	83,49	83,60	83,66	86,32	4,01	77,6
5	111,59	118,91	116,13	120,19	104,37	112,71	113,98	5,78	101,4
6	125,43	120,52	127,08	124,86	118,88	122,94	123,29	3,12	116,5

Graf 7.6 Výsledky tlakových zkoušek na zlomcích trámečků



Z výsledků zkoušek pevnosti v tlaku je opět patrné, že pevnost vzorku receptury č. 4 je negativně ovlivněna velkým množstvím polypropylenových vláken ve struktuře. Naopak v případě ocelových vláken došlo k nárůstu tlakové pevnosti.

### 7.4.3 Zkouška nasákavosti

Pro plovoucí betonové prvky bylo nutné zohlednit i nasákavost betonu. Za tímto účelem byla provedena zkouška nasákavosti dle normy ČSN 73 1316 – Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlínivosti betonu [48]. Jedná se o normu, která byla zrušena v roce 2003, a to bez náhrady. V současné době tedy norma pro stanovení nasákavosti neexistuje. Nasákavost má nepříznivý vliv na kvalitu povrchu a mrazuvzdornost betonu.

Zkouška nasákavosti se provádí na zkušebních vzorcích pravidelného tvaru či na úlomcích, například na zkušebních tělesech po zkoušce v tahu za ohybu, kdy těleso musí mít minimální objem 0,001 m<sup>3</sup>. Zkušební vzorky se zváží a poté se uloží do nádoby s vodou tak, aby hladina vody byla vždy minimálně 10 mm nad povrchem vzorku. Měření nasákavosti se provádí v intervalu 24 hodin až do doby, kdy změna hmotnosti mezi měřeními je menší než předepsaná přesnost vážení. Vzorky se následně zváží a vysuší se do ustálené hmotnosti při teplotě 110 ± 5°C.

Nasákavost betonu v % je dána vztahem:

$$v = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100\%$$

Kde  $m_s$  je hmotnost zkušebního vzorku nasáklého vodou a  $m_d$  je hmotnost vysušeného vzorku.

Tabulka 7.10 Nasákavost vzorků

Vzorek / receptura	Hmotnost nasáknutého vzorku (g)	Hmotnost vysušeného vzorku (g)	Nasákavost (%)
1	4412	4397	0,34
2	4537	4525	0,27
3	4502	4491	0,24
4	4041	4026	0,37
5	4723	4708	0,32
6	4880	4869	0,23

průměrná hodnota nasákavosti (%):

Hodnota nasákavosti betonu je velmi nízká a její hodnota nikterak výrazně neovlivňuje návrh plovoucích prvků.

## 7.5 Vyhodnocení zkoušek

Provedenými zkouškami vzorků z navržených receptur bylo ověřeno, že recepturu by bylo možné vzhledem k dosaženým pevnostem pro výrobu navržených plovoucích prvků použít. Předpokládané pevnosti ve fázi návrhu byly dosaženy, výsledné hodnoty pevností jsou vyšší než požadované hodnoty pevností stanovených výpočtem (viz kapitola 5). Vlákna rozptýlená ve struktuře betonu neměla na velikost tahových pevností výrazný vliv, avšak mají význam především z pohledu objemových změn betonu způsobených smršťováním či tím, že plovoucí prvek odolává změnám teploty v průběhu celého roku. Vlákna mají zároveň pozitivní vliv na

houževnatost betonu a jeho odolnost v případě mechanického poškození, jako například „odštípnutí“ hran či v případě nárazu do cizího tělesa.

Důležitá je v rámci návrhu též cena betonové směsi. Uvedená tabulka uvádí cenu jednotlivých složek receptury betonu a celkovou cenu za 1m<sup>3</sup> navrženého betonu. Ceny byly použity orientační na základě doporučených cen a ceníků výrobců [51][52][53].

