

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

JAN BUCHLÁK

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí

Experimentální ověření funkčnosti ponorného betonového mola

Diplomová práce

Vypracoval: Bc. Jan Buchlák
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bílý, Ph.D.
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2019





ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Buchlák</u>	Jméno: <u>Jan</u>	Osobní číslo: <u>426327</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Experimentální ověření funkčnosti ponorného betonového mola</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Experimental verification of functionality of submersible concrete pier</u>	
Pokyny pro vypracování: V rámci diplomové práce vypracujte: <ul style="list-style-type: none">- Přehled příkladů plovoucích betonových konstrukcí- Přehled pravidel pro navrhování plovoucích betonových konstrukcí- Návrh experimentálního programu pro ověření funkčnosti ponorného mola z vláknobetonu- Výroba zkušebních vzorků pro hydrotechnické zkoušky- Hydrotechnické zkoušky zmenšených vzorků- Příprava podkladů pro ochranu vynálezu	
Seznam doporučené literatury: <ul style="list-style-type: none">- Skripta Fakulty stavební ČVUT z oblasti technologie a navrhování betonových konstrukcí a z oblasti hydromechaniky- Další literaturu vyhledejte v knihovně ČVUT nebo online citačních databázích	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Petr Bílý, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>3.10.2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>6.1.2019</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného oboru</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

<u>3.10.2018</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	---

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, pouze s využitím poskytnutých odborných konzultací. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon).

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně ČVUT.

V Praze dne 6. 1. 2019

.....
Bc. Jan Buchlák

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Petru Bílému, Ph.D. za skvělé vedení práce, panu doc. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, Ph.D., panu prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi, Ph.D., panu Ing. Josefu Fládrovi, Ph.D., panu Ing. Jiřímu Procházkovi, paní Ing. Lence Bobkové, panu Bc. Janu Matějkovi, panu Jakubu Fábelovi, panu Josefu Ježkovi a paní Ireně Prajzlerové za konzultace, užitečné rady, pomoc při hydraulických zkouškách a zpracování této diplomové práce.

Věnování

Tuto práci bych rád věnoval svému dědovi Stanislavu Buchlákovi, který mě vždy podporoval ve studiu.

Souhrn

Tato diplomová práce slouží jako finální studie proveditelnosti, podklad pro výrobu prototypu a podklad pro právní ochranu systému modulových ponorných mol z vláknobetonu. Systém těchto mol je inovativní v tom, že jsou nadnášeny vzduchovým vakem, který je možné vypustit a nechat tak celou skupinu klesnou ke dnu. To je výhodné zejména při zvýšeném stavu vodní hladiny a povodních, protože molo není třeba přesunout do bezpečnostních přístavů, ale stačí vypustit vzduchový vak. Vláknobetonová mola jsou navržena tak, aby je bylo možné modulově spojovat do libovolných celků. Zejména se jedná o liniové a plošné celky. V práci je uveden návrh samotného vláknobetonového prvku a dalších prvků, které jsou pro fungování celého systému nezbytné. Návrh systému byl ověřen experimentálními hydraulickými zkouškami na zmenšených modelech v měřítku 1:10. V této práci je popsán průběh zkoušek a jejich výsledky.

Klíčová slova

Plovoucí konstrukce, hydraulika, ponorná konstrukce, stabilita, pryžový vak, vláknobeton, molo, hydraulické zkoušky, tenkostěnné betonové prvky.

Summary

This diploma thesis is the final feasibility study, documentation basis for the production of prototype and documentation basis for the legal protection of modular system of submersible piers made from fibre reinforced concrete. System of these piers is innovative, because it is supported by an air bag, which can be deflated and than the whole system will sink down to the bottom. That can be helpful in case of danger of floods, because there will be no need to transport them to secure dock. Piers are designed for easy modular connecting to any groups. Main types of groups are linear and areal. This thesis contains design of fibre reinforced concrete pier and other support constructions, which are necessary for the right function of the system. The design of pier was verified by experimental hydraulic examinations on models which are in scale 1:10 to real pier. The thesis contains the description and results of the experiments.

Key words

Floating structure, hydraulic, submersible structure, stability, fibre reinforced concrete, pier, hydraulic experiments, thin concrete elements.

Obsah

1. Úvod	12
2. Zadání a předmět práce	14
2.1. Původní myšlenka.....	14
2.2. První studie proveditelnosti	16
2.3. Současný stav pražské náplavky a nábřeží v dalších evropských městech	17
2.4. Návrh způsobu využití.....	20
2.5. Cíle práce	23
3. Příklady konstrukcí mol a ponorných prvků	24
3.1. Příklady mol na tuzemském trhu a ve světě	24
3.1.1. Konstrukční a materiálové varianty plovoucích mol.....	25
3.1.2. Ochranné konstrukce plovoucích zařízení proti povodni	31
3.2. Příklady betonových mol navštívených autorem práce	33
3.2.1. Purkarec	33
3.2.2. Hluboká nad Vltavou.....	36
3.2.3. Au an der Donau.....	40
3.3. Příklady ponorných betonových mol.....	41
4. Chování plovoucích těles.....	45
4.1. Archimédův zákon.....	45
4.2. Stabilita plovoucích těles.....	49
4.3. Ponořená tělesa při proudění	51
5. Popis materiálů a konstrukcí prvku	56
5.1. Materiály a konstrukce pro výrobu vláknobetonového prvku.....	56
5.1.1. Prostředí navrhovaného prvku.....	56
5.1.2. Železobeton s rozptýlenými polymerovými vlákny	58
5.1.3. UHPC (Ultra-vysokohodnotný beton).....	61
5.2. Materiál a konstrukce pro výrobu vzduchového vaku.....	63
5.3. Materiál a konstrukce nástupní lávky	66
5.3.1. Konstrukce nástupní lávky	66
5.3.2. Materiál nástupní lávky	68
5.4. Materiály nárazníků a úvazných prvků.....	71

6.	Návrh řešení ponorného prvku	72
6.1.	Geometrie a rozměry plovoucího prvku	72
6.1.1.	Definice množství osob pro použití jednoho prvku.....	72
6.1.2.	Numerická analýza pro návrh geometrie prvku	74
6.1.3.	Maximální povolené zatížení na prvku	77
6.2.	Návrh a posouzení spojovacího prvku.....	79
6.2.1.	Možné způsoby spojování	79
6.2.2.	Navržený systém spojování	80
6.3.	Statický výpočet a návrh výztuže prvku	84
6.4.	Návrh zvedacích kotev	84
6.5.	Vzduchotechnický systém	94
6.6.	Návrh úvazných lan	96
6.7.	Kontrolní systém tlaku ve vzduchovém vaku.....	98
7.	Návrh a výroba vzorků pro hydraulické zkoušky	99
7.1.	Návrh vzorků	99
7.2.	Návrh a výroba bednění a výběr směsi.....	102
7.3.	Výroba vzorků a úprava bednění	110
7.4.	Návrh spojování a konstrukce vzduchového vaku pro hydraulické zkoušky.....	116
7.4.1.	Spojovací prvky zkušebních vzorků.....	116
7.4.2.	Vzduchový vak zkušebních vzorků.....	119
7.5.	Výsledky	123
8.	Hydraulické zkoušky zmenšených vzorků	125
8.1.	Popis zkoušek	125
8.2.	Příprava zkoušek.....	126
8.2.1.	Příprava zkušebních vzorků a jejich spojování	126
8.2.2.	Generátor vln	127
8.2.3.	Způsob zatěžování zkušebních prvků.....	128
8.2.4.	Měření náklonů.....	129
8.2.5.	Měření namáhání v taženém a tlačném prvku	130
8.2.6.	Měření modulu pružnosti plastových tyček.....	131
8.3.	Statické hydraulické zkoušky	136
8.3.1.	Zatěžovací stav A0	139
8.3.2.	Zatěžovací stav A1	140

8.3.3. Zatěžovací stav A2	141
8.3.4. Zatěžovací stav A3	142
8.3.5. Zatěžovací stav A4	143
8.3.6. Zatěžovací stav A5	145
8.3.7. Zatěžovací stav B1.....	146
8.3.8. Zatěžovací stav C1.....	147
8.3.9. Zatěžovací stav C2.....	148
8.3.10.Zatěžovací stav C3.....	150
8.3.11.Zatěžovací stav C4.....	151
8.3.12.Zatěžovací stav C5.....	153
8.3.13.Zatěžovací stav C6.....	154
8.3.14.Zatěžovací stav C7.....	156
8.3.15.Zatěžovací stav C8.....	157
8.3.16.Zatěžovací stav D1	159
8.3.17.Zatěžovací stav D2	161
8.3.18.Zatěžovací stav D3	163
8.3.19.Zatěžovací stav D4	164
8.3.20.Zatěžovací stav D5	166
8.3.21. Zatěžovací stav D6	167
8.3.22.Zatěžovací stav D7	168
8.3.23.Zatěžovací stav D8	169
8.3.24.Zatěžovací stav D9	170
8.3.25.Zatěžovací stav D10	172
8.3.26.Zatěžovací stav D11	173
8.3.27.Vyhodnocení statických zkoušek	174
8.4. Dynamické hydraulické zkoušky.....	176
8.4.1. Dopočet síly v tlačené rozpěře.....	179
8.4.2. Zatěžovací stav X1	183
8.4.3. Zatěžovací stav X2	184
8.4.4. Zatěžovací stav X3	186
8.4.5. Zatěžovací stav X4	188

8.4.6. Zatěžovací stav X5	189
8.4.7. Zatěžovací stav X6	191
8.4.8. Zatěžovací stav X7	193
8.4.9. Zatěžovací stav X8	194
8.4.10. Zatěžovací stav X9	196
8.4.11. Zatěžovací stav Y1	198
8.4.12. Zatěžovací stav Y2	200
8.4.13. Zatěžovací stav Y3	201
8.4.14. Zatěžovací stav Y4	203
8.4.15. Zatěžovací stav Y5	204
8.4.16. Zatěžovací stav Y6	206
8.4.17. Zatěžovací stav Y7	208
8.4.18. Zatěžovací stav Y8	210
8.4.19. Zatěžovací stav Y9	212
8.4.20. Zatěžovací stav Z1	214
8.4.21. Zatěžovací stav Z2	215
8.4.22. Zatěžovací stav Z3	217
8.4.23. Zatěžovací stav Z4	218
8.4.24. Zatěžovací stav Z5	220
8.4.25. Zatěžovací stav Z6	222
8.4.26. Zatěžovací stav Z7	224
8.4.27. Zatěžovací stav Z8	226
8.4.28. Zatěžovací stav Z9	228
8.4.29. Vyhodnocení dynamických zkoušek	230
8.5. Určení maximální rychlosti, při které nedojde k odplavání ponořeného prvku ..	232
9. Příprava podkladů pro ochranu vynálezu	233
9.1. Způsob ochrany	233

10. Závěr a další výzkum	236
11. Literatura	237

Příloha č. 1 – Tabulka pro přepočítání modelových rychlostí v měřítku 1:10 na skutečné rychlosti

Příloha č. 2 – Přihláška vynálezu

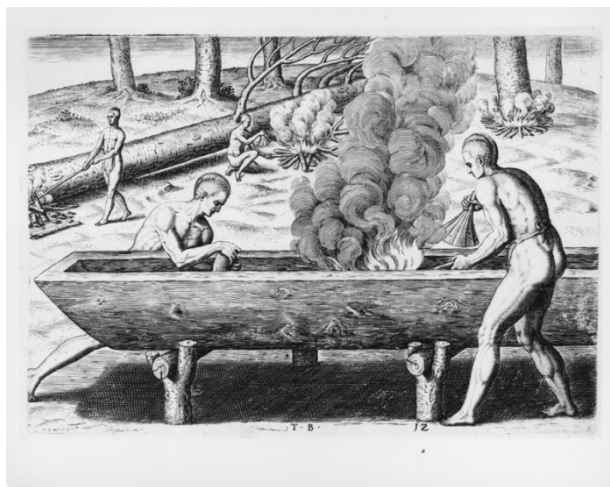
Příloha č. 3 – Přihláška užitého vzoru

Příloha č. 4 – Přihláška průmyslového vzoru

Příloha č. 5 – Výkresová dokumentace

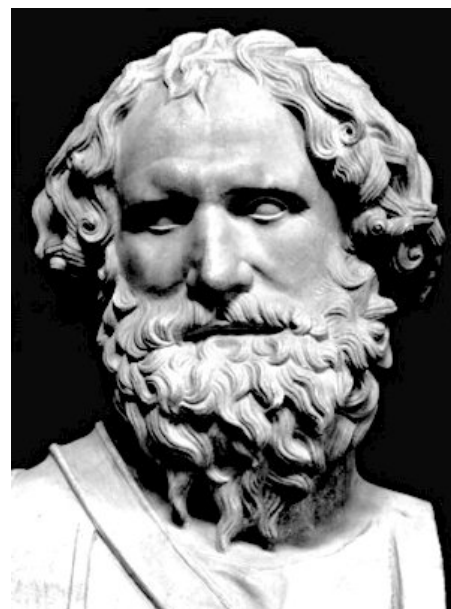
1. Úvod

Plovoucí konstrukce se využívají již několik tisíc let. Lidé si začali pomoci těchto různých plavidel ulehčovat práci prakticky hned poté, co zjistili, že lehčí objekt (s menší objemovou hmotností než voda) plave na hladině. Základním materiálem, který se stal pro plovoucí konstrukce ideálním, bylo dřevo, kterého před několika tisíci lety byl velký dostatek. Nasvědčuje tomu fakt, že prvními plovoucími konstrukcemi byly vory tvořené ze vzájemně propojených dřevěných kmenů. První archeologicky doložená vesla jsou stará přibližně 10 tisíc let a první doložené lodě jsou staré přibližně 8 tisíc let. Nejstarší lodě byly vzdáleně podobné dnešním kánoím. Byly to v podstatě vydlabané kmeny stromů (monoxyly). Tyto konstrukce byly používány prakticky ve všech částech světa nezávisle na sobě.



Obr. 1 Indiáni při výrobě monoxylu – převzato z webu www.wikipedia.org [32]

Tehdy však lidé nedokázali jev plavání těles fyzikálně popsat. To dokázal až řecký matematik, fyzik, filozof, vynálezce a astronom jménem Archimédés (287–212 př. n. l.). Ten je považován kromě jiného za zakladatele vědního oboru hydrostatiky. Tento titul si vysloužil především díky popsání plavání těles zákonem, který se jmenuje podle něho, tedy Archimédův zákon. K popsání jevu plavání těles se traduje anekdotická historka.



Obr. 2 Archimédova busta – převzato z webu www.peoplequiz.com

Král Hierón II. si nechal zhotovit novou zlatou korunu a požádal Archiméda, aby zjistil, zdali je tato koruna vyrobena z ryzího zlata. Jelikož nemohl korunu roztavit do pravidelného geometrického tvaru, zvážil a pomocí hustoty zjistit, zda se jedná pouze o zlato, snažil se hledat jiný způsob. Řešení tohoto problému ho napadlo údajně při koupeli v městských lázních, když zjistil, že po ponoření jeho těla do vody hladina stoupla. Poté si uvědomil, že této skutečnosti může využít k řešení svého

problému tak, že ponoří zlatou korunu do nádoby plně naplněné vodou a objem vody, který přeteče, bude rovný objemu koruny. Podle legendy vyskočil z koupele a zcela nahý pobíhal ulicemi města, přičemž vykřikoval „*Heuréka*“ (v překladu „*Nalezl jsem*“). Po vyzkoušení koruny zjistil, že není vyrobena pouze ze zlata, ale nepoctivý zlatník do ní přidal také stříbro. Pravdivost této historiky bývá zpochybňována zejména kvůli extrémní přesnosti, kterou by musel být obsah přeteklé vody změřen. Není však důležité, jaký podnět k formulaci Archimédova zákona konkrétně byl.

Archimédes se také ve svém díle „*O plovoucích tělesech*“ zabývá stabilitou plovoucích těles. Zejména zkoumal stabilitu ponořeného paraboloidu, který považoval za ideální tvar pro lodní trup.

Plovoucí konstrukce, zejména lodě, hrály v historii stále větší roli. Jejich uplatnění bylo v mnoha různých oborech, zejména jako lodě obchodní, vojenské, přepravní, rybářské a další. Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu lodí bylo až do 19. století dřevo, ale například staří Egypťané z důvodu



Obr. 3 Lodě ve výpravě Kryštofa Kolumba (*Santa Maria, Pinta a Nina*) – převzato z webu www.novinky.cz [34]

nedostatku dřeva používali také rákos a papyrus. Jedním z významných momentů historie, kdy velkou úlohu sehrály lodě, je kolonizace a objevování „Nových světů“. Z tohoto období je asi nejznámější výprava janovského mořeplavce Kryštofa Kolumba (1451-1506), který znovuobjevil „Nový svět“, který je dnes známý jako americký kontinent.

Lidé se ve stavění lodí stále zdokonalovali, a tak původní pohon lidskou silou vystřídaly nejprve plachty a poté motory. V průběhu 19. století vystřídala hlavní materiál pro stavbu lodí ocel. Ocelové lodě se začaly používat zejména při vojenském využití pro jejich větší pevnost a odolnost vůči nepřátelským zbraním. Plovoucí tělesa vyrobená z betonu, kterým se bude věnovat tato práce, jsou variantou méně obvyklou, avšak v řadě případů mají své opodstatnění. Autor se touto problematikou podrobně zabýval ve své bakalářské práci [17], kde je možno v případě zájmu najít bližší podrobnosti.

Ze zkušeností našich předků při návrhu a stavění plovoucích konstrukcí je možné se mnohému naučit. Tyto zásady a zkušenosti budou aplikovány při návrhu a výrobě prvku,

kterému se tato práce věnuje. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [32], [33] a [34].

2. Zadání a předmět práce

2.1. Původní myšlenka

Tato práce byla vypracována jako studie proveditelnosti a výrobní dokumentace pro prototyp vynálezu. Jako zadání sloužila architektonická studie vypracovaná společností C&Com Advertising [15]. Původní myšlenka této studie byla vytvořit originální rozšíření pražské náplavky u Rašínova nábřeží, které by sloužilo jako cyklostezka.



Obr. 4 Vizualizace cyklostezky tvořené betonovými ponornými moly – převzato z architektonické studie C&Com Advertising [15]

Kapacita pražské náplavky v současné době nestačí ani pouze pro pěší. Z tohoto důvodu chodci využívají celou šíři náplavky včetně cyklostezky, kterou tedy nelze používat pro její účel. Na pražské náplavce se organizuje spousta kulturních akcí, jako jsou koncerty, trhy, výstavy apod. Dále se koná řada sportovních akcí na samotné náplavce, ale i na řece. Při všech těchto akcích je velkým problémem kapacita náplavky.

Při povodních se běžně používaná mola musí přemístit do bezpečnostního přístavu, který je stejně jako ostatní plavidla ochrání a nedojde tak k jejich odplavání nebo poškození. Praha má však při povodních u těchto ochranných přístavů velké kapacitní problémy. Použití běžně používaného systému mol by vedlo k nutnosti vybudovat další ochranné přístavy a tím zvýšit jejich celkovou kapacitu. To je z ekonomického hlediska velmi problematické. Z toho důvodu se hledalo řešení, jak navrhnout systém mol, který nebude v případě povodně nutné přemístit do bezpečnostních přístavů.



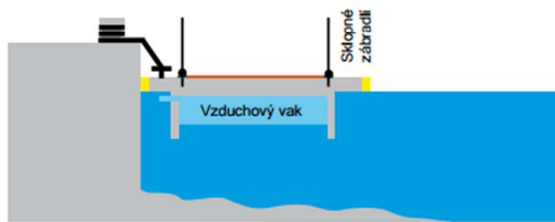
Obr. 5 Fotky z povodní 2013 v místě pražské náplavky – převzato z webu www.zpravy.aktualne.cz

Řešení tohoto problému se věnoval architekt Jakub Fabel, který je původcem celé myšlenky. Pan architekt navrhl řešení v podobě nahrazení běžné výplně betonových mol (polystyren) za vzduchový vak, který bude možné v případě povodně vypustit a tím dojde k jeho ponoření. Ponořené molo zůstane u dna po celou dobu povodně, dokud nebude obnoven bezpečný vodní stav. Poté bude možné vzduchový vak opět nafouknout a tím obnovena plovatelnost celého mola. Tato myšlenka je poměrně inovativní a není mnoho podobných systémů, které se ve světě používají.

Architektonická studie zpracovaná společností C&Com Advertising [15] se zabývala potřebami pro ponorné betonové molo a navrhla jeho základní řešení.

Ponorné betonové molo se vzduchovým vakem

- Plovoucí molo při běžném provozu

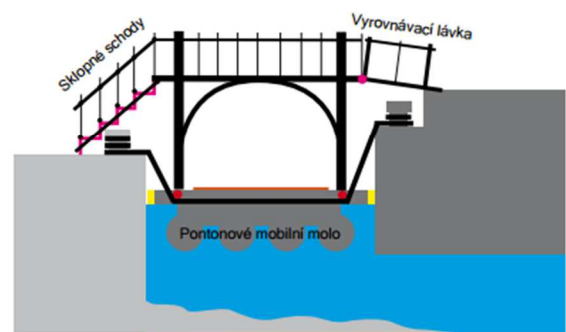
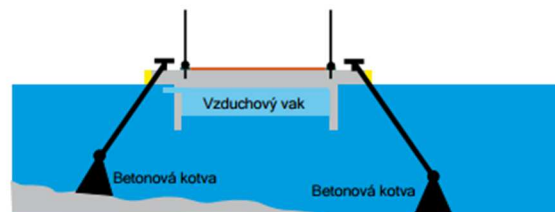


- Potopené molo při povodňovém ohrožení



- Plovoucí podjezdné nástupiště pro lodě (při povodni bude odváženo spolu s plavidly)

Molo ve volném prostoru ukotvené do dna



Obr. 6 Schémata fungování ponorného betonového mola – převzato z architektonické studie C&Com Advertising [15]

2.2. První studie proveditelnosti

Autor této práce se věnoval problematice systému ponorných mol již ve své bakalářské práci, která byla obhájena v roce 2017 a jejíž název je Ponorné molo z vláknobetonu [17]. Bakalářská práce sloužila jako prvotní studie proveditelnosti, která měla ověřit, zda je vůbec možné realizovat takovýto systém. Obsahem bylo lokalizování všech problémů, které musí být vyřešeny, následně byl zpracován návrh prvku, principu vzájemného spojování prvků a dalších konstrukcí potřebných k provozu ponorného mola. Tato diplomová práce vychází z dříve zpracované bakalářské práce, která však slouží pouze jako podklad k dalšímu zkoumání a lepšímu návrhu celého systému. Pro zpracování bakalářské práce

2.3. Současný stav pražské náplavky a nábřeží v dalších evropských městech

Pražská náplavka je zejména v letním období hojně vyhledávaným místem v Praze, které navštěvují jak místní, tak turisté. Velká návštěvnost je způsobena stále zvyšující se poptávkou po nezastavěných plochách v centru města, na kterých je možné relaxovat nebo se zúčastňovat kulturních či sportovních akcí. Dalším důvodem je výhled na historickou část Prahy. Náplavka umožňuje únik z rušného velkoměsta a příjemné prostředí u vodního toku.



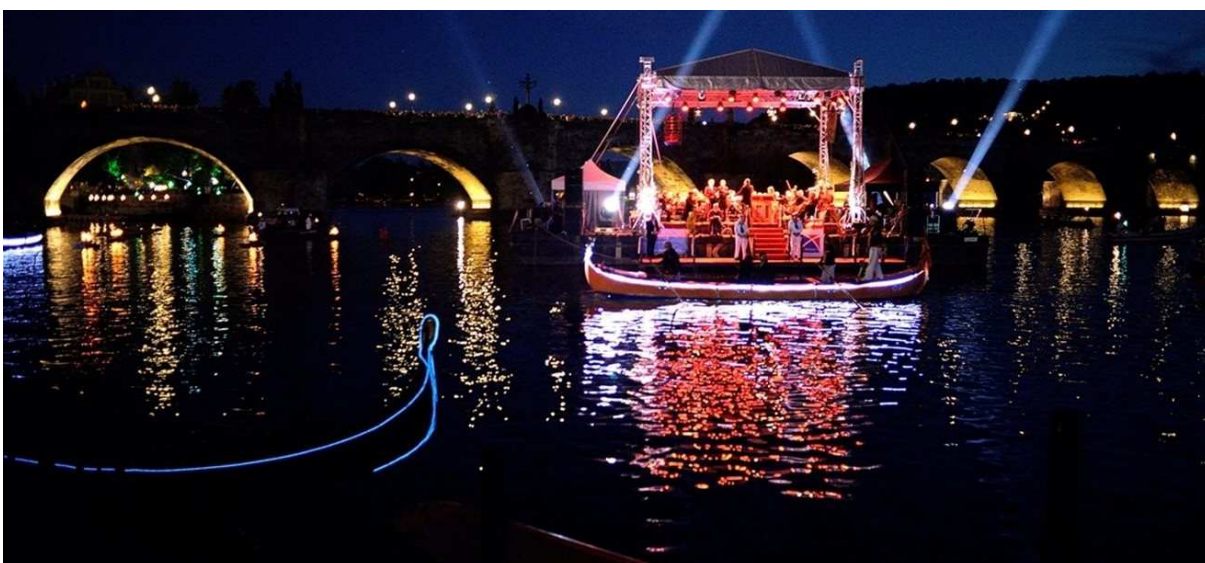
Obr. 7 Současný stav pražské náplavky v místech Výtoně – převzato z webu www.commons.wikimedia.org

Současně je náplavka komunikací skládající se z pruhů pro chodce a pro cyklisty. Povrch komunikace je tvořen kamennými dlažebními kostkami. Šířka náplavky je různá v její délce. V nejdelším úseku je její šířka cca 13 m, u Výtoně je náplavka rozšířena na cca 18 m, ale v nejužším úseku je její šířka pouze cca 8 m. Oddělení mezi částí komunikace pro pěší a cyklostezkou je pouze vizuální a je tvořeno dvěma kamennými pruhy. Zároveň se po celé

náplavce nachází různá vybavenost pro používání jako obchody, stánky s občerstvením nebo mobilní WC. Všechna tato vybavení jsou umístěna na náplavku a tím zužují její šířku.



Obr. 8 Farmářské trhy konané každý týden – převzato z webu www.farmarsketrziste.cz



Obr. 9 Svatojánské slavnosti Navalis 2018 – barokní koncert na Vltavě – převzato z webu www.kudyznudy.cz



Obr. 10 Redbull letecký den 2013 – převzato z webu www.redbull.com

S podobnými kapacitními problémy jako má pražská náplavka se potýkají i další tuzemská a evropská města. Navrhovaný systém by v pozdějších fázích mohl najít uplatnění také v těchto městech a vyřešit tak kapacitní problémy stávajících náplavek a bezpečnostních přístavů.



Obr. 11 Nábřeží v Paříži –
převzato z webu www.novinky.cz



Obr. 12 Nábřeží v Budapešti –
převzato z webu www.ianmiklin.cz



Obr. 13 Nábřeží v Gdaňsku –
převzato z webu
www.radynacestu.cz



Obr. 14 Nábřeží v Kodani –
převzato z webu
www.radicestujeme.eu



Obr. 15 Nábřeží v Berlíně –
převzato z webu www.bustourist.cz



Obr. 16 Nábřeží v Hamburku –
převzato z webu
www.evahamernikova.cz



Obr. 17 Nábřeží v Oslu – převzato
z webu www.posters.cz



Obr. 18 Nábřeží ve Vídni –
převzato z webu www.wien.info



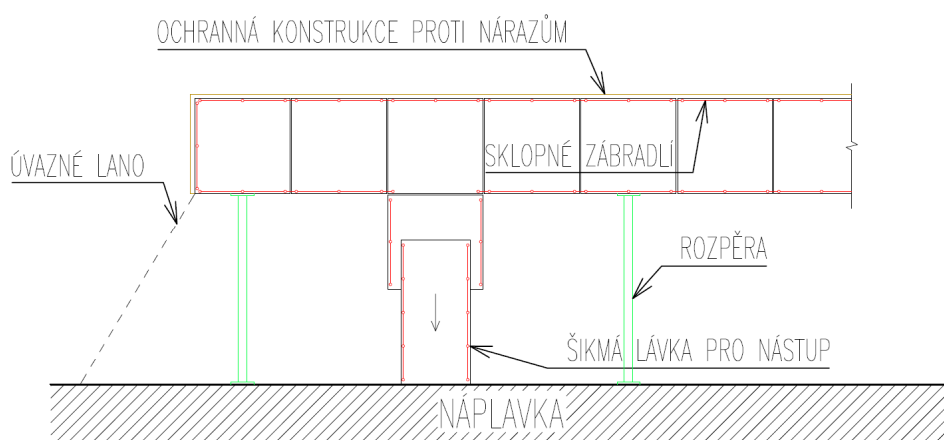
Obr. 19 Nábřeží v Písku –
převzato z webu
www.commonswikimedia.org

2.4. Návrh způsobu využití

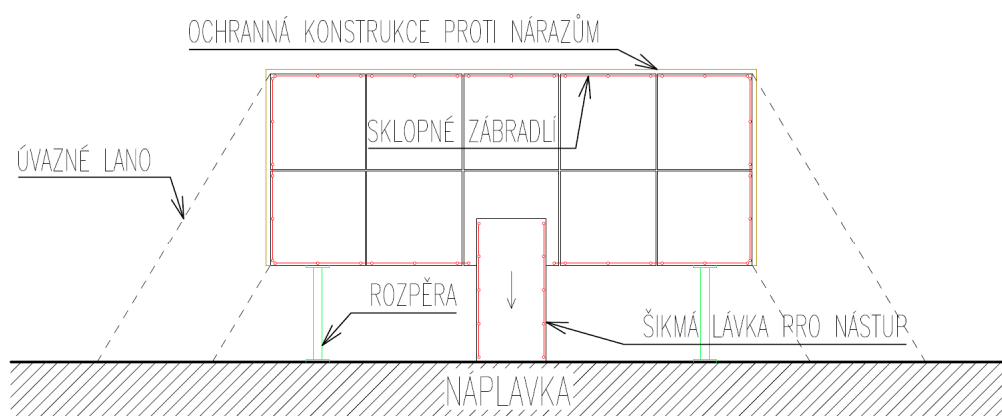
Logickým řešením kapacitních problémů je rozšířit náplavku a tím zvětšit její celkovou kapacitu. Rozšíření lze provést pomocí velké stavební úpravy, která je však velmi ekonomicky náročná. Z toho důvodu byla navržena varianta realizovat rozšíření pomocí plovoucích betonových dílců. V původní architektonické studii bylo uvažováno s využitím rozšíření jako cyklostezky, další úvahy ovšem ukázaly, že použití plovoucích dílců pro tento účel není ideální. Hlavním důvodem je, že různě zatížené prvky budou mít rozdílný ponor, tím pádem mezi nimi budou vznikat výškové rozdíly, které nejsou při jízdě na kole pohodlné. Dalším důvodem je, že plovoucí rozšíření bude pravděpodobně atraktivní pro návštěvníky, kteří se zde budou chtít procházet a tím by zamezovali používání cyklostezky. Oba tyto problémy jdou

vyřešit a z betonových mol s patřičnou úpravou lze udělat plovoucí cyklostezku, nicméně po diskuzi a jednání se zástupcem správce pražské náplavky byl účel dílců změněn na užívání zejména pro chodce.

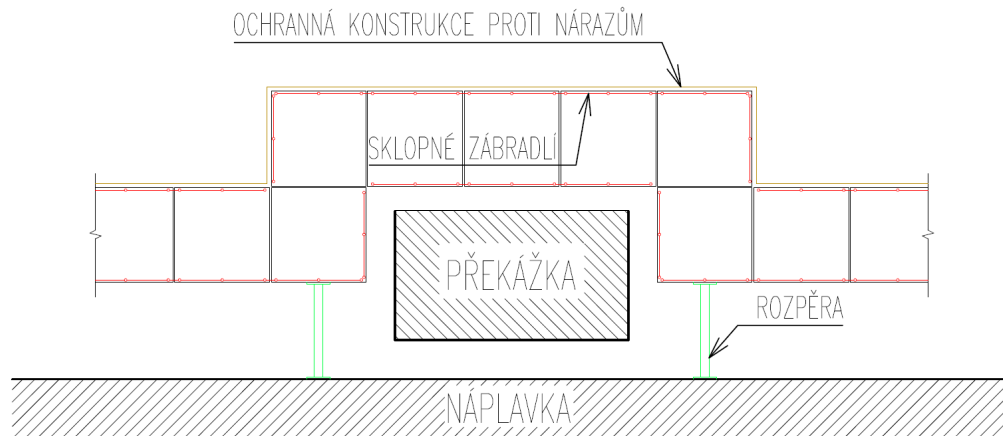
Rozšíření má být realizováno jako liniové, ale také plošné. Z toho důvodu je třeba navrhnout jednotlivé prvky jako modulární, aby bylo možné je vzájemně spojovat do různých celků v závislosti na aktuální potřebě. Vzájemné spojování a rozpojování dílců musí být řešeno tak, aby bylo možné v co možná nejkratší době měnit jejich uspořádání. Na následujících obrázcích jsou schémata použití skupiny prvků v různých variantách.



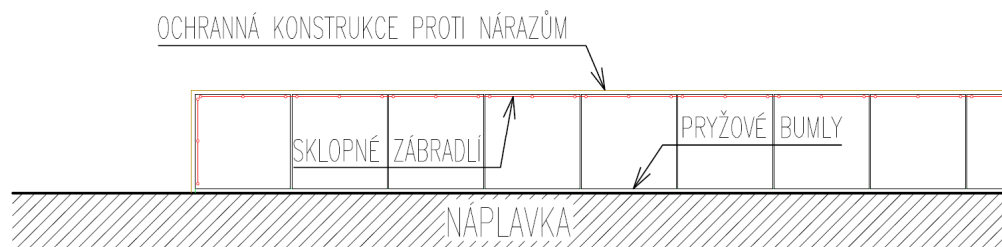
Obr. 20 Liniové propojení prvků



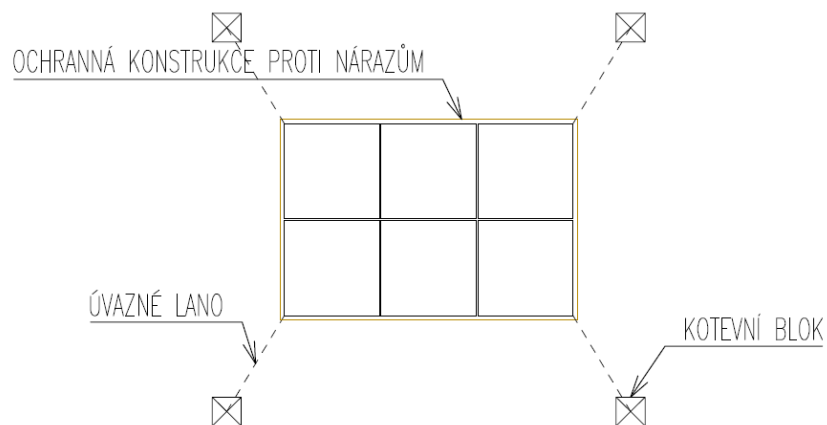
Obr. 21 Schéma – Plošné propojení prvků



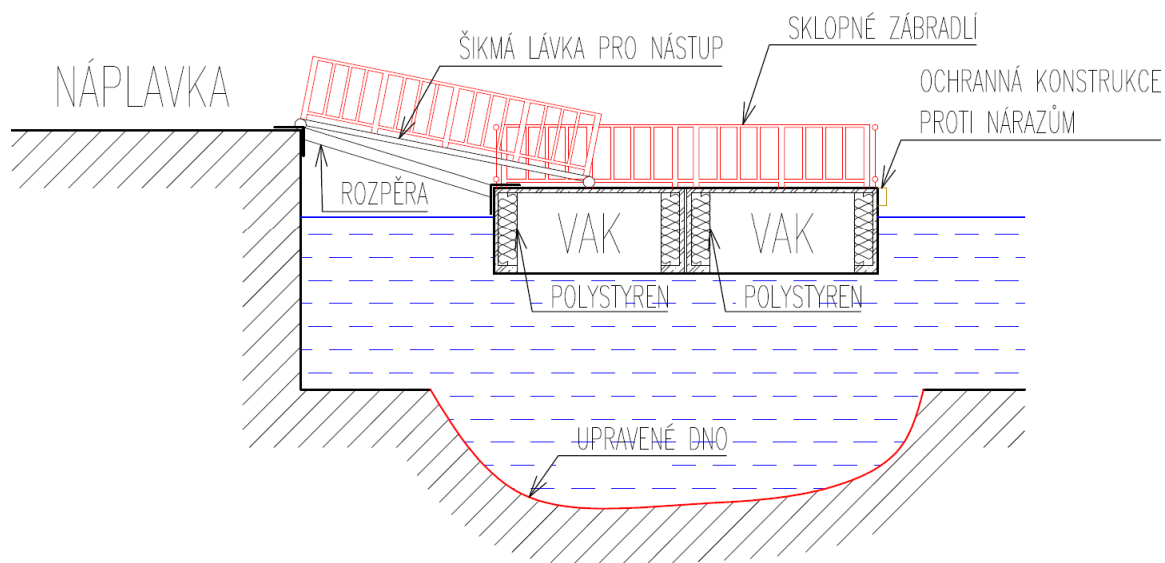
Obr. 22 Schéma – Propojení pro překonání překážky



Obr. 23 Schéma – Liniové propojení za použití konstrukce bumblů



Obr. 24 Schéma – Plošné propojení jako samostatně stojící mimo břeh toku



Obr. 25 Schématický příčný řez skupinou při plošném propojení

Po konzultaci se zástupcem správce pražské náplavky byl stanoven maximální počet prvků při plošném propojení jako 3 x 4 prvky, čímž by se vytvořila plocha o rozměrech 9,9 m x 13,2 m (130,7 m²). Z technického hlediska není počet propojených prvků prakticky nijak omezen, limit vyplývá pouze z náležitostí schvalovacího procesu. Povolení umístění do vodního toku u těles, jejichž žádný rozměr nepřesahuje 20 m a jejichž výtlak je menší nebo roven 100 m³, uděluje v jednodušším řízení Státní plavební správa (SPS). U těles přesahujících některou z uvedených hranic je nutno podstoupit složitější řízení u společnosti CS Lloyd.

2.5. Cíle práce

V rámci zpracování grantu autor zpracovává na toto téma diplomovou práci paralelně se studentem Bc. Janem Matějkou. Autor se v této práci věnuje výrobě zkušebních vzorků systému ponorných mol, jejich experimentálnímu zkoušení a vyhodnocení experimentů. Bc. Jan Matějka se věnuje návrhu tvaru a vyztužení mola a konstrukci spoje prvků mola. Data z obou těchto prací budou využita pro návrh výsledného prvku. V diplomové práci zpracovávané autorem budou výsledky převzaté z práce zpracovávané Bc. Janem Matějkou

označeny a budou popisovány pouze stručně. Detailnější popis a výpočty se budou nacházet v diplomové práci zpracovávané Bc. Janem Matějkou [18].

Tato práce slouží jako finální stupeň studie proveditelnosti betonového ponorného mola. Cílem je provést podrobný návrh mola včetně všech doplňkových prvků (kotevních prvků, ochranných prvků, přístupových lávek aj.), ověřit jeho chování na vodní hladině na zmenšeném modelu a připravit výrobní dokumentaci k prototypu ve skutečné velikosti. Početní návrh konstrukcí byl proveden hlavně v diplomové práci zpracované Bc. Janem Matějkou [18].

Autor sám si v této práci klade za cíl ověřit vypočítané hodnoty experimentálně na zkušebních vzorcích a také doplnit údaje, které nelze stanovit výpočtem. Dále byl autorem práce proveden návrh prvku a rozmístění jednotlivých doplňkových prvků. Z tohoto návrhu byla zpracována výkresová dokumentace, která bude sloužit jako dokumentace pro výrobu prototypního vzorku v reálné velikosti. Byla taktéž zpracována patentová přihláška, přihláška pro užitný vzor a přihláška pro průmyslový vzor k ochraně navrženého řešení. Všechny tyto přihlášky byly podány na Úřad průmyslového vlastnictví a v současné době se čeká na jeho stanovisko.

3. Příklady konstrukcí mol a ponorných prvků

Ještě před samotným návrhem je nutné analyzovat současnou situaci v oblasti mol a pontonů, které se používají v ČR i ve světě. Tato analýza slouží jako inspirace pro návrh, ale i jako stav techniky pro ochranu duševního vlastnictví. V následujících kapitolách budou ukázány konstrukce mol a pontonů, které se v historii realizovaly, nebo jsou ještě v současné době provozovány.

3.1. Příklady mol na tuzemském trhu a ve světě

Na světovém i tuzemském trhu se nachází mnoho konstrukčních a materiálových variant pro vytvoření plovoucího mola. Až na výjimky, které jsou popsány v kapitole 3.3. Příklady ponorných betonových mol, se jedná o trvale plovoucí mola. Nevýhoda tohoto řešení tkví v tom, že při vzduť vodní hladiny např. při povodních je nutné tyto prvky přemístit do bezpečnostních přístavů, nebo je připevnit k mohutným a vysokým pilotám, popř. celý systém vyzdvihnout z vodní hladiny na souš.

3.1.1. Konstrukční a materiálové varianty plovoucích mol

Konstrukce plovoucích mol se v současné době vyrábí převážně ze čtyř základních materiálů a jejich kombinací. Těmito materiály jsou ocel, dřevo, beton, plast. V podstatě můžeme jednotlivé konstrukční dílce rozdělit podle funkce do třech skupin:

1. Plovák – Dílčí konstrukce tvořená dutou skořepinou, kde je tato dutina bez výplně nebo vyplněna plovoucím materiálem. Funkcí plováku je nadnášet pochozí konstrukci nad ním. Materiálem pro výrobu této konstrukce je nejčastěji plast.
2. Pochozí konstrukce – Dílčí konstrukce, která je podporována plováky. Je nejčastěji tvořená dvěma nosnými profily po stranách, mezi které je vložena výplň. Tato konstrukce je vyrobená nejčastěji z ocele nebo ze dřeva.
3. Prvek tvoří funkci plováku i pochozí konstrukce – Jednotlivé prvky se spojí a vytvoří tak větší plochu/linii. Prvek nelze rozdělit na část plováku a část pochozí konstrukce. Konstrukce může být tvořena z ocelové/betonové skořepiny s výplní z plovoucího materiálu nebo z plastu.

Jednou z nejjednodušších konstrukcí, která hojně používána, je plovák tvořený ocelovými/plastovými barely, které jsou spojené dohromady a přes tyto barely je umístěna pochozí konstrukce z oceli nebo ze dřeva. Pokud se jedná o ocelové barely, pak jsou ošetřeny žárovým zinkováním a protikorozním nátěrem. Plastové barely jsou nejčastěji vyrobené z polyethylenu. Molo tvořené touto konstrukcí lze použít pro mnoho účelů. Nejčastěji je jeho

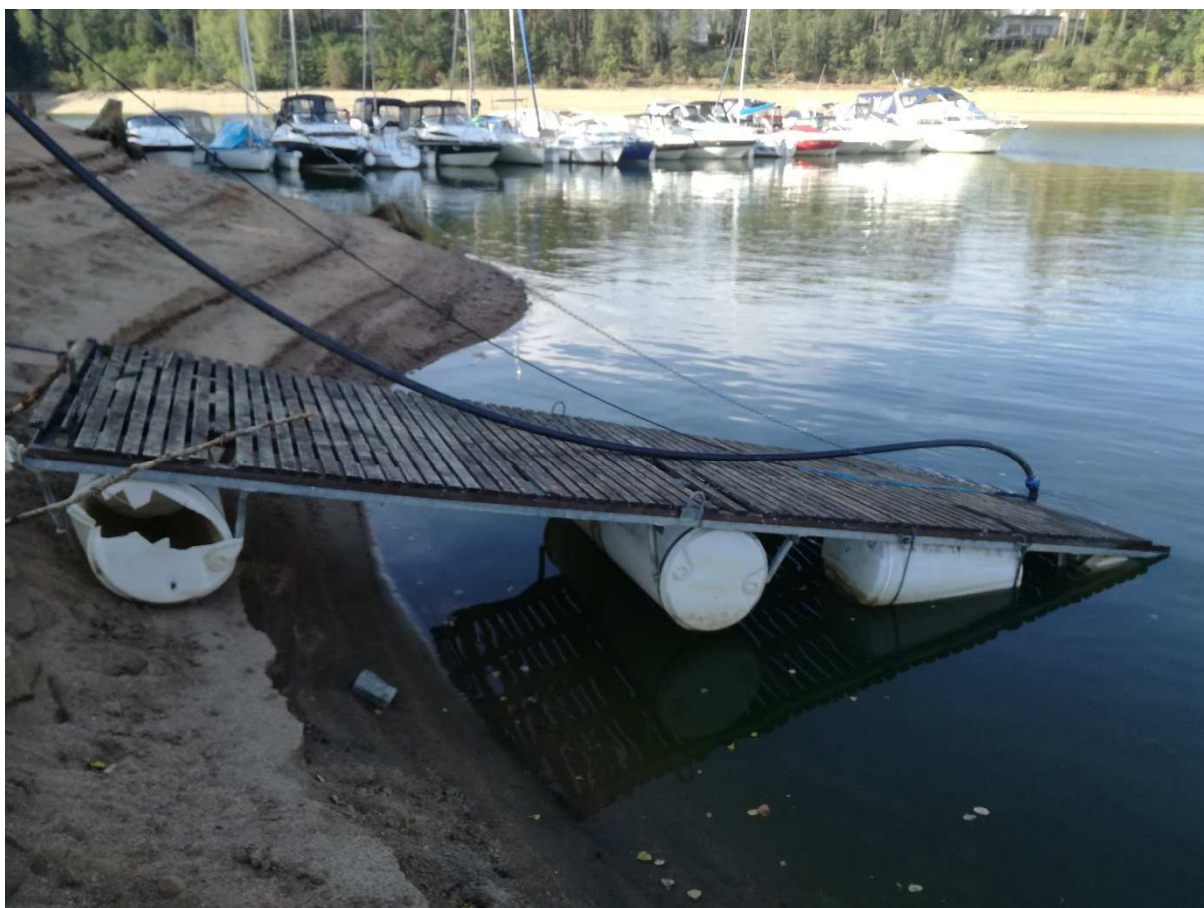


Obr. 26 Molo tvořené plováky z plastových barelů, které podporují pochozí konstrukci tvořenou z ocelové konstrukce a dřevěných prken – převzato z webu www.river-marina.cz [38]

funkce vytvořit stání pro plavidla, koupací molo nebo nástupní lávku na jinou konstrukci mola. Tuto konstrukci lze bez problému vytvořit svépomocí doma. Nevýhodou je tenkostěnný plovák, který zajišťuje plovatelnost. Ten musí být co možná nejlehčí, aby co nejvíce plovál. Vylehčení je zajištěno právě pomocí tenké stěny plováku.