Složka	Jednotková cena za t (Kč/t)	Množství složky na 1m <sup>3</sup> betonu (kg/m <sup>3</sup> )	Cena na 1m <sup>3</sup> betonu (kg/m <sup>3</sup> )
Cement - CEM I 42,5 R	2 500 Kč	400	1 000 Kč
Kamenivo 0/4 - Zálezlíce	300 Kč	1185	356 Kč
Kamenivo 4/8 - Měrunice	325 Kč	575	187 Kč
Mikrosilika - SikaFume Compasil CZ	25 000 Kč	80	2 000 Kč
Superplastifikár - ViscoCrete-20 Gold	50 000 Kč	15,5	775 Kč
Cena složek na 1m <sup>3</sup> betonu			<b>4 317 Kč</b>

Z tabulky je patrné, že nejdražší položkou vzhledem k jejímu množství je mikrosilika. Mikrosilika od výrobce Sika se vyznačuje velkým měrným povrchem (18000 – 22000 m<sup>2</sup>/kg) a zrnitostí především v rozmezí od 0,1 μm do 0,3 mm. Mikrosilika vzhledem k velikosti zrn vyplňuje prostor mezi zrny cementu a tím snižuje nasákavost betonu a zvyšuje jeho vodotěsnost. Mikrosilika se díky své latentní hydraulicitě aktivně účastní tvorby novotvarů ve struktuře betonu, tím zvyšuje pevnosti, zvyšuje modul pružnosti a zvyšuje odolnost vůči agresivnímu prostředí. Problémem mikrosiliky je prašnost a požadavky na skladování, jelikož sypná hmotnost se pohybuje v rozmezí 300 - 600 kg/m<sup>3</sup>. Z tohoto důvodu se dodává mikrosilika též ve formě suspenze. [54]

Z pohledu budoucí receptury pro případné realizace plovoucích těles by tedy bylo dobré právě její množství redukovat, a to na množství přibližně 50 kg/m<sup>3</sup> betonové směsi. Lze však předpokládat, že tahová pevnost betonu by mírně klesla. V případě snížení množství mikrosiliky by cena za 1m<sup>3</sup> betonu byla cca o 20 % nižší. Lze též předpokládat, že množství superplastifikátoru by vlivem snížení množství mikrosiliky lehce kleslo.

Do celkové ceny je nutné zahrnout i částku za vlákna přidaná do betonu. Pro případné použití pro výrobu by bylo jako nevhodnější uvažováno použití polymerových vláken Strux 90/40 a to v dávkování maximálně 4 kg/m<sup>3</sup>. Částka za vlákna by se tedy pohybovala okolo 1000,- Kč.

K výrobě plovoucího prvku pro rybáře a rekreaci je celkem potřebné 2,4 m<sup>3</sup> betonové směsi, tedy náklady na suroviny včetně vláken by se pohybovaly okolo částky 11 000,- Kč.

## 8 Pilotní vzorek

V rámci experimentální části byl vytvořen i pilotní vzorek plovoucího pontonu. Cílem vzorku bylo jednoduše ověřit možnost realizace navrženého plovoucího prvku, respektive uvažovanou technologii výroby. Úkolem bylo také ověřit možnost proveditelnosti betonáže tenkých stěn prvku navrženým vláknobetonem.

Jako pilotní prvek byl navržen jednoduchý ponton o půdorysném rozměru 550 x 550 mm a výšce 450 mm. U pilotního vzorku byla tloušťka stěn záměrně snížena ze 40 mm na 25 mm. Jádro prvku má tedy rozměry 500 x 500 x 400 mm a je tvořeno polystyrenem. Velikost prvku byla navržena s ohledem na množství betonu a především na hmotnost samotného vzorku z důvodu transportu. Pilotní vzorek byl realizován autorem v domácím prostředí na základě zkušeností získaných z laboratoře.



Obr. 8.1 Bednění pilotního vzorku

Pro výrobu pilotního vzorku byla vybrána receptura vláknobetonu č.3 (viz kap. 7.2), avšak s již s upraveným množstvím mikrosiliky, konkrétně  $50 \text{ kg/m}^3$ . Vlákna byla použita polypropylenová Strux 90/40 v množství  $4 \text{ kg/m}^3$ . Betonová směs byla míchána v plastové nádobě pomocí elektrického metlového míchadla na maltu a směsi. Bednění pontonu bylo jednoduše vyrobeno z foliované truhlářské dřevotřísky. Pro separaci stěn bednění byl použit olej.

V první fázi betonáže bylo vybetonováno dno pontonu. Tloušťky dna 25 mm bylo docíleno přesně odváženým množstvím betonu. Do spodní desky v místech navazujících bočních stěn byly zároveň ihned vloženy U-spony z oceli, zajišťující spojení spodní desky s bočními stěnami. Po vybetonování spodní desky následovala technologická 5-ti hodinová pauza z důvodu „zavadnutí“ betonu. Následně bylo do bednění umístěno polystyrenové jádro, vycentrováno a zajištěno.



Obr. 8.2 Polystyrenové jádro, betonáž pontonu

Po umístění polystyrenového jádra pokračovala betonáž prvku. Boční stěny byly vybetonovány zhruba do jedné poloviny své výšky a následně zhutněny. Hutnění bylo prováděno pomocí propichování ocelovou tyčí a poklepem na bednění. Následně byl prvek dobetonován do celé výšky, beton opět zhutněn a horní povrch urovnán ocelovým hladítkem. Horní povrch byl po ukončení betonáže zakryt folií bránící odpařování vody a ponton byl v bednění ponechán 7 dní v interiérové teplotě okolo 20 °C.



Obr. 8.3 Odbedněný ponton, detail povrchu

Po uplynulé době byl ponton odbedněn. Hmotnost pontonu byla 87 kg. Jak je patrné i z přiložených fotografií, povrch stěn pontonu po odbednění obsahoval poměrně veliké množství vzduchových pórů. Lze předpokládat, že jejich výskyt je způsoben především kvalitou povrchu bednicích desek. Svůj vliv na obsah pórů má určitě i použitý separační prostředek, kdy v případě profesionálního přípravku by množství pórů bylo rozhodně nižší. V neposlední řadě mělo na obsah pórů vliv i hutnění během výroby. Pro reálnou výrobu by bylo nutné navrhnout vhodný způsob hutnění například pomocí příloženého vibračního zařízení na stěny bednění. Kvalita hran prvku a hladkost povrchu i při „domácí“ výrobě však byla výborná. Důležitý byl též detail napojení spodní desky a zbylých stěn pontonu, který však vzhledem ke krátké pauze mezi betonážemi nevykazoval rozdílnost.



Betonový ponton byl následně umístěn na vodní hladinu, aby byl vyzkoušen ponor a plovatelnost. Při umístění na vodní hladinu však prvek vykazoval počáteční náklon, který musel být eliminován umístěním ocelového závaží o hmotnosti 350 g do jednoho z rohů pontonu (viz obr. 8.4). Počáteční náklon byl způsoben pravděpodobně drobnou polohovou odchylkou polystyrenového jádra v bedně. Tím byla jedna ze stěn prvku širší, čímž byl počáteční náklon způsoben. Ponton byl následně podroben zatěžování, avšak vzhledem k navrženému tvaru (téměř krychle) byl poměrně nestabilní. Metacentrická výška nezatíženého pontonu byla pouze jeden centimetr.



Obr. 8.4 Zkouška plovatelnosti

Realizace pilotního vzorku upozornila především na nutnost případného provedení pontonů s co nejvyšší přesností, tak aby nedošlo k počátečnímu náklonu. Případný náklon je možné však lehce eliminovat protizávažím, které však má vliv z důvodu vyšší hmotnosti na celkový ponor. Kvalita povrchu byla vzhledem k použitým materiálům odpovídající a v případě použití kvalitního bednění a postupu hutnění lze předpokládat povrch bez vzduchových pórů.