Plovák je potom velmi náchylný na jakékoliv zatížení, které je způsobeno např. dosednutím plováku na dno nebo nárazem jiného plovoucího zařízení. Pokud je plovák tvořený

plastovými barely, pak také podléhá UV záření, díky kterému materiál velmi degraduje a stává se tak křehčím a méně únosným. Výhodou této konstrukce je její poměrně jednoduchá oprava, kdy stačí vyměnit konkrétní poškozený plovák za nový. Další výhodou je také poměrně nízká cena, která se pohybuje kolem 50 000 Kč za molo o rozměrech 3x2 m včetně nástupní lávky s rozměry 3x0,8 m. Molo tohoto způsobu vyrábí například společnost River Marina [38].



Obr. 27 Nástupní lávka tvořená pochozí konstrukcí a plováky (jeden poškozený)

Další možností jsou mola tvořená ocelovou dutou skořepinou s výplní tvořenou z plovoucího materiálu (nejčastěji polystyren). Ocel je v tomto případě opatřena žárovým zinkováním a protikorozním nátěrem. Takováto konstrukce může mít v podstatě libovolné rozměry a tvar. Konstrukci lze také používat pro mnoho účelů např. jako nástupní nebo pro



Obr. 28 Molo tvořené ocelovou skořepinou s plovoucí výplní (polystyrenem)

kulturní či sportovní aktivity. V Praze je takovéto molo používané například jako plovoucí hřiště na plážový volejbal. Výhodou tohoto mola je poměrně odolná skořepina, která má větší odolnost např. vůči nárazům od plavidel. Cena takového mole je přibližně 5 000 Kč/m².

V posledních letech se velmi atraktivním systémem pro výrobu mola stávají duté plastové dílce spojené do plošných celků. Jedná se v podstatě o poměrně malé prvky ve tvaru kvádrů s vykrojením čtvrtkruhu u každého rohu o rozměrech nejčastěji 0,5x0,5x0,4 m.



Obr. 29 Plovoucí molo tvořené z menších plastových dílců –
převzato z webu www.crodock.cz [39]

Tyto prvky mají zesílenou horní pochozí desku s protiskluzovou úpravou. Čtveřice prvků vytvoří uprostřed otvor ve tvaru kruhu, do kterého lze vložit spojovací dílec a celou čtveřici tak propojit. Z tohoto systému je možné vytvořit libovolně velkou a tvarovanou plovoucí plochu. Většinou slouží jako plovoucí kotviště pro lodě, plovoucí ostrůvky nebo koupací molo. Materiálem celého systému je polyetylen. Velkou výhodou této konstrukce je její modulárnost, jelikož lze jakýkoliv prvek vyměnit za jiný a není třeba řešit jejich natočení. S tím souvisí i snadná oprava tohoto mola, kdy je možné vyměnit konkrétní poškozený prvek. Další výhodou je poměrně nízká cena přibližně 4 600 Kč/m². Nevýhodou je však nepřilíživý estetický vzhled. Jednotlivé prvky mají jasně dané rozměry a nejsou proto vhodné pro konstrukce namáhané větším zatížením, které by způsobovalo větší natočení. Zároveň mají kvůli velmi nízké hmotnosti omezenou stabilitu. Dodavatelem těchto prvků je například společnost CRODOCK.cz s.r.o. [39].

Plastové dílce mohou být i větších rozměrů. Někteří výrobci nabízejí plastové molo ve tvaru kvádrů s rozměry 1,95x0,98x0,38 m, například společnost NOE s.r.o. [40]. Tento prvek je opatřen čtyřmi otvory pro spojování na obou delších stranách a dvěma otvory na

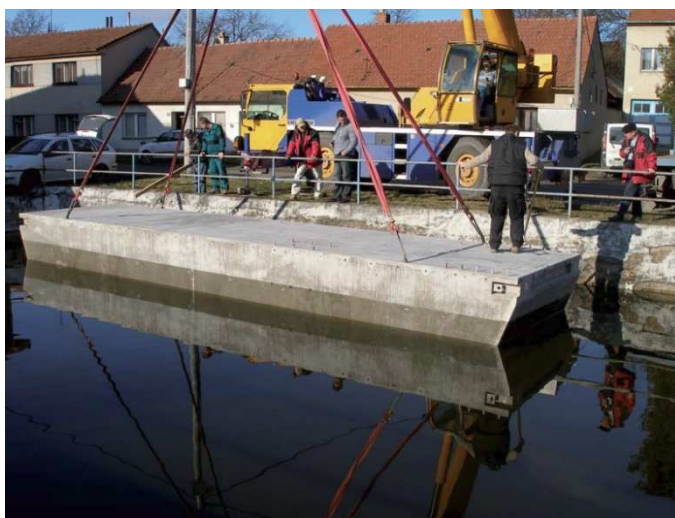


Obr. 30 Plovoucí molo tvořené z větších plastových dílců –
převzato z webu www.eshop.plastovky.cz [40]

kratších stranách. Molo je tak možné spojovat modulově do libovolných tvarů. Dílce jsou uvnitř duté a mají zesílenou horní desku s protiskluzovou úpravou. Tento systém má podobné výhody a nevýhody jako systém předchozí. Cena tohoto typu je také poměrně nízká, přibližně 5 000 Kč/m².

Pro tuto práci jsou nejdůležitější a nejzajímavější mola tvořená z betonových plovoucích prvků. Ta jsou také poměrně hojně používána buď samostatně nebo v kombinaci s jiným materiálem. Obvykle se tento druh mol používá pro větší rozměry. Několik betonových mol navštívených autorem práce bude představeno v kapitole 3.2. Příklady betonových mol navštívených autorem práce. Betonové molo lze vyrobit pouze jako prefabrikát a je nejčastěji vyztuženo prutovou výztuží. Tato mola jsou většinou navrhována přímo na zakázku, takže nemají pevně dané rozměry, ale je možné je měnit přímo podle potřeb investora.

U varianty, kdy betonové molo tvoří jak plovák, tak pochozí konstrukci mají prvky obvykle půdorysně obdélníkový tvar s rozměry přibližně 20–15 m na délku a 3–4 m na šířku. Spojují se obvykle pouze na kratších stranách a tím vznikne dlouhá plocha. Výška prvku je také individuální, ale obvykle je kolem 1–2 m. U spojovacích prvků je stěna prvku zešikmená, aby se mohl prvek volně natáčet. Celkový tvar prvku je tedy kvádr se zkosenými



Obr. 31 Plovoucí molo tvořené z železobetonové skořepiny vyplněné polystyrenem – převzato z webu www.prefa.cz [42]

kratšími stěnami. Molo je tvořené železobetonovou skořepinou, která je uvnitř vyplněna polystyrenem. Tento typ mola se používá převážně pro větší přístavy nebo jako nástupní molo pro větší plavidla. Velkou výhodou tohoto typu mola je mnohem větší stabilita, která je dána většími rozměry prvku. Další výhodou je mnohem větší pevnost a odolnost betonu vůči nárazům nebo jiným zatížením. Lze tedy tvrdit, že takovéto molo má poměrně velkou životnost (někteří výrobci zaručují minimálně 50 let). Nevýhodou je značně vyšší hmotnost a také vyšší cena, která je přibližně 20 000 Kč/m². V České Republice se tento typ mola nachází v Purkarcích, kde bylo navštíveno autorem a konkrétně je popsáno v této práci v kapitole 3.2.1. Purkarec. Společností, která tento druh mol vyrábí je například Prefa Brno a.s. [42] nebo VARI, a.s. [41].

Dalším rozšířeným způsobem je použití betonového plováku v kombinaci s pochozí konstrukcí z oceli nebo ze dřeva. To vede k celkové úspoře materiálu a tím k snížení ceny. Jelikož lze pochozí konstrukci vyrobit v jakýchkoliv tvarech, tak tento typ mola nemá žádné tvarové omezení. Jednotlivé plováky mají většinou stejný rozměr, ale vzdálenost mezi nimi je proměnlivá s ohledem na tvar. V místech, kde je větší problém zejména se stabilitou, jsou plováky umístěné blíže k sobě. Nevýhodou je nutnost poměrně masivní pochozí konstrukce, která působí na plováky velkým zatížením a ty je potřeba navrhnout s většími rozměry. Stejně jako u předchozího případu jsou plováky tvořené železobetonovou skořepinou, která je uvnitř vyplněna polystyrenem. Na internetu nebyl nalezen výrobce, který by nabízel sortiment podobného druhu, lze tedy předpokládat, že tato konstrukce je vyráběna vždy na zakázku. Nebylo tedy možné dohledat ani přibližnou cenu mola v tomto provedení. Tato konstrukce se v České Republice nachází například v přístavu Hluboká nad Vltavou. Toto přístaviště bylo navštíveno autorem práce a popis této konkrétní konstrukce se nachází v kapitole 3.2.2. Hluboká nad Vltavou.

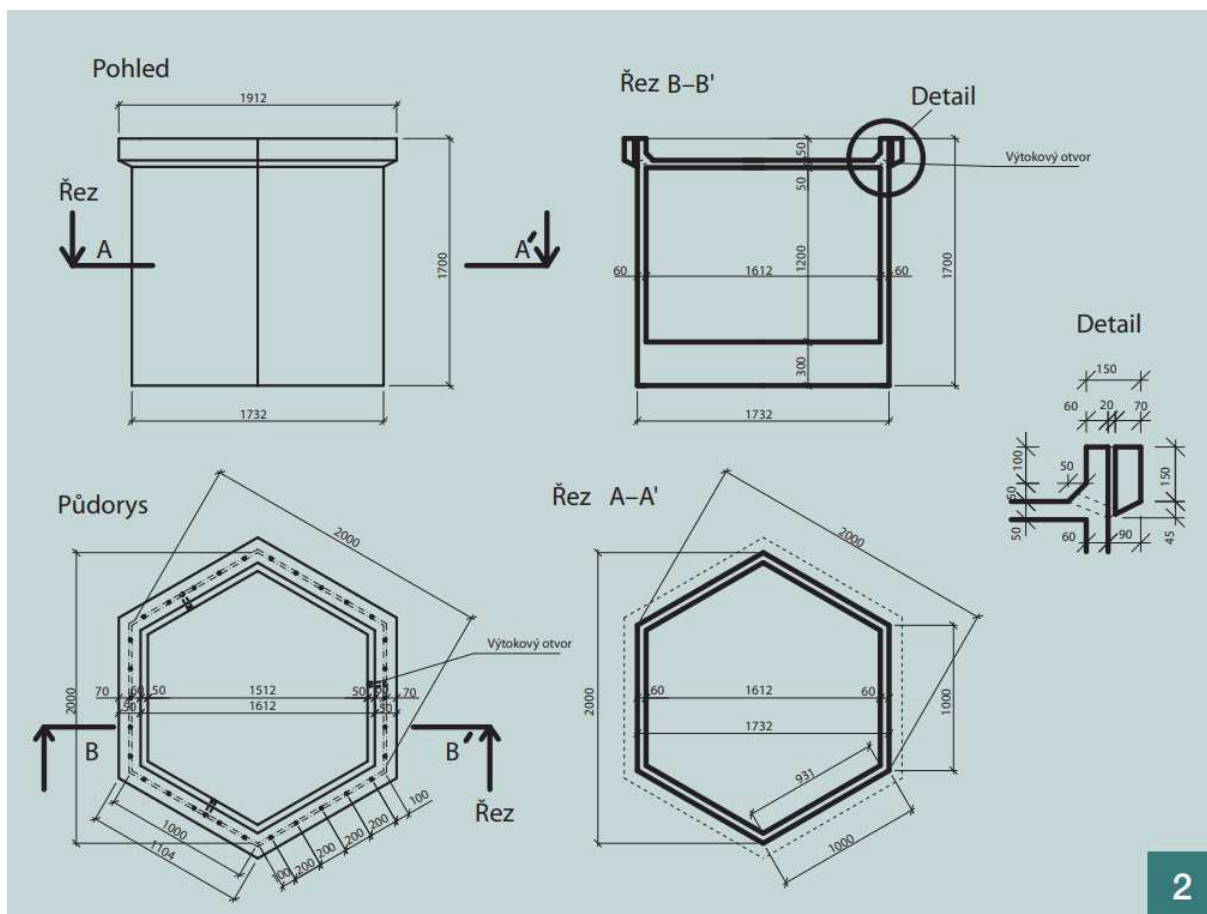


Obr. 32 Molo tvořené z betonových plováků a ocelové pochozí konstrukce v přístavu Hluboká nad Vltavou

Netradiční použití betonového mola je pro plovoucí ostrůvek, který slouží jako hnízdiště pro silně ohrožený druh ptáka – rybáka obecného. Výzkum a návrh konstrukce tohoto ostrůvku byl proveden na Fakultě stavební ČVUT doc. Ing. Janem Vodičkou, CSc. a Ing. Ivou Broukalovou, Ph.D., realizace pak firmou SMP CZ, a.s. pod vedením Ing. Vladimíra Brejchy. Tvarem prvku je šestiboký hranol o výšce cca 2 m vepsaný do kružnice o průměru 2 m. Tento prvek byl vyroben z betonu vyztuženého pouze rozptýlenými syntetickými vlákny. To vedlo k menší tloušťce stěn prvku, která je pouze 60 mm. Pro lepší stabilitu ostrůvku bylo zesíleno dno na tloušťku 300 mm. Tato vláknobetonová skořepina je vyplněna polystyrenem, který zajišťuje plovatelnost prvku. Díky jejich tvaru je možné prvky spojovat do větších ploch. Tento prvek má velmi netradiční použití, které je velmi odlišné od námi navrhovaného prvku, nicméně je možné se zde v řadě věcí inspirovat. Článek o tomto ostrůvku se nachází v [19].



*Obr. 33 Plovoucího vláknobetonový ostrůvek –
převzato z časopisu Beton Tks 2/2010, článek
Plovoucí ostrůvek, str. 24 [19]*



Obr. 34 Výkresová dokumentace plovoucího vláknobetonového ostrůvku – převzato z časopisu Beton TKS 2/2010, článek Plovoucí ostrůvek, str. 22[19]

3.1.2. Ochranné konstrukce plovoucích zařízení proti povodni

Ochranná konstrukce proti odplavání plovoucího prvku je velmi důležitou konstrukcí, kterou nelze při návrhu opomenout. Při výběru správné ochrany se musí dbát zejména na ekonomický faktor a časovou náročnost. Plovoucí prvek, který by nebyl při zvýšené vodní hladině správně zabezpečen, může poškodit další konstrukce na vodním toku, případně i ohrozit zdraví osob. Při schvalování plovoucích konstrukcí se na ochranu plovoucího zařízení před povodní bere zřetel a je nutné ji v dostatečné míře zajistit.

Většina měst má problém s kapacitou ochranných přístavů, proto by pro umístění dalších plovoucích zařízení muselo dojít k zhotovení nových přístavů, což je ekonomicky nevýhodné a je to velký zásah do krajiny. V Praze je ochranným přístavem např. Přístav Praha Smíchov [36] vystavený v roce 1903 s původním určením pro vory. Tento přístav je tvořen přístavním bazénem o rozloze 13,8 ha a nachází se na levém břehu Vltavy v říční kilometrůžce 57,24 – 55,54 km. Nelze přesně určit kapacitu přístavu v počtu plavidel, protože je to ovlivněné

velikostí těchto plavidel. Při povodni v roce 2013 zde bylo zakotveno přibližně padesát velkých parníků a stovka malých lodí a člunů. Článek o této situaci lze najít v [37].



Obr. 35 Zaplněný ochranný přístav Praha Smíchov při povodni v roce 2013 – převzato z webu www.zpravy.idnes.cz [37]

Vysoké piloty, ke kterým se připevní plovoucí konstrukce, je další možná varianta, která má však také mnoho nevýhod. Piloty musí být vyšší, než je nejvyšší zaznamenaná úroveň vodní hladiny při povodni. V některých místech může jít až o několik metrů. Vybudování tohoto systému je také velký zásah do krajiny, protože za obvyklého vodního stavu trčí nad úroveň vodní hladiny o několik metrů, navíc jsou také velmi nákladné. Příkladem použití tohoto systému je kotviště pořiční policie na Veslařském ostrově v pražském Podolí [35]. Tato konstrukce byla vyhotovena v roce 2016 a je navržena na jednu z nejničivějších zaznamenaných povodní v ČR, a to na povodeň v roce 2002. Délka kotviště je přibližně 45 m a je vyrobeno z betonových plováků, na které je osazena pochozí ocelová konstrukce. Cena tohoto kotviště byla pro představu přibližně 11 miliónů Kč.



Obr. 36 Kotviště pořiční policie na Veslařském ostrově chráněné proti povodni pomocí vysokých pilot – převzato z webu www.prazsky.denik.cz [35]

Poslední používanou ochranou proti povodni je vyjmout celou konstrukci z vodního toku a uschovat ji na pevnině. Tento způsob je však možné realizovat pouze u lehčích dílců malých rozměrů, např. plastových dílců. Velkou nevýhodou tohoto řešení je poměrně velká časová náročnost. Je nutné nejprve zajistit jeřábovou techniku, která plovoucí prvky vyzdvihne a poté naloží na jiný dopravní prostředek, který je přemístí na bezpečné místo. Po navrácení bezpečného stavu se musí opakovat stejný proces a navrátit plovoucí zařízení na vodní hladinu. Toto celé je nutné opakovat při každé povodni, což je velmi pracné a dlouhodobě neekonomické.

3.2. Příklady betonových mol navštívených autorem práce

Jednotlivé příklady různých konstrukcí betonových mol byly čerpány převážně z internetu a odborné literatury. Pro lepší představu o fungování těchto konstrukcí však bylo výhodné některé tyto konstrukce navštívit osobně. Záměr byl vyhledat především betonová plovoucí mola. Za pomoci internetového vyhledávání bylo proto celkem vytipováno 5 lokalit (čtyři v ČR a jedna v Rakousku). V těchto lokacích se nacházely různé konstrukce plovoucích mol. Dále budou představeny tyto jednotlivé konstrukce a popsány mechanismy jejich fungování.

3.2.1. Purkarec

Plovoucí molo v obci Purkarec slouží pro nástup na výletní lodě, které se plaví po Vltavě. Toto molo je relativně nové, otevřeno bylo teprve v říjnu v roce 2015. Jedná se o železobetonové molo dlouhé 50 m, které je spojené z šesti obdélníkových dílů o půdorysných rozměrech jednoho dílu 10 m na délku a cca 2 m na šířku. Skupina pěti kusů je vzájemně propojena na kratších stranách a tvoří tak linii dlouhou zmíněných 50 m. Šestý kus je připojen k delší straně jednoho dílu a je využíván pro nástup lidí na molo. Na informační tabuli u přístaviště je napsáno, že jsou uvažovány 4 osoby/m² a že proměnná nosnost je 5 kN/m².

Ředitelství vodních cest má na svých internetových stránkách [26] tento popis o molu Purkarec: „Přístaviště Purkarec je tvořeno 50 m dlouhým plovoucím molem sloužícím k vyvážení jak lodí osobní lodní dopravy, tak malých plavidel. Šikmá rampa umožní bezpečný a bezbariérový výstup a nástup cestujícím. Přístup je zajištěn asfaltovou cestou z návsi okolo kostela sv. Jiří. Přístaviště se nachází na levém břehu Vltavy v ř. km 217,337–217,387 ve zdrži VD Hněvkovice v obci Purkarec vedle kostela sv. Jiří a márnice.“



Obr. 37 Přístaviště Purkarec v zimě s odhalením prvků – převzato z webu www.dronavision.com

Tento druh přístaviště je velmi podobný konstrukci, které se tato práce věnuje. Je proto možné se u této konstrukce v mnohém inspirovat.

Jednotlivé betonové díly mají obdélníkový půdorys. Delší stěny jsou rovné, ale kratší jsou zkosené. Toto zkosení je výhodné z hlediska fungování kloubového spoje, jelikož se mohou jednotlivé prvky vůči sobě natáčet mnohem více, dále pak z hlediska stability.



Obr. 38 Čelní deska kloubového spoje

Spojování jednotlivých dílců je realizováno pomocí kloubového spoje. Tento spoje je proveden pravděpodobně jako tyč provlíknutá mezi výstupky dvou dílců, která je na obou koncích opatřena čelní deskou. Podrobněji spojovací prvek nelze určit, jelikož není k dispozici prováděcí dokumentace.