Využitím tohoto pilotního vzorku, respektive pontonu obdobného charakteru může být jako podpůrný prvek pontonového modulového systému pro přístavní mola či plovoucí přístaviště a nástupiště. Tento prvek by bylo možné též vhodně využít jako ponton pro energomost k plovoucím těžebním strojům. Energomost zajišťuje zásobování těžebních strojů elektrickou energií. Betonové pontony s výhodou odstraňují nedostatky ocelových pontonů. Výše uvedenou aplikací by bylo možné sledovat parametry pontonů a betonu v průběhu času, a stanovit předpoklady pro další využití.

Obrázek není zobrazen z důvodu  
ochrany autorských práv



Obr. 8.5 Přístavní mola [55], energomost k těžebnímu stroji

## 9 Závěr

Zaměřením diplomové práce byla oblast plovoucích betonových prvků s cílem ukázat, že je v současné době možné využít výhod a předností vláknobetonů a úspěšně je aplikovat pro plovoucí betonové prvky. Úkolem bylo navrhnout prvky tenkostěnného provedení, navrhnout vhodnou recepturu vláknobetonu a pilotními zkouškami ověřit navrženou technologii výroby a poukázat na problémy výroby.

V úvodní rešeršní části práce byl popsán vývoj využití betonu pro plovoucí prvky, a to od první betonové loďky z roku 1848 až po aplikace betonu pro tyto prvky v současné době. V rámci této části byly zároveň uvedeny příklady prvků z jiných materiálů, které by však výhodně mohly být betonem nahrazeny. Významnou část souhrnu poznatků z literatury tvořila i problematika návrhu a výpočtu plovoucích těles, která byla využita pro návrh a posouzení v praktické části. Závěr rešerše je věnován základním informacím týkajících se vláknobetonu, které byly následně uplatněny pro návrh a ověřování vhodné receptury vláknobetonu v experimentální části.

Hlavní část praktické části je věnována návrhu plovoucího tělesa pro rybáře a rekreaci. Plovák plavidla je tvořen tenkostěnnou konstrukcí tloušťky 40 mm z vláknobetonu a polystyrenového jádra. Plavidlo bylo ověřeno vybranými zatěžovacími stavy, které se během životnosti plavidla mohou s vysokou pravděpodobností vyskytnout a navržené plavidlo stavům vyhovělo. Druhá část je věnována koncepčnímu návrhu a řešení modulových pontonů s cílem náhrady běžných ocelových pontonů.

Součástí praktické části byly i experimenty. První část byla zaměřena na problematiku návrhu vhodné receptury vláknobetonu určené pro výrobu betonových plovoucích prvků. V rámci zkoušek byly ověřeny receptury s různým druhem a množstvím vláken. Receptury vykazují požadované pevnostní charakteristiky pro použití pro navržené plovoucí těleso pro rybáře a rekreaci stanovené výpočtem.

Ve druhé části byla ověřena navržená technologie výroby plovoucích betonových prvků pomocí realizace pilotního vzorku. Ověřena byla především proveditelnost betonáže tenkých stěn vláknobetonem. Realizace pilotního vzorku upozornila na problémy, na které je nutné při výrobě myslet. Jedná se především o nutnost přesného usazení polystyrenového jádra a tím zajištění stejné tloušťky, respektive hmotnosti stěn prvku. Právě rozdílná hmotnost může mít vliv na počáteční náklon pontonu. Pro betonáž prvků by bylo zároveň nutné navrhnout vhodný způsob hutnění, aby povrch prvků obsahoval nižší množství vzduchových pórů a byl kompaktnější.

Před samotnou realizací funkčního vzorku by bylo nutné provést ještě další experimenty. Jako vhodné by bylo vytvořit větší vzorek desky dané tloušťky, který by byl podroben pevnostním zkouškám. Lze přepokládat, že by pevnostní charakteristiky lépe vystihovaly navržené rozměry prvků. Dále by bylo vhodné realizovat zkoušky mrazuvzdornosti či odolnosti vůči nárazu.

V rámci práce jsou zmíněny i náměty pro možné další pokračování práce. V další fázi by bylo vhodné zaměřit se na použití lehkého betonu, za účelem snížení vlastní hmotnosti prvků, avšak je nutné zajistit nízkou nasákavost tohoto betonu. Vylehčení betonu by bylo možné realizovat i jinými složkami, jako například perlitem či jiným lehkým materiálem.

Jako velmi zajímavé a přínosné by bylo zaměřit se především na oblast modulových plovoucích pontonů pro těžební stroje, kdy podrobný návrh v současné době nemohl být realizován z důvodu chybějící potřebné dokumentace. Jako vhodné by bylo podrobně navrhnout univerzální modulový systém pontonů, který by našel využití u více druhů těchto strojů. Návrh a realizace by pak byla velmi přínosná vzhledem k množství používaných strojů nejen v naší republice, ale i v zahraničí. Přínos by byl především z pohledu nižších pořizovacích nákladů a životnosti. V rámci návrhu a případné aplikace do praxe by bylo nutné vyřešit problematiku pravidelných kontrol pontonů dané platnou legislativou a navrhnout možné vhodné způsoby kontroly parametrů betonu a pontonů v čase.

Jedním z hlavních cílů diplomové práce bylo zhodnotit historii využití betonu pro konstrukci plavidel a analyzovat možnost využití betonu pro plavidla v dnešní době. S jistotou lze říci, že beton v dnešní době nelze s betonem, který byl používán v minulosti, přímo srovnávat. Především vývoj nových receptur a technologie nám umožňuje vytvářet výrazně lepší, kvalitnější a tenčí konstrukce. Právě vláknobeton jsou jistě pro betonová plavidla či plovoucí prvky vhodné materiály a lze využít přednosti materiálových vlastností vláknobetonů oproti běžně používaným materiálům – ocel, dřevo či plast.

Současně však lze konstatovat, že v dnešní době není beton jako materiál pro lodě či plovoucí prvky příliš rozšířený a jeho uplatnění není ukotveno v předpisech. Je však otázkou času, kdy například z důvodu zvýšení cen oceli bude vhodné užít i jiné materiály. Uplatnit se jistě může právě současný beton, respektive kompozitní materiály s cementovou maticí a vlákny. Je tedy zcela možné, že právě vláknobeton se rozšíří v následujících letech i pro konstrukce plavidel a plováků. Jak tomu již bývá, při nové aplikaci se většina firem a výrobců drží zaběhnutého postupu výroby a přechod k nové metodice a materiálům, často výrazně jednodušší, úspornější a efektivnější bohužel však většinou odmítají.



## 10 Seznam příloh

- Příloha 1 - Výkresová dokumentace - Plovoucí betonové těleso pro rybáře a rekreaci  
Příloha 2 - Výkresová dokumentace – Modulový ponton