Konstrukce, která zadržuje celou skupinu proti odplavání, je realizována pomocí ocelových sloupů kruhového průřezu, okolo kterého je ocelový rám, na který jsou na čtyři strany připevněny plastové válečky. Jedná se o celkem hojně používaný způsob konstrukce tohoto druhu, která umožňuje molu svislý posun. U konstrukce mola, kterého se tato práce týká,



Obr. 39 Zadržná konstrukce pomocí ocelové objímky

je tato varianta velmi problematická vzhledem k estetickému narušování okolí a pohledu na řeku kvůli poměrně masivním ocelovým sloupům.

Zábradlí je tvořeno ocelovými dílci, které jsou tvořeny svislými sloupky z pásové oceli a podélným rastrem z trubek. Zábradlí je k betonovému prvku připojeno ze stran, což u námi navrhovaného prvku není možné kvůli modulárnosti. U námi navrhovaného prvku je nutné sklopné zábradlí, což je použito i u tohoto přístaviště. Stačí



Obr. 40 Detail konstrukce zábradlí

odšroubovat spojovací šrouby a ponechat pouze poslední a zábradlí lze sklopit. Pokud by došlo k úpravě připojení do desky prvku, tak lze zábradlí tohoto typu použít i u námi navrhovaného prvku.

Spojení mezi břehem a molem je realizováno pomocí ocelové konstrukce s pochozí deskou tvořenou ocelovým roštem. Lávka je ke břehu i ke skupině mol připojena pomocí kloubového spoje. Jelikož je přístaviště navrženo bezbariérově, tak je lávka pravděpodobně dostatečně dlouhá, aby měla i za extrémních podmínek takový sklon, který umožňuje pohodlný nástup osob s omezenou schopností pohybu. Pro zlepšení stability celé skupiny mol je lávka připojena k samostatnému dílci do boku. Pokud by se upravila tato konstrukce lávky tak, aby byla odpojitelná, tak by se takovýto typ dal použít u námi navrhovaného ponorného prvku.



Obr. 41 Ocelová lávka spojující břeh s přístavištěm – převzato z webu www.penzionpurkarec.com

3.2.2. Hluboká nad Vltavou

Molo v Hluboké nad Vltavou funguje jako sportovní přístav. Konstrukce mola je tvořena betonovými plováky ve tvaru kvádra, přes které je umístěna ocelová konstrukce. Jednotlivé betonové plováky mají rozdílné rozměry. Půdorysné rozměry standartního plováku jsou přibližně 2 m x 5 m. Jednotlivé plováky nejsou vzájemně propojeny, pouze v exponovaných místech je umístěno více propojených plováků (např. pod nástupní lávkou).



Obr. 42 Přístaviště Hluboká nad Vltavou

Přístav Hluboká nad Vltavou má na svých stránkách [27] tyto informace: „*Přístav bude sloužit pro krátkodobé i dlouhodobé stání malých plavidel uživatelů Vltavské vodní cesty ke krátkodobému stání jednoho návrhového plavidla (do velikosti 44 x 5,6 m s ponorem do 1,3 m) a jedné osobní lodi (do velikosti 27 x 5,6 m). Uzávěr vjezdového objektu umožní ochranu přístavu za vysokých vodních stavů až do výše Q_{20} tj. dvacetileté vody. Lodě zde tak budou moci bezpečně kotvit i při zvýšených průtocích. Uživatelé zde zároveň naleznou i místo pro spouštění a vytahování lodí.*“



Obr. 43 Fotografie ze stavby přístaviště Hluboká nad Vltavou – převzato z webu www.pristavhluboka.com [27]

System oddělených plováků a přes ně položené ocelové konstrukce je odlišný od systému, kterému se věnuje tato práce. Takto navržená konstrukce je primárně pro liniové celky, které mají svou stálou pozici po celou životnost a nelze je variabilně přemísťovat.

Z informační tabule lze zjistit, že maximální počet osob na 10 m délky mola je 30 a maximální nosnost na 10 m je 2250 kg. Maximální úvazná síla u pacholat je uvažována jako 60 kN.



Obr. 44 Detail betonového plováku

Ostatní konstrukce jako zábradlí, nástupní lávka nebo zádržná konstrukce jsou obdobné jako u předchozího mola v Purkarci.

Nedaleko od Přístavu Hluboká nad Vltavou se nachází ještě jedno betonové molo, které slouží jako přístaviště pro osobní lodní dopravu. Toto přístaviště je tvořeno dvěma betonovými moly obdélníkového půdorysu, které jsou vzájemně spojeny na delší straně. Půdorysné rozměry dílců jsou přibližně 2,5 m x 10 m.



Obr. 45 Molo pro osobní lodní přepravu Hluboká nad Vltavou

U tohoto mola je použit velmi zajímavý systém spojování. Dílce jsou propojeny pevným spojem, který neumožňuje jejich vzájemné natočení. To je výhodné zejména z hlediska stability, protože dílce spolupůsobí jako celek. Tento spoj je realizován na vnější straně dílců pomocí dvou ocelových destiček, které jsou přes sebe překryty do tvaru X. Destičky jsou k dílci připojeny čtveřicí šroubů. Vzhledem k systému



Obr. 46 Detail spoje

spojování z boku tento způsob nelze využít pro plošné spojování. Z toho důvodu je pro námi navrhovaný prvek nevhodný.

Molo je upevněno k břehu pomocí dvojice ocelových lan, která se aktivují po napnutí a nedovolí větší posun mola. Nástupní lávka slouží pravděpodobně zároveň jako rozpěra, která vymezuje vzdálenost mezi molem a břehem. Zajímavé je také, že na molu není povolen vstup na celou jeho plochu, ale jen na potřebné úseky. Tímto způsobem je pravděpodobně omezeno množství lidí, které může na molu současně být.

Zábradlí je zde řešeno stejným systémem jako u předchozích mol, ale není připevněno z boku prvku, ale do jeho desky. Tento způsob je velmi podobný námi požadovanému a je možné se z něho inspirovat.

Na informační desce je napsáno, že maximální zatížení mola včetně přístupní lávky je 60 osob nebo celková hmotnost 15 tun.

3.2.3. Au an der Donau

Přístaviště v Rakouském Au na Dunaji slouží pro kotvení malých zejména sportovních plavidel. Nachází se zde dvě samostatná betonová mola. Obě tato mola jsou tvořena velmi podobnou konstrukcí. Jedno betonové molo se nachází přibližně v polovině přístavu a rozděluje přístaviště na dvě části.



Obr. 47 Letecký pohled na přístaviště v Au an der Donau – převzato z webu www.myc-au.at [28]

Druhé betonové molo se nachází u břehu (na leteckém pohledu vlevo dole).

Půdorysné rozměry dílců betonového mola jsou přibližně 10 m x 2,5 m. Jednotlivé dílce jsou spojeny na kratších stranách kloubovým spojem. Dílce tvoří linii dlouhou cca 50 m. K dílcům jsou kolmo na delší stranu připojeny kratší betonové segmenty, které slouží jako přístup k plavidlům. Tyto dílce jsou rovněž připojeny pomocí kloubového přípoje.



Obr. 48 Přístaviště v Au an der Donau – převzato z webu www.myc-au.at [28]

Přípoj je proveden z ocelového jákelu, který je vložen mezi jednotlivé dílce. Jákel je na konci propojen pomocí šroubu k ocelovým deskám, které jsou šrouby upevněny na betonový

prvek. Přístup ke spoji je z boku betonových dílců, což znemožňuje propojení jednotlivých dílů do plochy.

Zajímavostí je, že celé molo uprostřed přístaviště nemá žádnou viditelnou konstrukci proti odplavání. Skupina je připevněna pouze na kraji pomocí úvazných lan. Je možné, že jsou jednotlivé dílce uvázány ke kotvám nebo přímo ke dnu, což



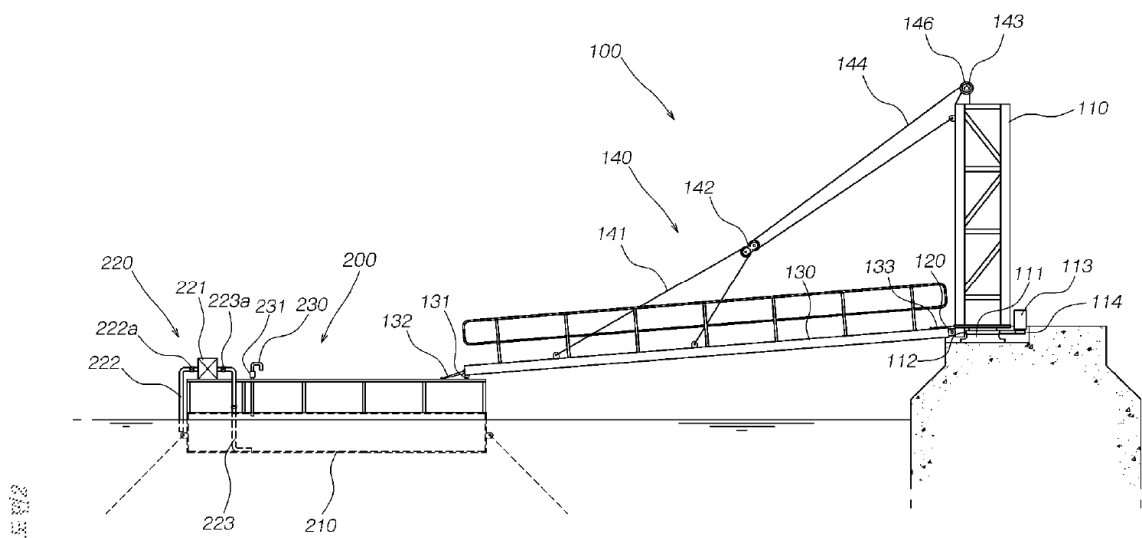
Obr. 49 Detail spojování betonových dílců

zamezí jejich odplutí. Konstrukce zábradlí je připojena k betonovému prvku z boku, což není vhodné z hlediska plošného spojování.

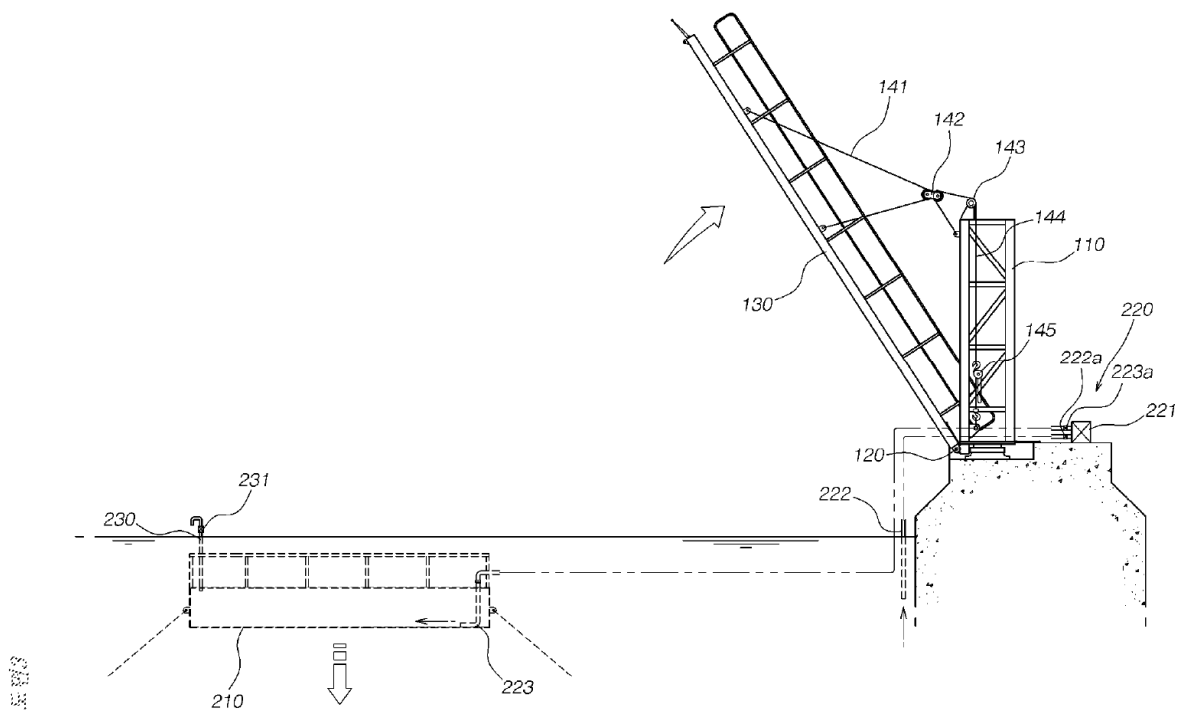
3.3. Příklady ponorných betonových mol

V České republice se žádný příklad ponorného mola z betonu nalézt nepodařilo. V rámci přípravy patentové přihlášky bylo nutné zpracovat stav techniky v oblasti ponorných mol. Právě při zpracovávání stavu techniky byly nalezeny dva systémy ponorných betonových mol, které jsou patentovány. Velkým rozdílem oproti našemu systému je však skutečnost, že u obou případů tvoří molo betonová uzavřená skořepina, která je uvnitř dutá a k potopení dojde zaplavením této dutiny.

Prvním příkladem je korejský patent č. KR101550453 [23]. Název patentu je Submerging type floating pier having bridge (Ponorný typ plovoucího mola s mostem). U tohoto patentu je přeložen do angličtiny pouze abstrakt, zbytek dokumentu je v korejštině. Z toho důvodu nebylo možné dokument důkladně prostudovat. Funkce mola je však patrná z obrázků. Z abstraktu lze vyčíst, že konstrukce je tvořena ze skořepiny, kterou lze naplnit vodou a tím molo potopit. Konstrukce slouží jako pochozí molo pro chodce a potopením lze předcházet většímu poškození od jiných plovoucích objektů nebo jeho samotnému odnesení.



Obr. 50 Systém patentovaného korejského mola KR101550453 (plovoucí stav) - převzato z webu www.worldwide.espacenet.com [23]



Obr. 51 Systém patentovaného korejského mola KR101550453 (ponořený stav) - převzato z webu www.worldwide.espacenet.com [23]

Potopení mola naplněním jeho dutiny vodou není vhodné. Zejména je to kvůli tomu, že voda pochází z okolní vodní plochy a není proto čistá. Tento patent byl vyvinut zejména pro použití na moři. Mořská voda je velmi agresivní a pro beton škodlivá, zejména v kombinaci

s účinky mrazu. Dlouhodobé vystavování betonu tomuto prostředí naplňováním a vypouštěním dutiny vede k jeho degradaci. Uzavřená dutina je velmi slabé místo z toho důvodu, že ji není možné nijak zkontrolovat. Při napouštění může dojít také k nasátí cizích těles do vnitřního prostoru, popř. k ucpání napouštěcího otvoru.

Druhým příkladem je americký patent č. US4938629 [24]. Název patentu je Floatable and sinkable wharf structure (Plovoucí a ponorná přístavní konstrukce). Tento patent je velmi podobný předešlému systému. Opět jde o betonovou skořepinu, která se pro potopení musí nechat zatopit.

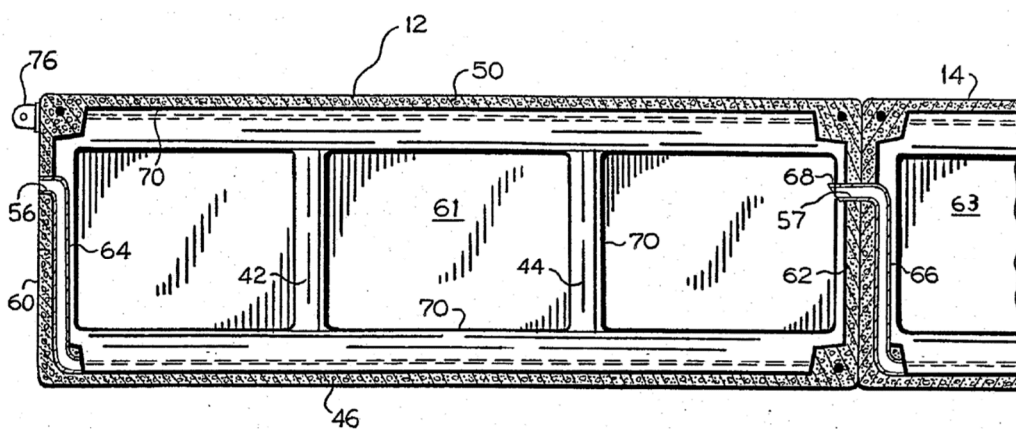


FIGURE 5

Obr. 52 Podélný řez patentovaným americkým molem US4938629 – převzato z webu www.worldwide.espacenet.com [24]

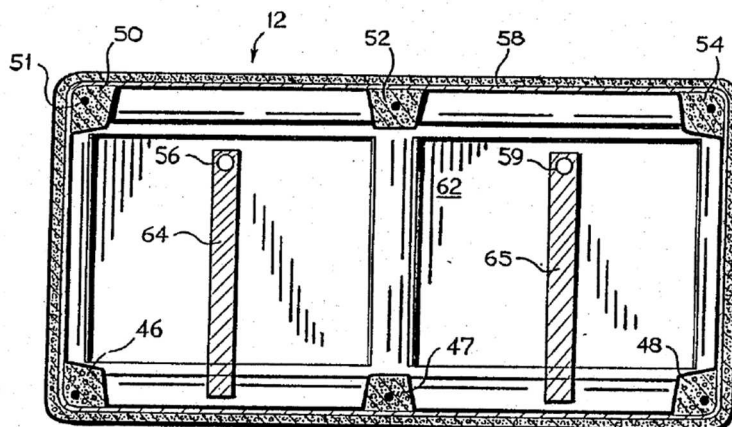


FIGURE 6

Obr. 53 Příčný řez patentovaným americkým molem US4938629 – převzato z webu www.worldwide.espacenet.com [24]

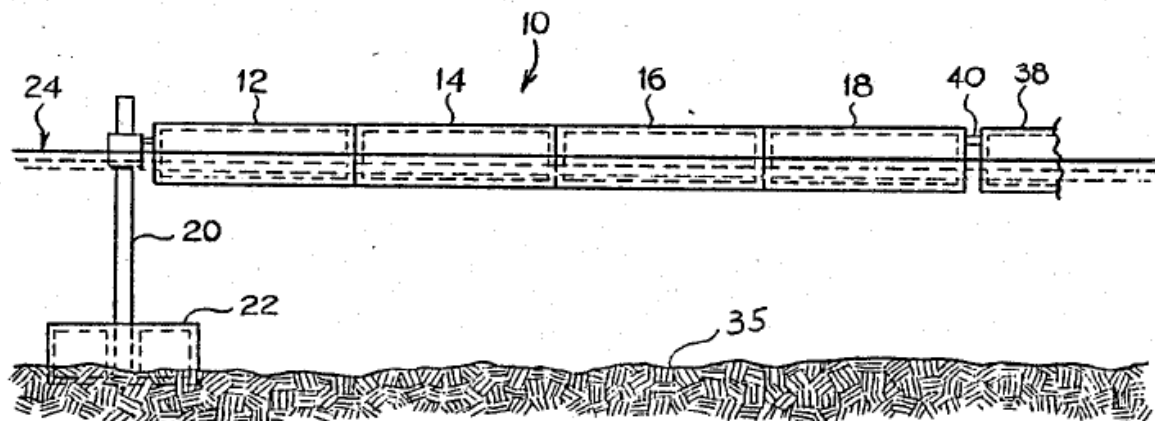


FIGURE 1

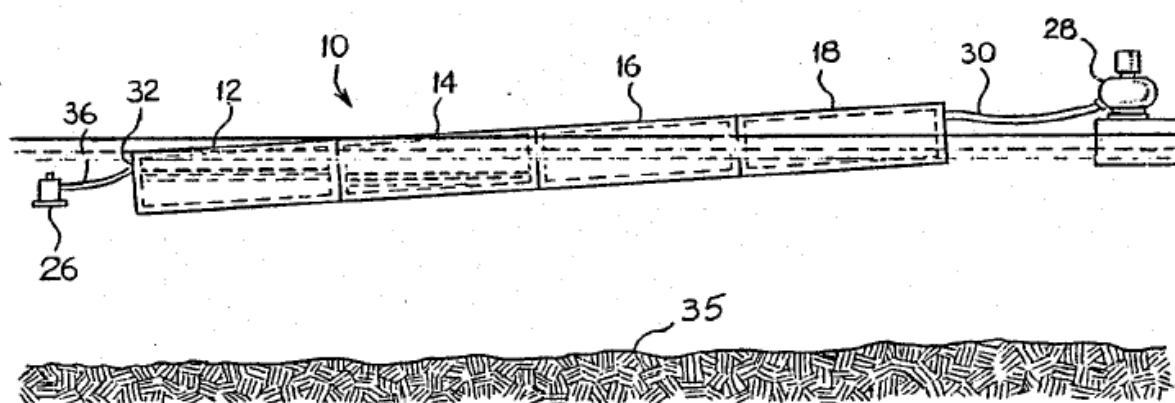


FIGURE 2

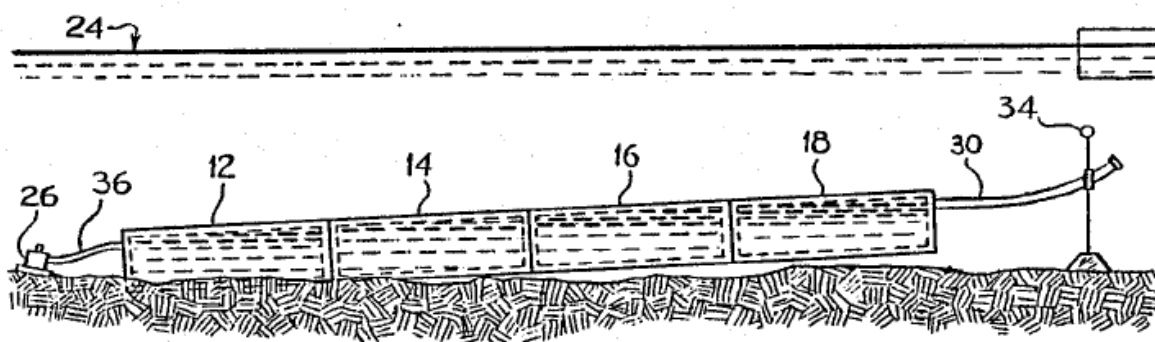


FIGURE 3

Obr. 54 Schémata použití patentovaného amerického mola US4938629 – převzato z webu www.worldwide.espacenet.com [24]

Propojování jednotlivých segmentů je u tohoto systému realizováno pomocí ohybově tuhého spoje. U tohoto typu spoje hrozí, že při nerovnovážném stavu (např. vlny) bude vznikat velké namáhání, které může vést až k porušení konstrukce. Segmenty jsou zároveň vzájemně propojené také potrubím. V tom případě hrozí nebezpečí ucpání potrubí. Vlivem tohoto ucpání

by nebylo možné skupinu prvků potopit. Tento systém má sloužit pro spojování do liniových celků.