## 11 Literatura

- [1] *Vtm.e15* [online]. CN Invest a.s., 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://vtm.e15.cz/clanek/plovouci-kameny>
- [2] *Boatbuilders.glen-l* [online]. Glen L Marine Designs, 2014 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://boatbuilders.glen-l.com/wp-content/uploads/2014/02/firstconcreteboat.jpg>
- [3] *Peterpaulik blog SME* [online]. Petit Press, a.s., 2010 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://peterpaulik.blog.sme.sk/c/249546/Betonove-lode.html>
- [4] *Zoom iprima* [online]. FTV Prima, spol. s r.o., 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://zoom.iprima.cz/clanky/vojenske-lode-z-betonu-neuveritelne-ale-skutecne>
- [5] *Concrete ships.org* [online]. Rob Bender, 2011 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.concreteships.org/>
- [6] *CONCRETE SUBMARINES* [online]. orbitalvector, 2007 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://orbitalvector.com/Aquatic/Concrete%20Submarine/CONCRETE%20SUBMARINES.htm>
- [7] VESELÝ, Vladimír, Jan VODIČKA, Iva BROUKALOVÁ a Karel LOREK. Plovoucí ostrůvek. *Beton TKS*. Praha, 2010, **10**(2), 22-25. ISSN 1213-3116.
- [8] *Betonové plovoucí ostrůvky pro rybáky obecné* [online]. Moravský ornitologický spolek, 2011 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.mos-cso.cz/cz/ochrana-ptaku/betonove-ostruvky>
- [9] *V Hulíně jsou nové ostrůvky pro rybáky* [online]. HeidelbergCement Group, 2015 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/aktuality/nove-ostruvky-pro-rybaky-v-huline>
- [10] *Betonová kánoe* [online]. Svaz Výrobců Betonu ČR, 2010 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.ebeton.cz/encyklopedie/betonova-kanoe>
- [11] MALÁ, Dagmar a Jan KRATOCHVÍL. Betonová kánoe. *Beton TKS*. 2011, **11**(1), 46-53. ISSN 1213-3116.
- [12] *Plovoucí mola Crodock* [online]. CRODOCK.cz [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.crodock.cz/>
- [13] *Pontony* [online]. Brno: Prefa Brno [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.prefa.cz/produkty/pozemni-stavby/atypicka-vyroba/pontony>
- [14] *Prefabricated floating house can be ..* [online]. Dezeen, 2015 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2015/10/19/floatwing-prefabricated-floating-house-shipped-worldwide-university-of-coimbra-portugal/>
- [15] *Plovoucí vila v Amsterdamu ..* [online]. ArchiMAG [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://archimag.cz/obytno-budovy/rodinne-domy/plovouci-vila-amsterdamu-prinasi-moderni-design-ochranu-pred-povodnemi/>
- [16] *PORT X PRAGUE* [online]. Praha: Atelier SAD, 2013 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.ateliersad.cz/en/architecture/port-x-prague/>
- [17] *Lodní těleso*. *Strojarna.webnode.cz* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z:  
[files.strojarna.webnode.cz/200000015-753a476345/LODNÍ%20TĚLESO.pdf](http://files.strojarna.webnode.cz/200000015-753a476345/LODNÍ%20TĚLESO.pdf)

- [18] BARRASS, C. B. a D. R. DERRETT. *Ship stability for masters and mates*. 7th ed. Boston: Elsevier / BH, 2012. ISBN 978-0-08-097093-6.
- [19] Kapaliny. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/116-kapaliny>
- [20] Vztlková síla v tekutinách. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. 2016 [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/118-vztlkova-sila-v-tekutinach>
- [21] Zákon č. 114/1995 Sb., o vnitrozemské plavbě. In: *Sbírka zákonů České republiky* [online], Praha, ročník 1995, 114/1995. Dostupné z: [http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=114/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=114/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
- [22] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb., o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí. In: *Sbírka zákonů České republiky* [online]. Praha, ročník 1995, 222/1995. Dostupné z: [http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=222/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=222/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
- [23] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 223/1995 Sb., o způsobilosti plavidel k provozu na vnitrozemských vodních cestách. In: *Sbírka zákonů České republiky* [online]. Praha, ročník 1995, 223/1995. Dostupné také z: [http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=223/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=223/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
- [24] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 334/2015 Sb., o vedení rejstříku malých plavidel a technické způsobilosti malých plavidel, převozních lodí a plovoucích zařízení k provozu na vodních cestách. In: *Sbírka zákonů České republiky* [online]. Praha, ročník 2015, 334/2015. Dostupné také z: [http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=334/2015&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=334/2015&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
- [25] VAŠKOVÁ, Jitka. *Konstrukční prvky z vyztuženého vláknobetonu-experiment a analýza: habilitační práce*. 2010.
- [26] Ferrocement. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrocement>
- [27] BARTOŠ, Peter JM. 2012. Vláknobeton: Betonové konstrukce 21.století - Betony s přidanou hodnotou. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 12 (samostatná příloha časopisu): 69-77. ISSN 1213-3116.
- [28] VODIČKA, Jan, Vladimír VESELÝ a Jiří KRÁTKÝ. SPECIFIKA Z TECHNOLOGIE VLÁKNOBETONU. *Beton TKS*. 2010, **2010**(2), 5.
- [29] *KrampeHarex* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: [http://www.krampeharex.com/cz/vlakna/o\\_vlaknech.htm](http://www.krampeharex.com/cz/vlakna/o_vlaknech.htm)
- [30] ČSN P 73 2450. *Vláknobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. ÚNMZ, 2015.
- [31] ČSN P 73 2451. *Vláknobeton – Zkoušení čerstvého vláknobetonu*. ÚNMZ, 2015.
- [32] ČSN P 73 2451. *Vláknobeton – Zkoušení zatvrdlého vláknobetonu*. ÚNMZ, 2015.
- [33] HANZLOVÁ, Hana, Vladimír VESELÝ a Jan VODIČKA. NOVÉ ČESKÉ NORMY PRO VLÁKNOBETON. *Beton TKS*. 2016, (16), 3-6. ISSN 1213-3116.
- [34] BROUKALOVÁ, Iva. VLÁKNOBETON A NORMY PRO NAVRHOVÁNÍ. *Beton TKS*. 2010, **10**(2), 100-101.

- [35] Skladby konstrukcí dřevostaveb. *Bajulus* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://www.bajulus.cz/technologie-drevostaveb/skladby-konstrukci>
- [36] ŘEZY CERTIFIKOVANÝCH KONSTRUKCÍ REALSUKA-DŘEVOSTAVBY s.r.o. *Realsuka-drevostavby* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://www.realsuka-drevostavby.cz/en/Rez%20konstrukce>
- [37] GoCstudio Launches New Kickstarter to Fund Floating Sauna in Seattle. *Archdaily* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://www.archdaily.com/549774/gocstudio-launches-new-kickstarter-to-fund-floating-sauna-in-seattle>
- [38] Nautilus Houseboat offers modern lifestyle and luxury living on water. *Homecrux* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://www.homecrux.com/2015/12/30/40168/nautilus-houseboat-offers-modern-lifestyle-and-luxury-living-on-water.html>
- [39] Dokumenty ke stažení. *P-systems* [online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z: <http://www.p-systems.cz/dokumenty-ke-stazeni-polystyren>
- [40] *INCRADIFLOAT* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.incradifloat.com/>
- [41] *Modular Pontoon Systems B.V.* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.mpsbv.com/>
- [42] Polystyren. *Izolace-info* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/polystyren/expandovany-polystyren/>
- [43] EshopFeron. *Feron* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://eshop.ferona.cz/vyhledavani/314>
- [44] *Sklocement Beneš* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.sklocement.cz/>
- [45] STRUX® 90/40. *GCP Applied Technologies Inc.* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <https://gcpat.com/construction/en-us/concrete-technology/STRUX-9040>
- [46] ČSN EN 12350-5. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlitím*. 2009.
- [47] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. 2009.
- [48] Softwarové pomůcky ke stažení: model\_odolnosti.xls. *Konstrukce.cvut* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cvut.cz/soft>
- [49] ČSN EN 196 -1. *Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti*. 2016.
- [50] ČSN 73 1316. *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlínavosti betonu*. 1990.
- [51] Dokumenty ke stažení. *Heidelbergcement* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/dokumenty-ke-stazeni?search\\_api\\_combined\\_1=5&asset\\_field\\_asset\\_document\\_type=All&asset\\_field\\_asset\\_topic=All](http://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/dokumenty-ke-stazeni?search_api_combined_1=5&asset_field_asset_document_type=All&asset_field_asset_topic=All)
- [52] Ceníky. *Basalt* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.basalt.cz/ceniky.html>
- [53] Sika veřejný ceník. *PIR spojovací materiál* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://www.spojovacicmaterial1.sk/galeria/file/sika\\_cenn%C3%ADk\\_p%C3%ADr\\_2016.pdf](http://www.spojovacicmaterial1.sk/galeria/file/sika_cenn%C3%ADk_p%C3%ADr_2016.pdf)
- [54] *Technický list - SikaFume® Compasil CZ* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://cze.sika.com/cs/produkty\\_a\\_reseni/stavebnictvi/02a001.html](http://cze.sika.com/cs/produkty_a_reseni/stavebnictvi/02a001.html)
- [55] Dock finger. *Nauticexpo* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.nauticexpo.it/prod/marinemaster/product-32658-411521.html>