Nebyly nalezeny žádné reálně použité příklady provedení těchto systémů. Z uvedených příkladů lze načerpat inspiraci a některé dílčí konstrukce lze použít u mola, kterému se věnuje tato práce. Naopak je nutné se snažit všechny nevýhody, které tyto příklady mají, eliminovat a vytvořit tak ještě lepší systém ponorných mol.

4. Chování plovoucích těles

Ještě před samotným návrhem prvků je nutné se zabývat obecným chováním libovolného tělesa v kapalině. V následující kapitole budou vysvětleny jednotlivé okruhy hydrauliky, které je nutné pochopit pro správný návrh ponorného prvku. Tyto okruhy byly použity pro návrh jednotlivých konstrukcí. Vlastní návrh je popsán zejména v kapitole 6. Návrh řešení ponorného prvku.

4.1. Archimédův zákon

Archimédův zákon je jedním ze základních zákonů celé fyziky. Pojednává o plovoucích tělesech a definuje, za jakých podmínek je možno těleso nazývat jako plovoucí. Je pojmenován po řeckém fyzikovi a matematikovi Archimédovi [33], který jako první tento zákon definoval. Jeho definice zní: „*Těleso ponořené do tekutiny, která je v klidu, je nadlehčováno silou rovnající se tíze tekutiny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa.*“ Zákon platí obecně pro tekutiny, tj. pro kapaliny i pro plyny (pro tuto práci je klíčová část kapalin).

V Ottově naučném slovníku XIX. z roku 1902 [16] můžeme pod termínem plování naléznout následující definici: „*Podle zákona Archimédova těleso ponořené do nějakého prostředí nadlehčováno jest silou, která se rovná váze ústředí tělesem vytlačeného. Kus dřeva ponořený pod vodu vyplyne na povrch vody tímto vztlakem a ustálí se tak, že část dřeva jest pod vodou, část nad hladinou vodní. Rovnováha tato nastane právě tehdy, když váha dřeva rovná se onomu vztlaku, tj. váze vody ponořenou částí dřeva vytlačené.*“

Jinými slovy při zkoumání plovatelnosti na každé ponořené těleso působí dvě síly ve svislém směru. První silou je síla gravitační neboli tíhová F_G , která je způsobena gravitačním

zrychlením. Tato síla působí směrem dolů do středu objektu, který toto gravitační zrychlení způsobuje (v našem případě Země). Velikost gravitační síly se určí ze vztahu:

$$F_G = m \cdot g = g \cdot \rho_t \cdot V_{ct} \quad (1)$$

kde: F_G je gravitační síla,

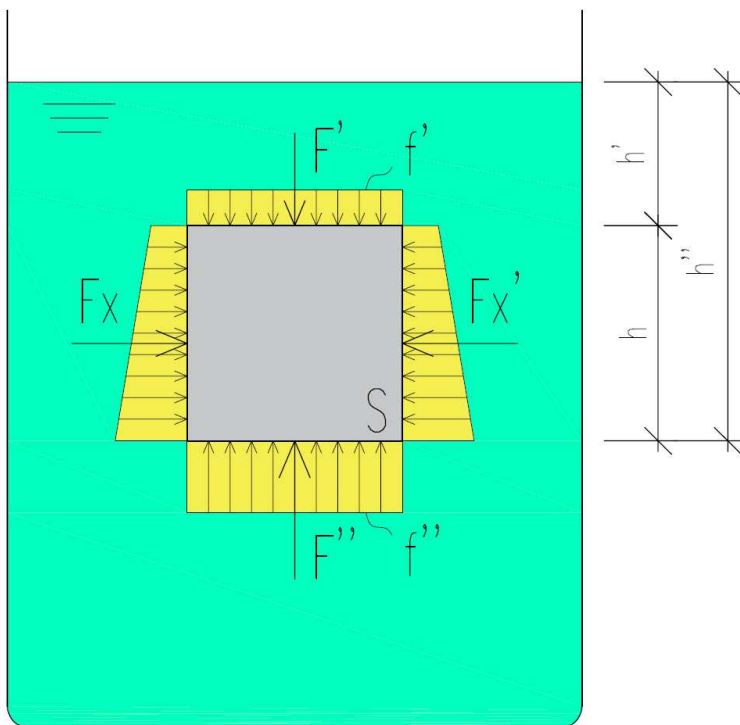
g je gravitační zrychlení,

ρ_t je objemová hmotnost tělesa,

V_{ct} je celkový objem tělesa.

Druhou silou, která na ponořené těleso působí je síla vztlková F_{VZ} . Tato síla je způsobena rozdílem hydrostatických tlaků na spodní a horní části ponořeného tělesa. Hydrostatický tlak ponořeného tělesa je větší na spodní části (více ponořené), než na horní části (méně ponořené).

Velikost vztlkové síly je odvozena z rozdílu hydrostatických tlaků působících ve svislém směru f' a f'' . Působení hydrostatických tlaků lze zjednodušeně nahradit silami F' a F'' , které jsou součinem hydrostatického tlaku na daném povrchu a plochou tohoto povrchu S . Hloubky jednotlivých povrchů lze značit jako h' a h'' . Rozdíl těchto hloubek je samotná výška ponořeného tělesa h . Vodorovné složky vztlkové síly F_x a F_x' mají stejnou velikost a



Obr. 55 Schéma působících sil na ponořené těleso

působí proti sobě. Z toho důvodu se účinek vodorovných sil vzájemně vyruší ($F_x = F_x' = 0$).

Velikost vztlkové síly je tedy dána rozdílem působících sil na obou plochách:

$$F_{VZ} = F' - F'' \quad (2)$$

Jednotlivé síly F' a F'' lze vyjádřit následovně:

$$F' = S_p \cdot h' \cdot \rho_k \cdot g \quad (3)$$

$$F'' = S_p \cdot h'' \cdot \rho_k \cdot g \quad (4)$$

Po dosazení do sil F' a F'' do původní rovnice dostaneme následující vztah:

$$F_{VZ} = (h' - h'') \cdot \rho_k \cdot g \cdot S_p \quad (5)$$

$$F_{VZ} = \rho_k \cdot g \cdot V_{pt} \quad (6)$$

kde: F_{VZ} je vztlaková síla,

F' je síla vyvolaná hydrostatickým tlakem působícím při horním povrchu,

F'' je síla vyvolaná hydrostatickým tlakem působícím při dolním povrchu,

h' je vzdálenost od úrovně vodní hladiny k hornímu povrchu,

h'' je vzdálenost od úrovně vodní hladiny k dolnímu povrchu,

h je výška ponořeného tělesa,

ρ_k je hustota kapaliny,

g je gravitační zrychlení,

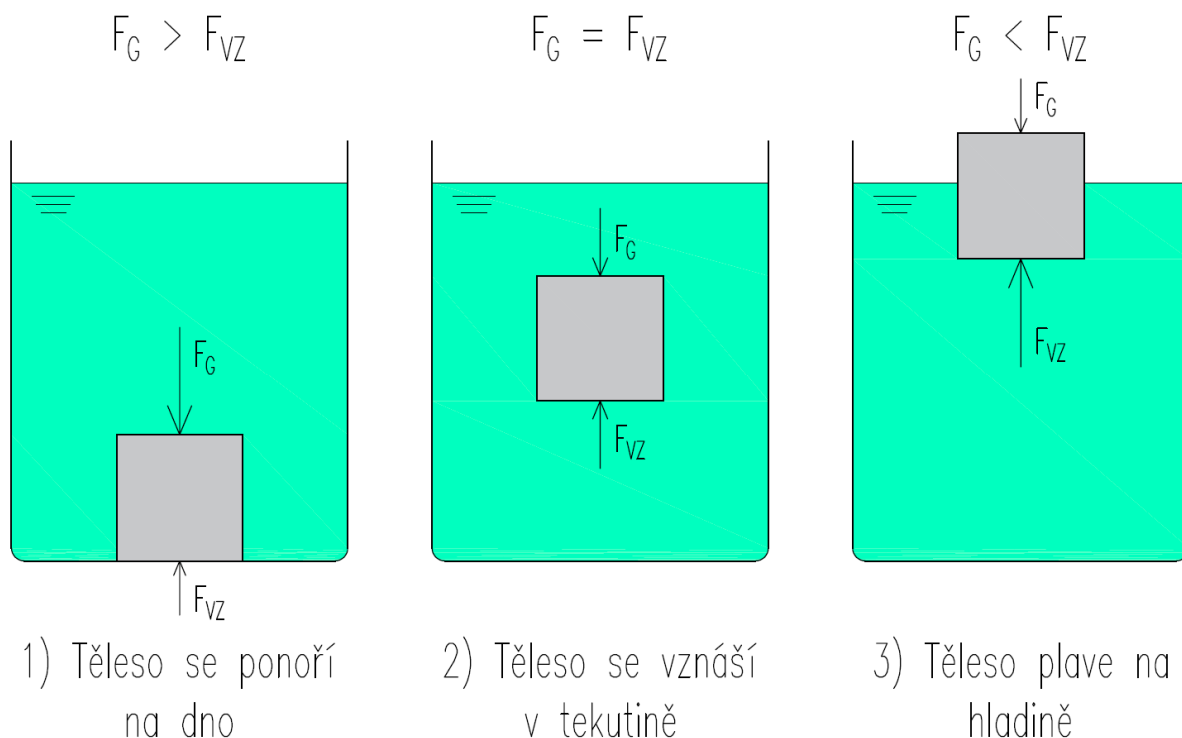
S_p je obsah povrchů (uvažován konstantní po celé výšce),

V_{pt} je ponořený objem tělesa.

Z tohoto odvození je patrné, že velikost působící vztlakové síly není závislá na celkovému objemu kapaliny, hmotnosti ponořeného tělesa nebo jeho hustotě.

Po ponoření tělesa do kapaliny mohou nastat tři různé stavy, které jsou ovlivněné poměrem velikostí mezi tíhovou a vztlakovou silou. První stav nastane, pokud je gravitační síla větší než síla vztlaková $F_G > F_{VZ}$ ($\rho_t > \rho_k$). V tomto případě dojde k ponoření tělesa na dno. Druhý stav je spíše teoretický a v přírodě je raritou. Tento stav nastane, pokud se velikost gravitační síly rovná vztlakové síle $F_G = F_{VZ}$ ($\rho_t = \rho_k$). V tomto případě ponořené těleso zůstává ve své pozici (neplave ani se neponoří). Třetí stav nastane, pokud je gravitační síla menší než vztlaková síla $F_G < F_{VZ}$ ($\rho_t < \rho_k$). Při tomto stavu dojde k vyplavání ponořeného tělesa na

hladinu. Část tělesa se dostane nad úroveň vodní hladiny a část zůstane ponořena. Celkový objem je tedy rozdělen na ponořený objem tělesa a vynořený objem tělesa.



Obr. 56 Stav, které mohou nastat po ponoření tělesa do tekutiny

U prvního a druhého stavu je v tekutině ponořené těleso v celém objemu, tudíž je celkový objem shodný s ponořeným objemem ($V_{ct} = V_{pt}$). Pokud těleso plave na hladině, tak ponořený objem představuje pouze část celkového objemu tělesa ($V_{ct} \neq V_{pt}$). Zbytek celkového objemu tělesa tvoří vynořená část nad hladinou. Poměrem mezi celkovým objemem V_{ct} a ponořeným objemem V_{pt} lze dostat hloubku ponoru tělesa h_{pt} . Hloubku ponoru tělesa h_{pt} lze odvodit, pokud položíme vztlakovou sílu rovnu síle gravitační následovně:

$$F_G = F_{VZ} \quad (7)$$

$$\vartheta \cdot \rho_t \cdot V_{ct} = \rho_k \cdot \vartheta \cdot V_{pt} \quad (8)$$

$$V_{pt} = \frac{V_{ct} \cdot \rho_t}{\rho_k} \quad (9)$$

Pokud má ponořené těleso po celé své výšce konstantní plochu podstavy S , tak lze hloubku ponoru h_{pt} vyjádřit následujícím vztahem:

$$V_{pt} = S_p \cdot h_{pt} \quad (10)$$

Rovnice pro hloubku ponoru tělesa h_{pt} je po dosažení do původní rovnice následovná:

$$h_{pt} = \frac{V_{ct} \cdot \rho_t}{\rho_k \cdot S_p} \quad (11)$$

kde: F_{VZ} je vztlaková síla,

F_G je gravitační (tíhová) síla,

h_{pt} je hloubka ponoru tělesa,

ρ_k je hustota kapaliny,

ρ_t je hustota tělesa,

V_{ct} je celkový objem tělesa,

V_{pt} je ponořený objem tělesa,

S_p je obsah povrchů (uvažován konstantní po celé výšce),

g je gravitační zrychlení,

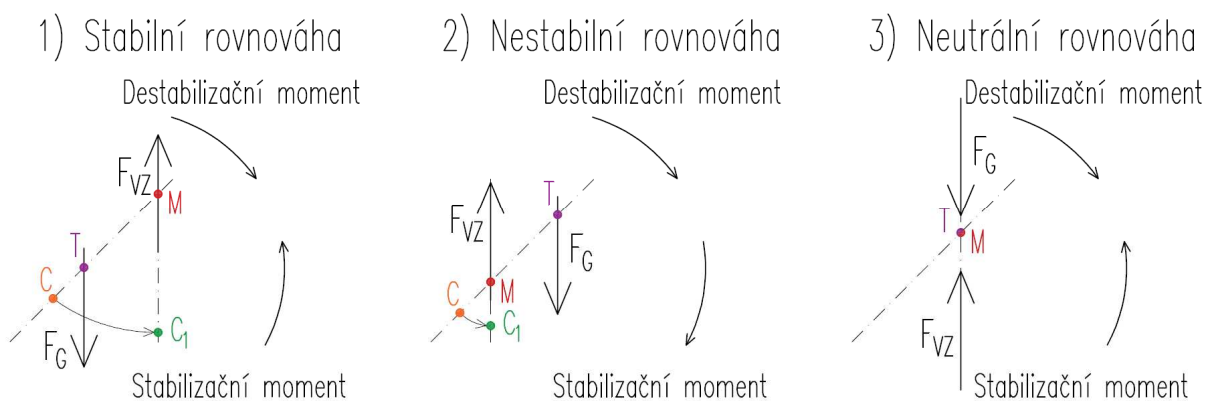
Pokud je třeba navrhnout těleso, jehož funkce je plavat na hladině, tak je nutné, aby byla vztlaková síla větší než síla gravitační. Pokud je navrhováno těleso, které má být trvale u dna, tak musí jeho gravitační síla větší než síla vztlaková. U námi navrhovaného prvku je třeba využít obou těchto skutečností. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [3] a [8].

4.2. Stabilita plovoucích těles

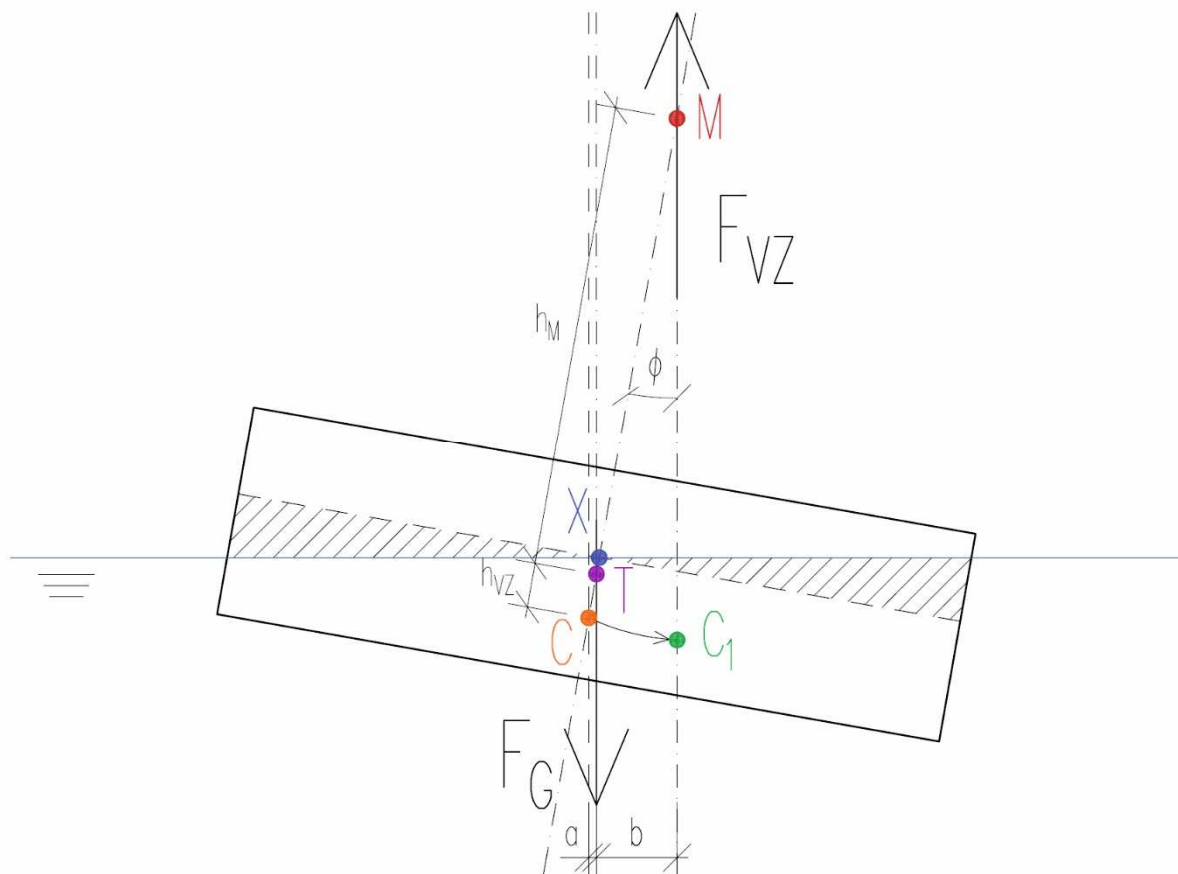
Po ponoření tělesa do kapaliny, na které působí vztlaková síla větším účinkem než síla gravitační, dojde k jeho vynoření na vodní hladinu. Po vynoření se těleso za nějaký čas ustálí a pokud na něj nepůsobí žádná jiná síla, tak plave rovnoměrně a bez náklonů. Obecně tedy těleso plave stabilně, pokud se po působení vnější síly navrátí do původní polohy.

Navrácení do původní polohy je důsledkem působení tzv. vratného momentu. Vratný moment je tvořen dvojicí sil, které působí proti sobě na vodorovné vzdálenosti mezi metacentrem M a těžištěm tělesa T . Metacentrum M leží v ose, která prochází těžištěm tělesa T a je působištěm vztlakové síly F_{VZ} . Vzdálenost mezi metacentrem M a těžištěm tělesa T je definována metacentrickou výškou h_M . Pokud se poloha metacentra M nachází nad úrovní

těžiště tělesa T , pak po vychýlení začne na těleso působit vratný moment a dochází ke stabilizaci do původní polohy. Tento stabilitní jev se nazývá stabilní rovnováha. V opačném případě, pokud se poloha metacentra M nachází pod úrovní těžiště T , pak je vychýlení natolik velké, že dojde k převrácení tělesa (v podstatě začne působit stabilizační moment ve shodném směru s destabilizačním úhlem). Těleso se poté stabilizuje na vodní hladině, ale ne v původní pozici, ale převrácené. Tento stabilitní jev se nazývá nestabilní rovnováha. Dále může také nastat tzv. neutrální stabilita. Tento jev je pouze teoretický a znamenal by, že poloha metacentra M je shodná s úrovní těžiště T . V tom případě má těleso nulovou metacentrickou výšku h_M a působí na něho dva stejně velké momenty s opačným směrem. Prvním momentem je destabilizační moment způsobený vychýlením. Druhý moment je stabilizační. Těleso zůstává ve vychýlené poloze, ale jakékoliv vychýlení vede buď ke stabilní rovnováze nebo nestabilní rovnováze (záleží v jakém směru k vychýlení dojde).



Obr. 57 Možné situace po bočním vychýlení prvku



Obr. 58 Působící síly při bočním vychýlení prvku

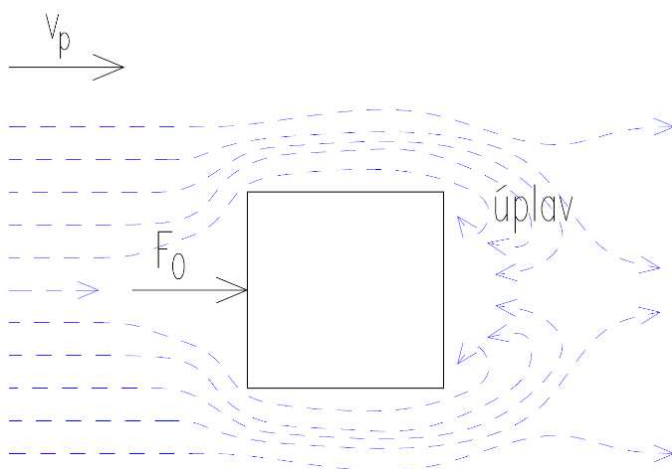
Se zvětšující se výchylnou se snižuje úroveň metacentra M . Působíště C se poté přesune do bodu C_1 . Celkovou stabilitu lze zlepšit zvětšením metacentrické výšky h_M (zejména zvětšením půdorysných rozměrů prvku a tím momentu setrvačnosti plavební plochy) nebo snížením úrovně těžiště tělesa T . Vzdálenost mezi body C a T se nazývá vztaková výška h_{VZ} . Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [3] a [8].

4.3. Ponořená tělesa při proudění

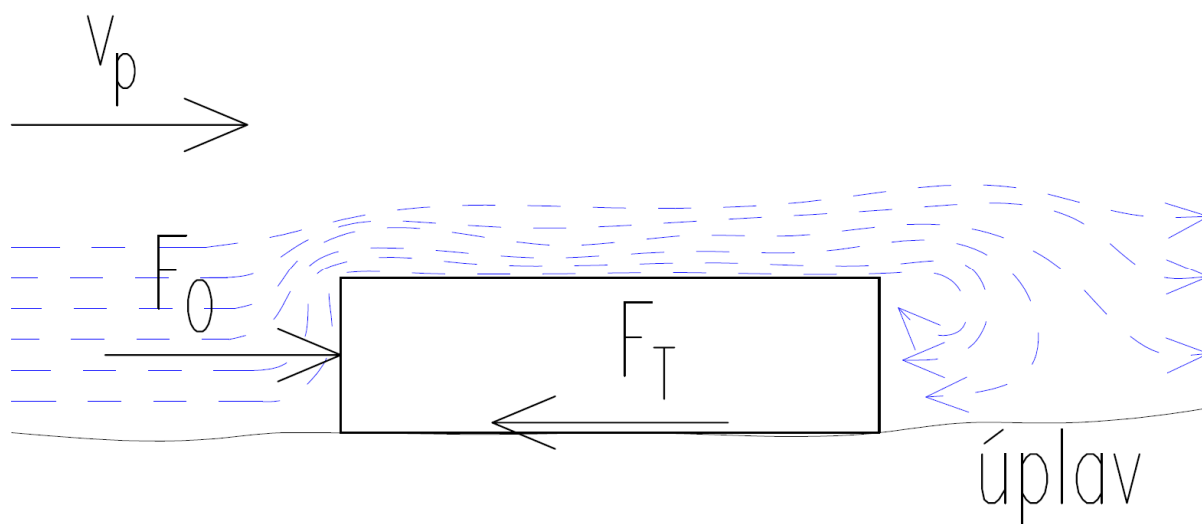
Námi navrhovaný prvek se po vypuštění vzduchového vaku ponoří ke dnu, kde bude do doby, než opět dojde k napuštění vaku. Po dobu, po kterou bude prvek u dna na něj budou působit různé síly. Obecně lze říci, že pokud stojí v proudící tekutině nějaká překážka, tak ji tekutina obtéká. Vlivem odporu prostředí, které bude okolo prvku v pohybu, vzniká odporová síla F_o , která na prvek působí. Odporová síla F_o působí na stěnu prvku, do které naráží proudnice a snaží se prvek uvést do pohybu ve směru proudění. Proti účinku odporové síly

působí třecí síla F_T , která se jej snaží udržet na svém místě. Velikost třecí síly F_T je dána hmotností prvku, třecím součinitelem mezi dnem a povrchem prvku.

Vzhledem k rychlostem proudící tekutiny okolo stojícího prvku rozeznáváme dva druhy proudění, které mají vliv na určení velikosti odporové síly. Při menších rychlostech tekutiny vzhledem k prvku vzniká laminární proudění, při kterém je odporová síla F_O malá a její velikost je přímo úměrná relativní rychlosti v_p . Prvek nemá vhodný hydrodynamický tvar a jelikož je nutné brát v potaz vyšší rychlosti proudění při povodni, tak bude docházet k turbulentnímu proudění.



Obr. 59 Pravděpodobné obtékání tělesa při turbulentním proudění – pohled shora



Obr. 60 Pravděpodobné obtékání tělesa při turbulentním proudění – pohled z boku

V důsledku vznikajících vírů je odporová síla značně velká a její velikost vzrůstá s druhou mocninou relativní rychlosti v_p . Celková velikost odporové síly má dvě složky. První je tlaková složka, která vzniká nárazem proudnice toku do čelní stěny tělesa. Druhou složkou tření, které vzniká mezi proudící tekutinou a bočními stěnami prvku. U námi navrhovaného prvku je výrazně dominantní složka tlaková, a proto bude třecí složka zanedbána. Pro velikost

odporové síly F_O v turbulentním prostředí platí následující vztah (platí primárně pro proudění v uzavřeném profilu, např. v potrubí, pro proudění v otevřeném korytu jej použijeme pouze pro odhad):

$$F_O = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho_k \cdot S_p \cdot v_p^2 \quad (12)$$

kde: F_O je odporová síla,

C je součinitel odporu,

ρ_k je hustota kapaliny,

S_p je obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu (obsah stěny prvku),

v_p je relativní rychlost.

Důležitým krokem je zavést správný součinitel odporu. Ten by měl pro objekt tvaru kvádra odpovídat hodnotě $C = 1,07$.

Velikost třecí síly mezi prvkem a dnem je dána následujícím vztahem:

$$F_T = \mu \cdot (F_G - F_{VZ}) \quad (13)$$

kde: F_T je třecí síla,

μ je třecí součinitel,

F_G je gravitační síla,

F_{VZ} je vztlaková síla.

Velikost třecí síly mezi ponořeným prvkem a dnem toku je dána rozdílem mezi gravitační silou F_G a vztlakovou silou F_{VZ} přenásobeným součinitelem tření μ . Velikost součinitele tření je dána drsností materiálu obou povrchů. Dno toku by při použití celého systému mělo být upravené. Z důvodu neznalosti přesnějších údajů bude uvažována hodnota tření mezi dvěma hladkými betonovými povrchy, která se rovná přibližně $\mu = 0,6$.

Pokud položíme odporovou sílu F_O a třecí sílu F_T rovny, pak lze odvodit limitní rychlost proudění $v_{p,l}$. Pokud rychlost proudění přesáhne vypočtenou limitní rychlost proudění $v_{p,l}$, tak dojde k pohybu prvku v toku a jeho odnesení. Odvození limitní rychlosti proudění vypadá následovně:

$$F_O = F_T \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho_k \cdot S_p \cdot v_{p,l}^2 = \mu \cdot (F_G - F_{VZ}) \quad (15)$$

$$v_{p,l} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot (F_G - F_{VZ})}{C \cdot \rho_k \cdot S_p}} \quad (16)$$

- kde: C je součinitel odporu,
 ρ_k je hustota kapaliny,
 S_p je obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu (obsah stěny prvku),
 $v_{p,l}$ je limitní rychlost proudění,
 μ je třecí součinitel,
 F_G je gravitační síla,
 F_{VZ} je vztlaková síla.

Nyní lze provést konkrétní výpočet limitní rychlosti proudění $v_{p,l}$. Odvození výpočtu gravitační síly F_G a vztlakové síly F_{VZ} byly provedeny v kapitole 4.1. Archimédův zákon. Hmotnost prvku bude zjednodušeně uvažována jako $m = 5200$ kg. Velikost gravitačního zrychlení bude uvažována jako $g = 9,814$ m/s².

Velikost gravitační síly působící na těleso je:

$$F_G = m \cdot g \quad (17)$$

$$F_G = 5\,200 \cdot 9,814 \quad (18)$$

$$F_G = 51,033 \text{ kN} \quad (19)$$

- kde: F_G je gravitační síla,
 m je hmotnost prvku,
 g je gravitační zrychlení.

Pro výpočet vztlakové síly bude uvažována hustota kapaliny $\rho_k = 998 \text{ kg/m}^3$. Objem ponořeného prvku bude zjednodušeně uvažován jako $V_{pt} = 1,9 \text{ m}^3$. Velikost vztlakové síly ponořeného prvku s vypuštěným vzduchovým vakem je:

$$F_{VZ} = \rho_k \cdot g \cdot V_{pt} \quad (20)$$

$$F_{VZ} = 998 \cdot 9,814 \cdot 1,9 \quad (21)$$

$$F_{VZ} = 18,609 \text{ kN} \quad (22)$$

kde: F_{VZ} je vztlaková síla,

ρ_k je hustota kapaliny,

g je gravitační zrychlení,

V_{pt} je ponořený objem tělesa.

Plocha S_p , na kterou působí tlak proudu je rovna ploše stěny prvku. Lze tedy uvažovat $S_p = 3,135 \text{ m}^2$. Po dosazení do odvozeného vztahu pro výpočet limitní rychlosti proudění $v_{p,l}$ dostaneme následující:

$$v_{p,l} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,6 \cdot (51,033 - 18,609)}{1,07 \cdot 998 \cdot 3,135}} \quad (23)$$

$$v_{p,l} = 3,409 \text{ m/s} \quad (24)$$

kde: $v_{p,l}$ je limitní rychlost proudění.

Pokud tedy bude rychlost proudění vody u dna větší než limitní rychlost proudění $v_{p,l} = 3,409 \text{ m/s}$ (12,3 km/h), dojde k posouvání tělesa po dně a k postupnému odplavání. Tato hodnota je relativně vysoká, při povodňovém stavu však může být dosažena. Proto bude muset být navržen záchytný systém, který udrží ponořené prvky na svém místě po celou dobu. Tato hodnota byla ověřena hydraulickou zkouškou, jejíž výsledky se nachází v kapitole 8.5. Určení maximální rychlosti, při které nedojde k odplavání ponořeného prvku. Při této zkoušce byla limitní rychlost naměřena hodnotou cca 0,6 m/s v modelu 1:10. U reálného prvku v měřítku 1:1 se jedná o rychlost cca 1,9 m/s (6,84 km/h). Tato rychlost je téměř poloviční oproti vypočtené hodnotě, což potvrzuje nutnost návrhu záchytného systému. Tento rozdíl je způsoben zejména

rozdílným součinitelem tření při zkouškách (hladké plechové dno zkušebního žlabu) než uvažovaný součinitel při výpočtech, menší objemovou hmotností zkušebního prvku, než reálného prvku a použitím zjednodušeného vztahu, který pro určování této rychlosti neplatí zcela přesně. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [4], [5], [6], [7] a [46].

5. Popis materiálů a konstrukcí prvku

V této kapitole budou popsány jednotlivé materiály a konstrukce, které byly u prvku navrženy. Jedná se o materiály a konstrukce, ze kterých bude vyroben samotný betonový prvek a vzduchový vak. Dále budou popsány materiály a konstrukce pro ostatní konstrukce jako nástupní lávka, úvazné prvky a nárazníky.

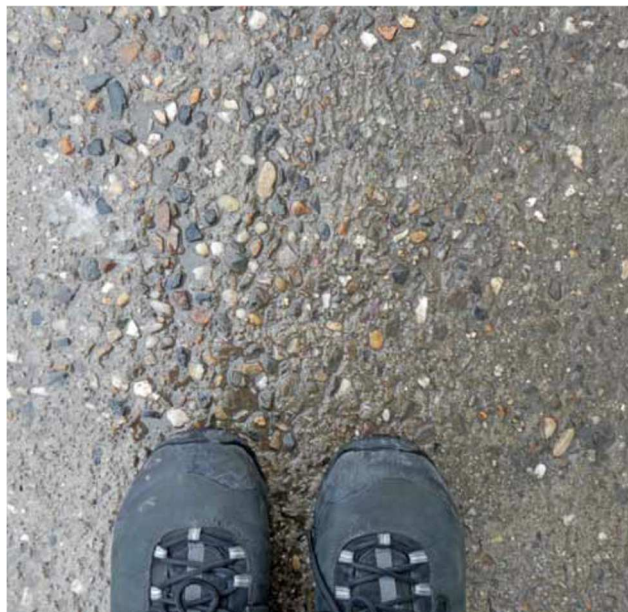
5.1. Materiály a konstrukce pro výrobu vláknobetonového prvku

Samotná betonová skořepina je základní částí celého prvku. Důležité je nejprve upozornit na prostředí, kterému bude tento prvek vystaven, aby poté bylo možné zvolit správný materiál pro jeho výrobu. Ponorné betonové molo je v této práci navrhováno pro umístění u pražské náplavky, konkrétně u Rašínova nábřeží. Celé molo bude po většinu času plavat na hladině, takže část prvku bude trvale pod vodou, část prvku bude nad vodou. Při jeho zatížení dojde k dočasnému ponoření určitého dílu vynořené části a část prvku bude trvale nad úrovní vodní hladiny. Dále je možné molo celé ponořit. Pro prvek připadají v úvahu dvě materiálová provedení, první variantou je použití železobetonu s rozptýlenými vlákny, druhou variantou je použití UHPC (Ultra-High Performance Concrete) = Ultra-vysokopevnostního betonu. Obě tyto varianty budou podrobně popsány v následujících kapitolách.

5.1.1. Prostředí navrhovaného prvku

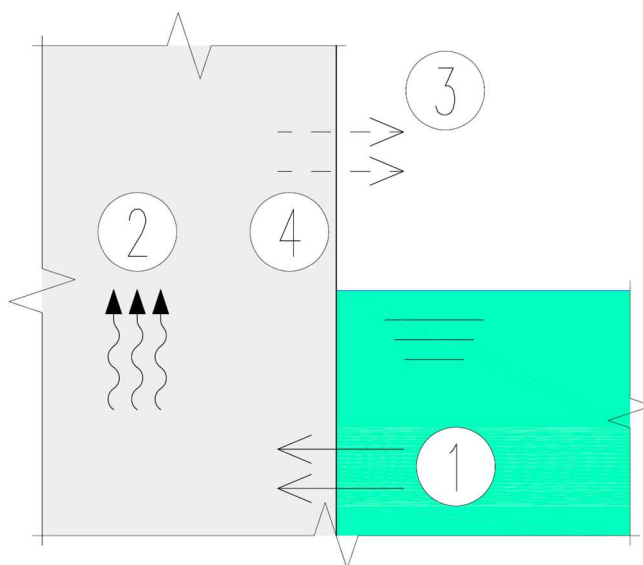
Navrhovaný betonový prvek bude tedy trvale vystaven působení vody na jeho povrch. Jelikož se jedná o vodu z řeky, tak je nutné zohlednit všechny nečistoty, které obsahuje. Tyto nečistoty jsou zejména chemické rozmrazovací látky (CHRL), které jsou v zimním období aplikovány na silnice a mosty. V období tání sněhu se CHRL dostanou spolu s vodou do řeky.

Další látky, které kontaminují říční vodu a které musí být prvek vystaven jsou látky spojené s automobilovým provozem, např. odkapávající motorový olej, odstříkující voda do ostříkovačů apod. Podobné látky jako u automobilového provozu lze očekávat také od lodní dopravy. Samozřejmě je množství těchto znečišťujících látek poměrně malé vzhledem k velkým průtokům ve Vltavě. Z toho důvodu se znečišťující látky rozptýlí a prvek není vystaven až tak velmi agresivnímu prostředí, jako jsou např. mostní konstrukce. U břehu kotviště prvků však může s ohledem na omezení průtoku vody docházet k hromadění znečištění a prvek musí být na tyto skutečnosti navržen, aby nedošlo k jeho degradaci, popř. snížené životnosti.



Obr. 61 Povrch betonu porušený mrazem a rozmrazovacími prostředky – převzato z časopisu *Materiály pro stavbu 4/2013, str. 32 [20]*

V knize *Životnost betonových staveb [10]* v kapitole *Ponoření betonu ve vodě* lze najít následující: „V případě kontinuálního ponořování konstrukce ve větším množství vody za nepříznivých podmínek dochází k pohybu vody v pórech a kapilárách betonu. Průsak vody se převážně uskutečňuje kapilární vztlávaností a posléze akceleruje zvyšování hydraulického tlaku způsobeného vodním sloupcem při ponoření. Plynulý pohyb vody se rozvíjí pouze tehdy, když se vodě umožní odpařování z povrchu betonu vystaveného účinkům vzduchu. Intenzita pohybu vody závisí na vztahu mezi



Obr. 62 Vlivy při ponoření betonu ve vodě:

1 - vsakování vody hydraulickým tlakem a kapilární vztlávaností,
 2 - pohyb vody a rozpuštěných látek, 3 - odpařování vody,
 4 - krystalizace z roztoku obohaceného v zóně odpařování
 odpařováním, kapilární vztlávaností a hydraulickým tlakem. Rozpuštěné látky (např. chloridy a sírany) jsou dopravovány vodou. Voda se z roztoků těchto solí odpařuje, a to vede ke zvyšování

jejich koncentrace. Při opakované krystalizaci a rozpuštění solí dochází k porušení struktury betonu.“

Molo bude používáno ve všech ročních obdobích. Pro návrh betonového prvku je nejkritičtějším obdobím zima, kdy bude vystaven střídavému zmrazování a rozmrazování. To může být příčinou mnoha problémů způsobených kvůli rozdílné teplotní roztažnosti složek betonu a krystalizačnímu tlaku ledu, zejména může dojít k degradaci povrchu nebo struktury betonu. Beton, který bude použit pro výrobu prvku musí mít tedy dostatečnou mrazuvzdornost. V knize Vysokohodnotný beton [11] je v kapitole Mrazuvzdornost běžného betonu uvedeno následující: „*Víme, že k dosažení dobré mrazuvzdornosti vede snadná cesta – vytvoření sítě drobných uzavřených pórů. Je nutné si uvědomit, že mrazuvzdornost betonu neurčuje celkový objem vzduchu, ale pravidelnost uspořádání velmi malých vzduchových bublin. Je samozřejmé, že jedna velká dutina o objemu 60 l (což odpovídá obsahu 6 % vzduchu v 1 m³) nezlepší mrazuvzdornost betonu. Rozložení vzduchových pórů v prostoru je charakterizováno takzvaným součinitelem prostorového rozložení pórů, který velmi přibližně vyjadřuje polovinu průměrné vzdálenosti mezi dvěma sousedními póry, tedy průměrnou vzdálenost, kterou musí urazit voda, aby dosáhla k nejbližšímu póru.“*

Dalším problémem, který nastává u prvku umístěného do toku, je tzv. abraze neboli mechanické obrušování betonu. Tento jev se vyskytuje zejména u velkých vodních staveb, kde voda proudí velkou rychlostí, ale je třeba na tento jev pamatovat i u prvků, okolo kterých proudí voda nižšími rychlostmi jako jsou např. mostní pilíře. K abrazi dochází nárazy a třením (způsobené molekulami vody, ledovými krami nebo dalším znečištěním v toku) a způsobuje drcení pojiva a následné uvolňování zrn kameniva. V povrchové vrstvě betonu vznikají prohlubně, které mají vliv na mechanické vlastnosti konstrukce a je zvětšena plocha pro působení agresivních látek. Abrazí dochází k snižování tloušťky krycí vrstvy betonu a tím se snižuje jeho trvanlivost. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci dalších zdrojů [9] a [12].

5.1.2. Železobeton s rozptýlenými polymerovými vlákny

První materiálovou variantou pro konstrukci prvku je použití železobetonu. Podrobněji se jedná o beton vyztužený prutovou výztuží s doplněním o polymerová vlákna. Prutová výztuž zajistí dostatečnou únosnost, polymerní vlákna pak odolnost vůči lokálnímu porušení v důsledku nepříznivých vlivů prostředí (mrazové cykly, abraze atd.). Prutovou výztuž je nutné

ochránit dostatečnou krycí vrstvou betonu. S rostoucí hmotností železobetonové skořepiny je nutný také větší vzduchový vak, což vede k prvku s celkově většími rozměry. Větší hmotnost je naopak výhodnější z hlediska stability. Stabilita prvku je však ovlivněna zejména rozložením hmotnosti a polohou těžiště tělesa. Správným návrhem lze proto navrhnout prvek, který bude co možná nejlehčí, tj. s co možná nejsubtilnějšími jednotlivými komponenty, a zároveň dostatečně stabilní. Z toho důvodu je vhodné navrhnout materiál prvku s co možná nejnižší objemovou hmotností.

Prvek se bude vyrábět jako prefabrikát. Výhodou tohoto řešení je zejména celková přesnost. Tato přesnost je důležitá, protože jakékoliv nerovnoměrné rozložení hmotnosti, tj. pokud nebude těžiště prvku půdorysně přesně uprostřed, povede k jeho počátečnímu náklonu. K dosažení takové kvality bude třeba použít přesné bednění, které umožní šetrné odbedňování. Ideální je z hlediska přesnosti použití ocelového bednění. Prefabrikací se také dosáhne větší přesnosti u polohy výztuže. Z důvodu co nejmenší hmotnosti prvku bude nutné jeho komponenty navrhnout v řezu v následujících vrstvách: požadovaná krycí vrstva betonu, výztuž v podélném směru, výztuž v příčném směru a znovu požadovaná krycí vrstva betonu. Mezi příčnou a podélnou výztuží nebude žádná mezera, z toho důvodu by každá změna jejich polohy vedla k snížení požadované krycí vrstvy na jedné straně. Další výhodou použití prefabrikátu je, že bude mít prvek hladký povrch. Jelikož minimálně část prvku bude pohledový beton, tak je hladký povrch potřebný.

Rozptýlená polymerová vlákna v betonu celkově zlepšují jeho mechanické vlastnosti. Především dojde ke zlepšení v tahové pevnosti, rázové pevnosti a duktilitě. Použitím těchto vláken dojde také k omezení šířky trhlin (vznikne více tenkých, rovnoměrně rozdělených trhlin). Dalším pozitivním dopadem použití těchto vláken je zvýšená odolnost betonové směsi vůči abrazi a zvýšená otěruvzdornost. Nejčastější použití vláken (obvykle ocelových) je v betonových podlahách na zemním podloží, kde umožňují redistribuci napětí a tím plné využití pevnosti desky. Dále se používají při výrobě tenkostěnných prefabrikátů. U prvků, kterým se tato práce věnuje dále bude zajišťovat přidání polymerových vláken také zvýšenou odolnost proti smršťování. Tato vlákna zároveň nebudou mít negativní dopad na vnější vzhled prvku. Dávkování při použití polymerních vláken je přibližně mezi 2,5 – 4 kg/m³.

Polymerová vlákna se vzhledem k jejich průměru a spojení dělí následujícím způsobem:

- Ia – mikrovlákna s průměrem $< 0,3$ mm – jednovláknovitá (monofilamentická)
- Ib – mikrovlákna s průměrem $< 0,3$ mm – vláknitá (fibrilovaná) a poslední třídou
- II – makrovlákna s průměrem $> 0,3$ mm.



Obr. 63 Jednotlivé třídy polymerových vláken, zleva: třída Ia, třída Ib, třída II – převzato z webu www.abcpolymerindustries.com [45]

Pro řešený prvek byla po konzultaci s Ing. Josefem Fládrem, Ph.D. navržena receptura uvedená v následující tabulce. Tato receptura byla použita při zkouškách kotevních prvků. Před výrobou prototypů mol bude konzultována s výrobní firmou (pravděpodobně KŠ Prefa) a upravena dle jejich zkušeností a materiálů dostupných ve výrobním závodě.



Obr. 64 Navržená polypropylenová vlákna Forta Ferro délka 54 mm – převzato z webu www.tonstav-service.cz

Tab. 1 Navržená receptura pro betonáž skutečného prvku

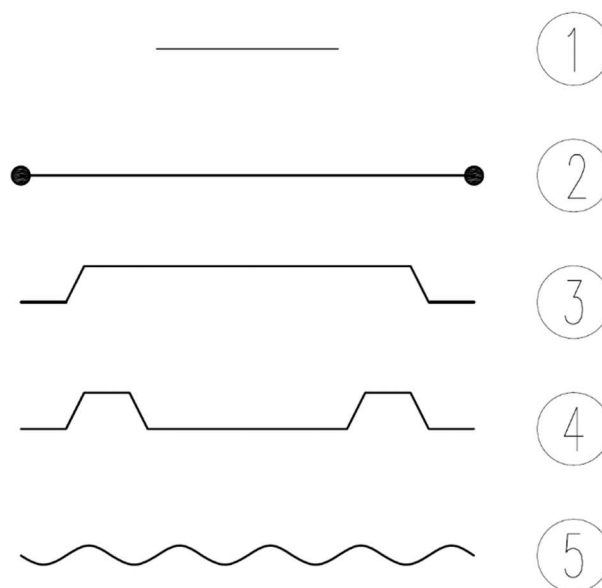
Složka	Specifikace	Dávka [kg/m ³]
Cement	CEM I 42,5 R	400
Voda	-	180
w/c	-	0,45
Kamenivo	Písek 4/8	600
	Křemen 0/4	950
Metakaolin	Mefisto L05 – 10 %	40
Superplastifikátor	Stachment - 0,75 %	3
Vlákna	Forta Fero 54 mm	4,8

Objemová hmotnost této směsi je 2178 kg/m³. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [13] a [45].

5.1.3. UHPC (Ultra-vysokohodnotný beton)

Tato směs vznikne kombinací vysokopevnostního betonu a ocelových drátků (vláken). Vložení ocelových vláken do vysokopevnostního betonu z velké části eliminuje negativní vlastnosti betonu všech pevnostních tříd. Vlastnosti výsledné směsi z UHPC jsou rozdílné s ohledem na vlastnosti jednotlivých komponentů. Vysokopevnostní beton ovlivňuje výslednou směs především svou pevnostní třídou, která je velmi závislá na vodním součiniteli směsi a použití plastifikátorů. Dalším ovlivňujícím faktorem jsou ocelová vlákna. Ta ovlivňují směs zejména svým množstvím, tvarem a rovnoměrností rozložení. Obecně lze tvrdit, že pokud je dodržena kázeň při výrobě betonového prvku, tak použití drátků celkově zvyšuje pevnostní a mechanické vlastnosti směsi. Dále je také u prvků z UHPC výrazně zvýšená trvanlivost a celkově životnost. Výsledné vlastnosti směsi z UHPC lze prokázat pouze zkouškami.

Drátky přidávané do betonové směsi se liší tvarem, materiálem, způsobem výroby a štíhlostním poměrem, všechny tyto charakteristiky mají vliv na výslednou pevnost. Právě tvar drátku má velký vliv na výslednou pevnost, ale také technologii výroby. Obecně je snaha dosáhnout efektu, aby při zátěžových zkouškách nedošlo k vytržení drátku z betonové směsi, ale k jeho přetržení. Odolnost drátku proti vytržení je dána jeho kotevní délkou, která je ve velkém měřítku ovlivněna právě tvarem drátku. Pro dosažení nejvyšší soudržnosti drátků s betonem je nejlepší použít co možná nejvíce tvarově zakřivené drátky. Čím větší je však jejich zakřivení, tím více mají tendenci tvořit shluky, které nelze probetonovat a tím negativně ovlivňují mechanické vlastnosti směsi. Z toho důvodu je nutné u každého prvku z UHPC najít optimální tvar a množství drátků, aby bylo dosaženo co nejlepších pevnostních a mechanických vlastností.



Obr. 65 Druhy tvarů ocelových drátků do betonu

- 1 – Krátký rovný drátek bez koncové úpravy
- 2 – Rovný drátek s koncovou úpravou z kuliček,
- 3 – Drátek s jedním záhybem na koncích,
- 4 – Drátek se čtyřmi záhyby,
- 5 – Drátek se záhyby vlněním v celé délce,

Dle způsobu výroby se drátky dělí do následujících skupin:

- I – za studena tažený drát
- II – vlákna vystříhaná z ocelového plechu
- III – vlákna oddělovaná z taveniny
- IV – vlákna protahovaná z drátu taženého za studena
- V – vlákna frézovaná z ocelového bloku

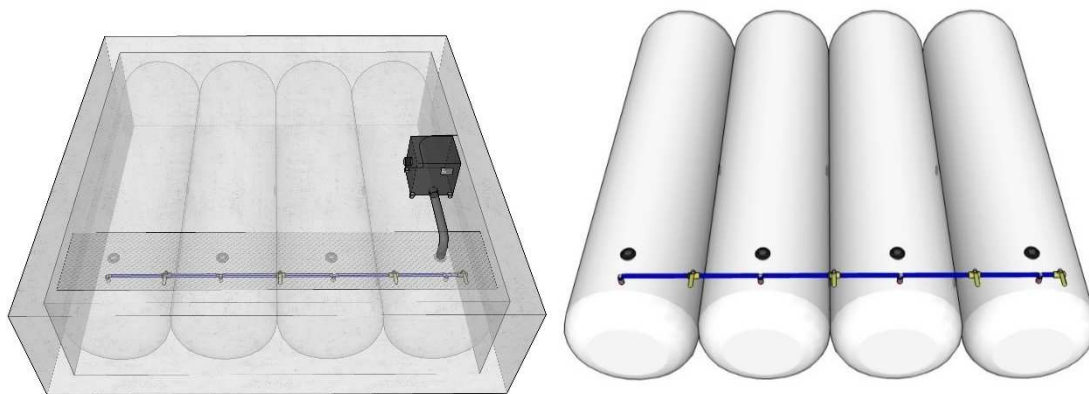
Poměr délky a průměru (štíhlost) se u ocelových drátků pohybuje v rozmezí 30–80. Pevnostně se drátky rozdělují do dvou tříd jako běžná (pevnost v tahu 400-1450 MPa) a vysokopevnostní (pevnost v tahu cca 2000 MPa a více).

Použití UHPC pro námi navrhovaný prvek by bylo výhodné zejména z toho důvodu, že by bylo možné jej navrhnout pouze s těmito ocelovými vlákny bez dalšího vyztužení. Prvek by bylo možné navrhnout se stejnou nebo lepší únosností v mnohem menších tloušťkách jednotlivých komponent prvku. Zmenšení tlouštěk vede k snížení hmotnosti prvku a celkově k možnosti snížení jeho rozměrů (zejména snížení výšky prvku). Zároveň je použití tohoto materiálu vhodné díky odolnosti vůči zmrazovacím cyklům, agresivnímu prostředí a abrazi. Nevýhodou je, že drátky ovlivní vnější vzhled prvku, protože na povrchu zkorodují. Zároveň také mohou konce drátků lokálně vystupovat z desky prvku, což není vhodné jako nášlapná vrstva. Při malé tloušťce prvku vznikají rovněž problémy s umístěním doplňkových prvků (kotvy, přípoje), v místě těchto prvků je nutné betonovou skořepinu rozšířit z důvodu zajištění jejich dobrého spojení s betonem. To vede k zesložitému tvaru skořepiny. Důležitým faktorem je také ekonomická stránka, prvek z UHPC by byl dražší jednak s ohledem na materiálové náklady a jednak s ohledem na náročnější proces bednění a výroby. Proto varianta z UHPC v tuto chvíli nebyla použita. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdrojů [14], [21] a [25].

5.2. Materiál a konstrukce pro výrobu vzduchového vaku

Materiál a technologie pro výrobu vzduchového vaku byl konzultován přímo se zástupci dvou tuzemských dodavatelů pryžových výrobků. Požadavky byly vyrobít pryžový vak ideálně tvaru kvádra o rozměrech cca 3 x 3 x 1 m. Součástí vzduchového vaku musí být také ventily pro rozvod vzduchotechnického potrubí. Materiál by měl také dosahovat takové pevnosti, aby jej prakticky nebylo možné poškodit v důsledku vandalizmu nebo např. dosednutím na ostrý kámen.

První společností je GUMOTEX, a. s., která se specializuje na různé plastové a pryžové výrobky jakou jsou např. rafty, čluny, automobilové výrobky, speciální vybavení pro složky záchranných systémů (zejména stany). Výrobky nejvíce podobné vzduchovému vaku jsou z hlediska fungování rafty a čluny. Tyto výrobky jsou však většinou tvořeny soustavou uzavřených válců spojených dohromady. Společnost má proto výrobní technologii, která se specializuje na uzavřené válce do průměru 1 m a nejsou schopni vyrobít námi navržený kvádr. Schéma nabídnutého řešení je na zobrazeno na následujících obrázcích. Válcové vaky nezaplňují efektivně celý vnitřní prostor mola, což by vedlo ke snížení maximální vztlakové síly nadnášející vak.



Obr. 66 Návrh systému vzduchových vaků od zástupce společnosti GUMOTEX, a. s.

Dalším problémem bylo, že společnost pro výrobu používá poměrně tenkou gumotextilii s tloušťkou cca 1 mm. Tato textilie nemá dostatečnou mechanickou odolnost. Největším problémem však byla celková nedostatečná těsnost vaku – povolený únik tlaku u raftů je cca 20 % za den, což je pro naši potřebu nedostatečné, lepší hodnotu však tento dodavatel není schopen garantovat. Z těchto důvodů byl dále zkoumán trh s dodavateli pryžových výrobků.

Druhou společností je Trelleborg Bohemia, a. s. Tato společnost se specializuje na výrobky z pryže, které se uplatňují v mnohých odvětvích. Příklady výrobků jsou těsnění všeho druhu, pneumatiky, silikonové rukavice, ale třeba také vakové jezy. Právě konstrukce vakových jezů se nejvíce podobá námi navrženému vzduchovému vaku. Tento dodavatel pracuje s materiálem s několikanásobně větší tloušťkou a pevností než uvedená předchozí společnost. Po konzultaci se zástupci dodavatele byl zvolen pryžotextilní vak. Materiálem je PVC/Nitril s nylonovou vložkou. Tloušťka tohoto materiálu je minimálně 2,5 mm. Na požadavky ohledně odolnosti vaku dodavatel reagoval tím, že je schopný dodat vzduchový vak, který bude neprůstředný, což však není potřeba. Další předností je mnohem vyšší těsnost materiálu.

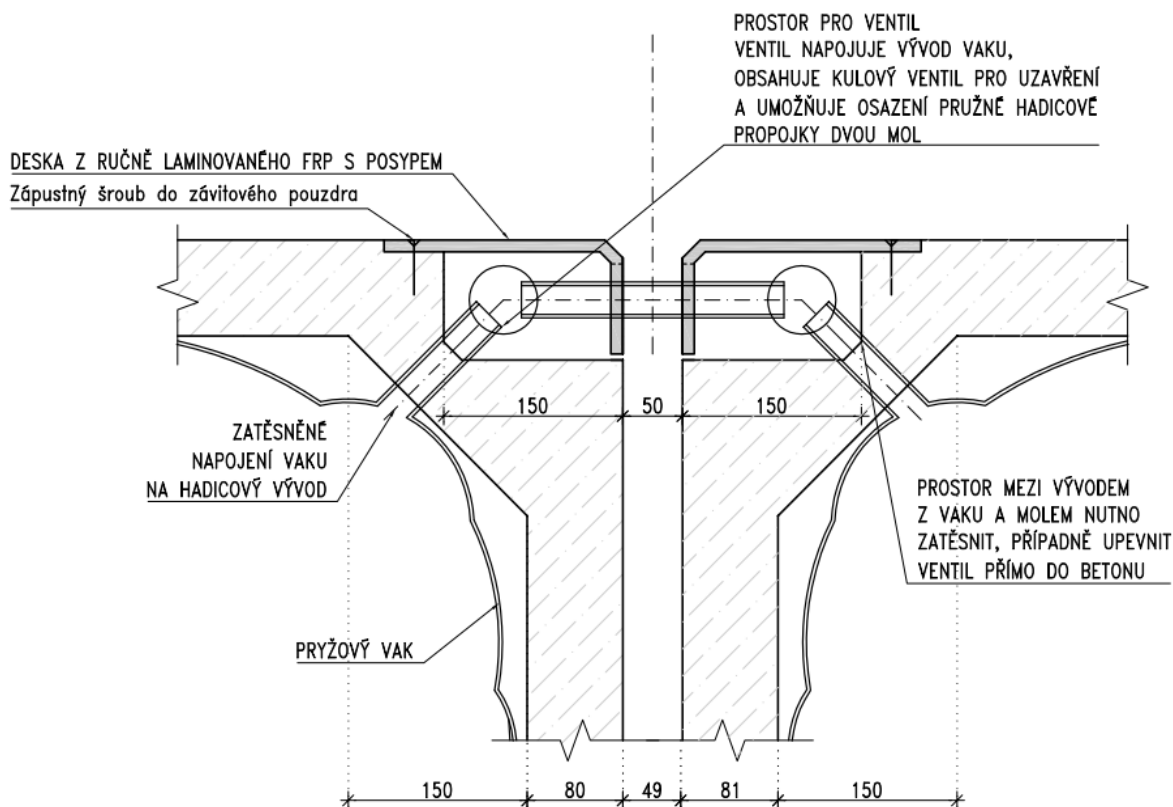
Právě díky těmto výhodám byla jako dodavatel vzduchotechnického vaku pro námi navrhovaný prvek zvolena společnost Trelleborg Bohemia, a. s. Vak bude osazen čtyřmi plnicími hrdly s kulovými ventily. Tyto ventily budou dotaženy do kapes na každé straně ze čtyř hran prvku. Vzduchový vak bude umístěn do kotevního popruhu pro zajištění polohy vaku v prvku při napuštění i vypuštění stavu. Vzduchový vak bude působit celou svojí plochou na spodní stranu pochozí desky prvku a bude tak sloužit jako plošná pružná podpora.



Obr. 67 Ukázka výrobku vzduchového vaku dodávaného společností Trelleborg Bohemia, a. s.



Obr. 68 Upevňovací popruhy a kulový ventil dodávaný společností Trelleborg Bohemia, a. s.



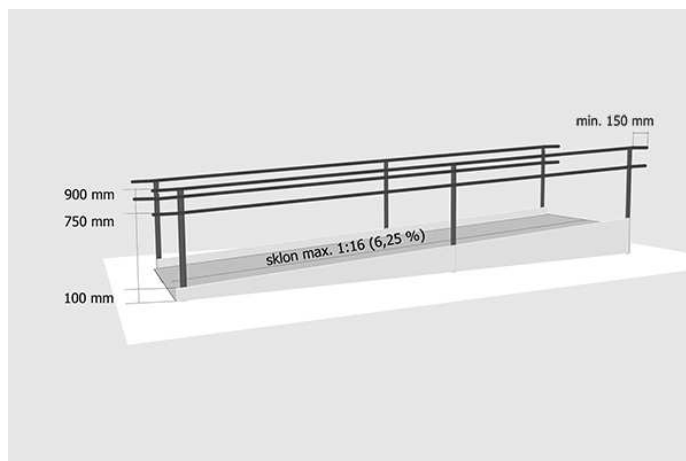
Obr. 69 Detail vývodů pro nafukování dmychadlem a pro propojení prvků navzájem zpracovaný zástupci společnosti Trelleborg Bohemia, a. s.

5.3. Materiál a konstrukce nástupní lávky

5.3.1. Konstrukce nástupní lávky

Nástupní lávka slouží jako spojovací prostředek mezi břehem a skupinou plovoucích prvků. Lávka bude podporována dvěma klouby. První podporou je nábrežní zeď v úrovni stávající pochozí komunikace. Druhá podpora bude umístěna na jeden prvek betonového plovacího mola. Výšková úroveň nábrežní zdi je pevně daná a nebude se měnit. Výšková úroveň plovacího betonového mola bude však ovlivněna dvěma vlivy. Prvním vlivem je aktuální stav vodní hladiny a druhým aktuální zatížení plovacího betonového prvku, čímž se změní hloubka zanoření. Pokud se změní úroveň vodní hladiny nebo hloubka zanoření, změní se výšková úroveň druhé podpory. Jelikož je lávka navržena s kloubovým přípojem na obou stranách, dojde k jejímu natočení. V případě ponoření skupiny prvků pod vodní hladinu dojde k odpojení lávky z prvku a k jejímu ukotvení na břeh. Lávka se tedy nebude potápět společně s prvky.

Tato lávka musí být navržena tak, aby umožňovala pohodlné užívání všech osob včetně osob se níženou schopností orientace a pohybu. Tento požadavek udává maximální dovolený sklon lávky [43]. Je nutné podotknout, že pokud bude sklon lávky větší, než je maximální dovolený, může dojít k újmě na zdraví osob se sníženou schopností pohybu. Maximální přípustný sklon je 1:16, což je 6,25 % (3,6°). Na lávce užívané osobami s omezenou schopností pohybu je také nutná úprava zábradlí.



Obr. 70 Zásady pro návrh lávky pro osoby s omezenou schopností pohybu – převzato z webu www.mapabariet.cz [43]

Nástupní lávka bude svou hmotností přitěžovat plovoucí prvek, na který bude osazena. Lávka bude zatížena vlastní tíhou a proměnným zatížením od osob používající tuto konstrukci. Z hlediska konstrukčního je nejjednodušší osadit lávku na okraj plovoucího prvku. To je však velký problém z hlediska stability prvku, jelikož v tomto případě zatížení vyvozuje destabilizační moment prvku. Pokud by byla lávka řešena tímto způsobem, tak by docházelo k trvalému natočení prvku od vlastní tíhy lávky a k výraznému natočení při používání osobami. Tento jev je obecně popsána v kapitole 4.2. Stabilita plovoucích těles. Z numerické analýzy, která byla provedena, vyplývá, že náklony při řešení konstrukce lávky tímto způsobem by byly větší, než jsou maximální přípustné, a proto je toto řešení nevhodné.

Mnohem výhodnější z hlediska celkové stability je umístit lávku na samostatný plovoucí prvek, a to do jeho středu. Tím pádem nebude zatížení lávky vyvolávat destabilizační moment a nedojde tak k natočení prvku, ale bude působit jako centrická síla a dojde k rovnoměrnému zanoření prvku. V případě velkého zatížení nástupní lávkou je možné vyrobit prvek, na který bude osazena, s většími rozměry než rozměry ostatních prvků. Zatížení od osob používajících lávku nelze snížit. Je však možné snížit stálé zatížení od samotné konstrukce nástupní lávky. Toho lze dosáhnout vhodným návrhem a použitím lehkých materiálů.

5.3.2. Materiál nástupní lávky

Pro nástupní lávku byl zvolen materiál z vláknových kompozitů. Nejčastější označení těchto kompozitů je FRP (fiber-reinforced polymers). Tento materiál se skládá z dvou hlavních složek. První složkou jsou vyztužující vlákna, která zajišťují celkovou tuhost a pevnost tohoto materiálu. Druhou složkou je pojivo, které zajišťuje tvar prvku, pozici vláken, chrání vlákna proti vnějším vlivům a spojuje vlákna a přenáší mezi nimi zatížení. Obě tyto hlavní složky mohou být tvořeny různými materiálovými variantami, které ovlivní vlastnosti výsledného kompozitu. Pro správné fungování kompozitu je velmi důležité zajistit adhezi na rozhraní pojiva a vláken.

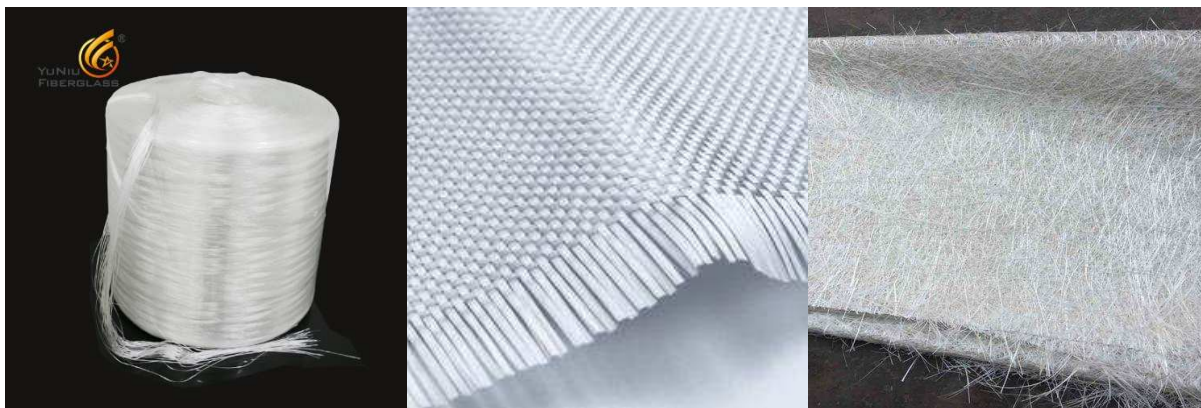
Podle použitého materiálu vláken se vláknové kompozity dělí na GFRP (glass-fiber reinforced polymer) = vláknový kompozit ze skelných vláken, CFRP (carbon-fiber reinforced polymer) = vláknový kompozit z uhlíkových vláken a AFRP (aramid-fiber reinforced polymer) = vláknový kompozit z aramidových vláken. Průměr vláken je nejčastěji v rozmezí 5-25 μm . Jelikož vlákna zajišťují pevnost a tuhost celého kompozitu, tak jsou u nich potřebné dobré mechanické vlastnosti. Zejména se jedná o požadovaný vysoký modul pružnosti a pevnost v tahu.

Tab. 2 Porovnání vlastností jednotlivých druhů vláken

Druh vlákna	Hustota [kg/m ³]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Součinitel teplotní roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
GFRP – E-sklo	2500	3450	73	5
GFRP – R-sklo	2500	4580	86	3
CFRP – uhlíková vlákna s vysokým modulem pružnosti	1950	2500-4000	350-650	-0,4
CFRP – uhlíková vlákna vysokopevnostní	1750	3500	240	-0,5
AFRP – Kevlar 29	1440	2760	62	-2,2
AFRP – Kevlar 49	1440	3620	124	-2,7

Nejběžnější materiál vláken je díky své nízké ceně E-sklo. U náročnějších konstrukcí se nejčastěji používají uhlíková vysokopevnostní vlákna. Dle druhu vláknové vyztuže se dělí na

kontinuální vlákna (roving), výztuž ve formě tkané textilie nebo netkané rohože jak z dlouhých vláken, tak i ze sekaných vláken či v jejich kombinaci.



Obr. 71 Druhy vláknové výztuže, zleva roving, tkaná textilie, netkaná rohož – převzato z webů

www.alibaba.com, www.timesofjersey.com, www.indiamart.com

Pojivo je materiál, který je rozptýlen mezi systém vláken tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Pojivo musí mít správnou viskozitu, aby mohlo dokonale obklopit výztužná vlákna a nevznikaly ve výrobku nevyplněné vzduchové póry. Pro správné fungování kompozitu musí mít pojivo menší modul pružnosti než vlákna. To zajistí, že síly vnášené do kompozitu přenáší zejména vlákna.

Polymerní pojiva se u FRP dělí do dvou skupin:

- Termoplasty – polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylén (PE), polykarbonát (PC), polyethylén tereftalát (PET) a další
- Termosety – nenasycené polyesterové pryskyřice (UP), epoxidové pryskyřice (EP), vynylesterové pryskyřice, fenolické pryskyřice

Každý z těchto materiálů má své charakteristiky a ovlivní tak celkové vlastnosti výsledného kompozitu. Tyto vlastnosti ovlivní také způsob výroby. Příklady způsobů výroby jsou: ruční výroba, vakuování, metoda tlakového vaku nebo autoklávu, navíjení, metoda nanášení kompozitu do formy stříkáním, metoda lisování se vstřikem pojiva, pultruze a další. Na výsledné mechanické vlastnosti kompozitů má velký vliv orientace vláken v pojivu. Proto je třeba rozeznávat pevnosti kolmo na vlákna a rovnoběžně s vlákny. Výsledné mechanické

vlastnosti kompozitů se skelnými vlákny GFRP se rozdělují do dvou tříd E23 a E17. Mechanické vlastnosti těchto tříd jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 3 Výsledné mechanické vlastnosti GFRP dle ČSN EN 13 706-3

Třída dle ČSN EN 13 706-3	Mechanické vlastnosti	E23	E17
Modul pružnosti osový a plnopřířezová zkouška rovnoběžně s vlákny	E_{0° [MPa]	23000	17000
Modul pružnosti, kolmo na vlákna	E_{90° [MPa]	7000	5000
Ohybová pevnost, rovnoběžně s vlákny	$f_{b,0^\circ}$ [MPa]	240	170
Ohybová pevnost, kolmo na vlákna	$f_{b,90^\circ}$ [MPa]	100	70
Tahová pevnost, rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0^\circ}$ [MPa]	240	170
Tahová pevnost, kolmo na vlákna	$f_{t,90^\circ}$ [MPa]	50	30
Interlaminární smyková pevnost	f_τ [MPa]	25	15
Pevnost na otlačení – osová	$f_{cB,0^\circ}$ [MPa]	150	90
Pevnost na otlačení – příčná	$f_{cB,90^\circ}$ [MPa]	70	50

Je nutné klást důraz také na správný výběr kompozitu (zejména pojiva) s ohledem na prostředí, ve kterém se bude konstrukce nástupní lávky nacházet. Je nutné, aby měl zvolený kompozit dostatečnou odolnost proti povětrnosti a UV záření, odolnost vůči chemickým látkám a dostatečnou mrazuvzdornost. Pokud by nebyl kompozit dostatečně odolný, dojde k degradaci a snížení celkové životnosti konstrukce.

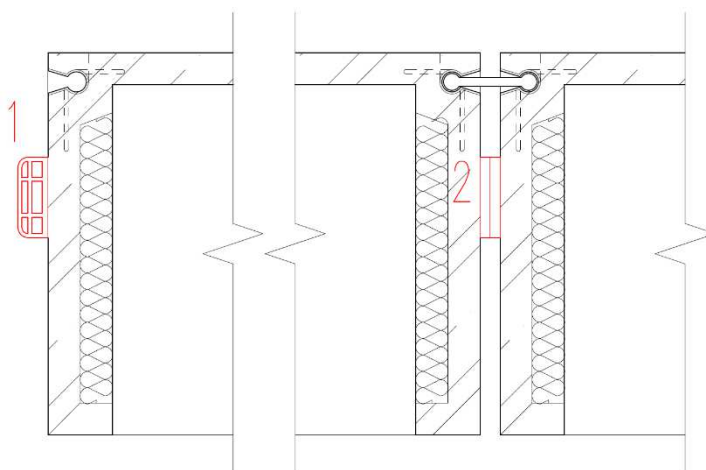
S ohledy na zmíněné požadované vlastnosti kompozitu, ze kterého bude konstrukce lávky vyrobena, byl jako výsledný materiál vybrán kompozit třídy E23 s podpovrchovou rouškou, která zajistí větší odolnost prvku vůči UV záření. Informace v této kapitole byly zpracovány za pomoci zdroje [44].

5.4. Materiály nárazníků a úvazných prvků

Na prvku se budou nacházet dva typy nárazníků, které se budou lišit jak jejich funkcí, tak materiálem. Jeden typ nárazníku bude sloužit jako ochrana proti nárazu plavidel a dalších větších objektů, které se mohou v toku nacházet. Tento nárazník má pohltit co nejvíce energie, která při nárazu vznikne. Musí být tedy navržen tak, aby se po nárazu co nejvíce zdeformoval a tím ochránil konstrukci mola před samotným nárazem. Z toho vyplývá, že bude tento nárazník z pružného materiálu, který je možné deformovat. Proto je zvoleným materiálem pryž. Toto konstrukční řešení je u betonových mol vcelku běžné a funkční.

Druhým typem nárazníku, který bude použit u námi navrhované konstrukce, je nárazník mezi dvěma sousedními prvky. Tento nárazník je zde nutný kvůli správné funkci spojovacího prvku. Dále také vymezuje vzdálenost mezi dvěma sousedícími prvky a zabraňuje většímu náklonu mezi nimi. Tento druh nárazníku musí být naopak od předchozího typu co možná nejužší, aby nebyla dovolena téměř žádná deformace. Jako materiál pro konstrukci tohoto nárazníku bylo vybráno tvrdý plast typu POM-C, který zajistí dlouhodobou životnost této konstrukce.

Úvazná lana mají zajistit stabilizaci polohy skupiny prvků v toku a zabránit tak jejich odplavání. Tato konstrukce bude vyrobena z ocelového lana s vhodnou povrchovou úpravou, která zajistí zvýšenou odolnost v trvale vlhkém prostředí. Návrh průměru a konstrukce tohoto lana bude proveden v kapitole 6.6. Návrh úvazných lan.



Obr. 72 Druhy navržených nárazníků

1 – Nárazník pro ochranu před nárazy plavidel,

2 – Nárazník vymezující vzdálenost mezi dvěma prvky



Obr. 73 Pryžový nárazník použitý u mola v Purkarcí

6. Návrh řešení ponorného prvku

6.1. Geometrie a rozměry plovoucího prvku

Numerická analýza a samotný návrh geometrie a rozměrů prvku byl proveden Bc. Janem Matějkou. V této práci bude stručně popsán postup návrhu a zejména budou představeny výsledky analýzy. Podrobnější popis výpočtu se nachází v diplomové práci Bc. Jana Matějky [18].

V předchozích kapitolách byly popsány teoretické mechanismy, které teď můžeme aplikovat pro samotný návrh prvku. Návrh geometrie a rozměrů prvku vychází zejména z hydraulických zákonů a musí být proveden tak, aby umožňoval používání celého systému co možná největšímu množství osob současně. Zároveň musí být snaha, aby jeho rozměry byly co možná nejmenší. Teoretické hydraulické zákony pro návrh geometrie jsou konkrétně popsány v kapitolách 4.1. Archimédův zákon a 4.2. Stabilita plovoucích těles. Prvotní uvažované rozměry byly 3,3 x 3,3 x 1 m s konstantní tloušťkou stěn 100 mm. Tyto rozměry se dále optimalizovaly.

6.1.1. Definice množství osob pro použití jednoho prvku

Ještě před samotným návrhem je nutné určit množství osob, které se reálně může na prvku v jednu chvíli vyskytovat. Je nutné si uvědomit, že prvek by měl sloužit např. při kulturních a sportovních akcích, které se budou konat na Vltavě. Při některé z těchto akcí je nutné počítat s maximálním využitím prostoru mola. Tento stav je jedním z extrémů, na které musí být konstrukce mola navržena, aby nedošlo k jejímu potopení. Lze předpokládat, že pokud se nebudou konat tyto akce, tak bude prostor plovoucího prvku využíván v mnohem menší míře.

Pro stanovení množství osob, které se reálně může na prvku vyskytovat, byla provedena kapacitní zkouška. Ta probíhala tak, že byl nejprve na podlaze vyznačen pomocí lepící pásky prostor 3,3 x 3,3 m odpovídající uvažovaným rozměrům plovoucího prvku. Následně proběhly dvě kapacitní zkoušky. První zkouškou byla zaplněnost při patnácti lidech na prvku. Toto množství osob odpovídá maximálnímu předpokládanému povolenému zatížení pro užívání mola. Pro toto množství osob bude užívání mola zcela komfortní.



Obr. 74 Prostor odpovídající rozměrům navrhovaného prvku se zaplněním patnácti osob

Tato kapacitní zkouška prokázala, že předpokládané maximální zatížení mola představuje poměrně hustě zalidněný prostor. Při běžném užívání pravděpodobně nebude tato zalidněnost příliš překračována.

Druhá kapacitní zkouška zkoumala maximální možnou kapacitu tohoto prostoru. U obou zkoušek byli jako figuranti použiti studenti s obvyklým vybavením (batohy, tašky a další). Toto vybavení lze očekávat i u osob, které prvek budou používat. Prostor byl zjednodušeně ohraničen zábradlím pouze z jedné strany.



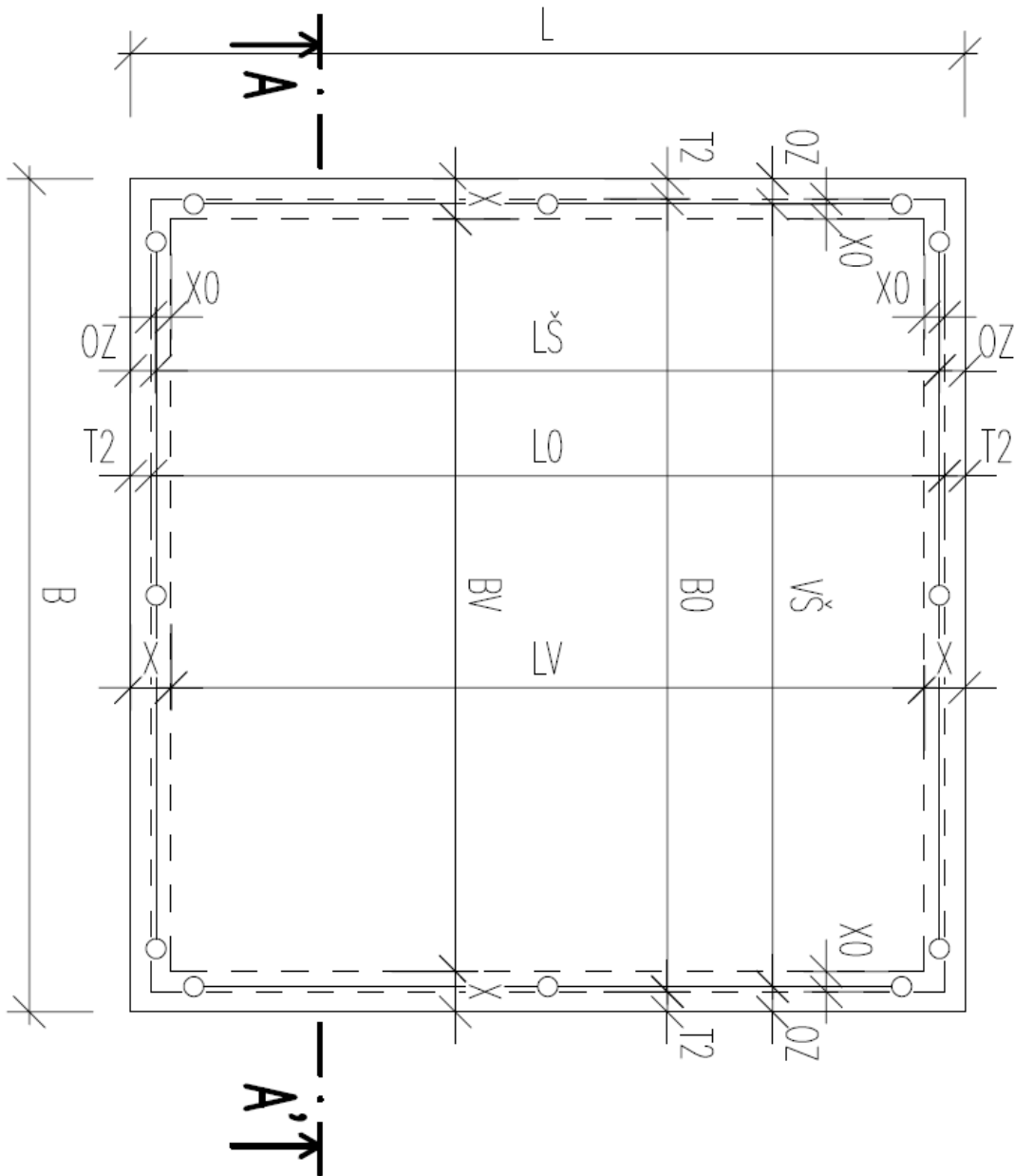
Obr. 75 Prostor odpovídající rozměrům navrhovaného prvku s maximálním zaplněním

Výsledkem této zkoušky je, že maximální obsazenost prostoru odpovídající námi navrhovanému prvku je 51 osob. Při mimořádných kulturních nebo sportovních akcích, kdy lze očekávat tuto maximální zalidněnost na prvcích, bude muset být z bezpečnostních důvodů dodržování maximální zatížitelnosti kontrolováno. Maximální obsazenost prvku, která je fyzicky možná, odpovídá tedy zhruba padesáti osobám. Plovoucí prvek musí být navržen tak, aby i při takovéto koncentraci osob nebyl nebezpečně nakloněný nebo by došlo k jeho ponoření.

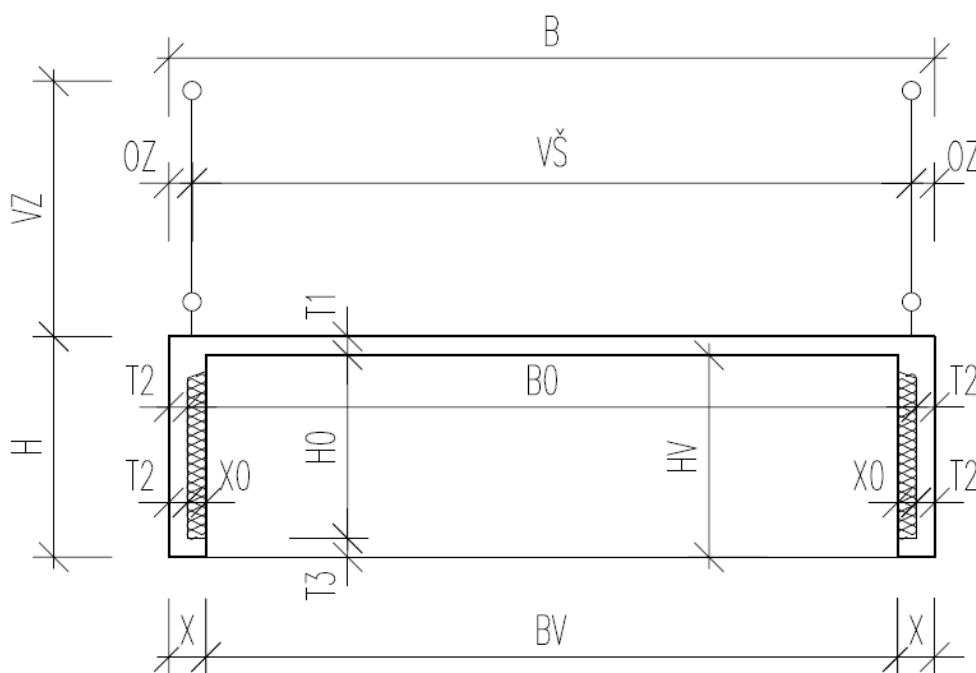
6.1.2. Numerická analýza pro návrh geometrie prvku

Provedením numerické analýzy byly iterační metodou stanoveny vhodné rozměry, geometrie prvku a maximální dovolené zatížení jednoho prvku. Při výpočtu byla posuzována zejména odolnost proti potopení a překlopení. To vedlo k postupné optimalizaci rozměrů a postupným změnám tvaru plovoucího prvku. V odborné literatuře ani v normách se nepodařilo vyhledat stanovený maximální náklon plovoucích konstrukcí. Proto proběhla schůzka se zástupcem společnosti Sweco Hydroprojekt a.s., konkrétně s Ing. Petrem Klimešem. Tato společnost má mnohaleté zkušenosti s návrhem vodohospodářských staveb a také konstrukcí podobných námi navrhovanému prvku. Z těchto zkušeností s návrhem plovoucích konstrukcí nám bylo doporučeno uvažovat jako maximální povolený náklon 4° , přičemž je rozmístěna 1/3 osob na jedné polovině prvku a 2/3 na druhé polovině prvku.

Geometrie prvku byla navržena pomocí iteračních výpočtů. Cílem bylo navrhnout geometrii prvku co možná nejefektivněji s ohledem na zvolená bezpečnostní a užitná kritéria. Na následujících obrázcích je zobrazena optimalizovaná geometrie prvku.



Obr. 76 Půdorys prvku s optimalizovanými rozměry



Obr. 77 Příčný řez A-A' prvkem s optimalizovanými rozměry

Tab. 4 Optimalizované rozměry prvku

Rozměr	Označení	Vzdálenost [mm]
Šířka prvku	B	3300
Délka prvku	L	3300
Výška prvku	H	950
Tloušťka desky	T1	80
Tloušťka stěny	T2	80
Tloušťka patního obvodového žebra	T3	80
Tloušťka polystyrenu a stěny	X	160
Odsazení zábradlí	OZ	100
Výška zábradlí	Z	1100
Šířka prostoru pro vak a polystyren	B0	3140
Výška mezi patním obvodovým žebrem a pochozí deskou	H0	790
Délka prostoru pro vak a polystyren	L0	3140

Šířka patního obvodového žebra, výztužného žebra a tloušťka polystyrenu	X0	80
Volná šířka na molu	VŠ	3100
Volná délka na molu	LŠ	3100
Šířka vaku	BV	2980
Délka vaku	LV	2980
Výška vaku	HV	870

6.1.3. Maximální povolené zatížení na prvku

Ze stanovených rozměrů lze nyní vypočítat charakteristickou hodnotu stálého zatížení od vlastní tíhy prvku. Objem prvku s výslednými rozměry je 1,865 m³. Výpočet stálého zatížení je uveden v následující tabulce.

Tab. 5 Výpočet charakteristického stálého zatížení prvku

Konstrukce	Objem/Délka [m ³]/[m]	Objemová/Délková hmotnost [kg/m ³]/[kg/m]	Stálé zatížení [kN]
Betonový prvek	1,865 m ³	2500 kg/m ³	46,625
Vzduchový vak	7,726 m ³	25 kg/m ³	1,932
Polystyren	0,77 m ³	25 kg/m ³	0,193
Zábradlí	6,6 m	45 kg/m	2,97
Celkem			51,72

Z hlediska povoleného zatížení a náklonu musí prvky splnit následující dvě podmínky:

- Při umístění 2/3 užitečného zatížení na jednu polovinu prvku a 1/3 užitečného zatížení na druhou polovinu prvku nesmí být náklon větší než 4°
- Při umístění 2/3 užitečného zatížení na jednu polovinu prvku a 1/3 užitečného zatížení na druhou polovinu prvku bude hrana pochozí desky ve vzdálenosti od vodní hladiny minimálně 150 mm.

Jako užitečné zatížení bylo uvažováno pouze zatížení osobami, přičemž hmotnost jedné osoby byla uvažována hodnotou 80 kg. Lze předpokládat, že při vyšší výšce sněhové pokrývky prvky nebudou využívány, proto zatížení sněhem můžeme zanedbat. Zatížení větrem lze také

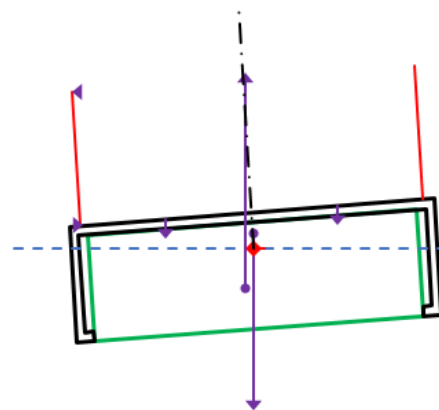
kvůli jeho malému účinku zanedbat. Pro výpočet je nutné uvažovat s vodorovnou silou, kterou budou osoby působit na zábradlí. Tato síla byla pro výpočet uvažována hodnotou 0,3 kN/m. Pro tato kritéria byl proveden iterační výpočet, jehož výsledkem je maximální dovolený počet osob na molu.

2/3 osob stojí na jedné a 1/3 osob na opačné straně prvku

dovolený počet obob na prvku:	n	15	
referenční váha osoby:		80 kg	
celková tíha osob:		12 kN	
stálé svislé zatížení:	G	51,24 kN	
svislá tíha celkem:		63,24 kN	
výška nad hladinou:	Hv	0,358 m	
ponořený objem:	Vp	6,45 m ³	
vztlaková síla	Fvz	63,24 kN	
vodorovná síla	Qh	0,99 kN	
náklon	ϕ	3,51 °	6,1 %
	ϕ	0,061 rad	
	tg ϕ	0,061	
	sin ϕ	0,061	
	cos ϕ	0,998	
vynořená šikmá výška zatížené strany:		0,26	
ponořená šikmá výška zatížené strany:		0,69	
ponořená šikmá výška nezatížené strany:		0,49	
ponoř. objem natočený	Vp'	6,45 m ³	
působíště vztlkové síly nepootočená souřadnice x	xvz	1,56 m	
působíště vztlkové síly nepootočená souřadnice z	zvz	0,65 m	
rameno stálého zatížení	rG	0,0068 m	
rameno síly od 2/3 osob	rQv1	0,7954 m	
rameno síly od 1/3 osob	rQv2	-0,7516 m	
rameno vodorovné síly	rQh	1,458 m	
rameno vodorovné reakce v patě zábradlí	rQhr	-0,358 m	
rameno vztlakové síly	rvz	-0,076 m	
Momen kolem bodu O	Mo	0,00 kNm	
Minimální výška nad hladinou:		0,256 m	
VYHOVUJE			min 150 mm

Obr. 78 Iterační výpočet pro určení maximálního dovoleného počtu osob

Užité kritérium maximálního náklonu se stalo rozhodujícím pro návrh maximální možné zatížitelnosti mola. Výsledkem iteračního výpočtu je, že maximální povolený počet osob na molu je 15. Iterační výpočet byl založen na obecných hydraulických principech, které byly popsány v kapitole 4. Chování plovoucích těles. Rozdíl ponoru mezi nezatíženým prvkem a mezi prvkem zatíženým patnácti osobami je 112 mm.



Obr. 79 Vykreslení působících sil na prvek

Dále byla pomocí silové podmínky rovnováhy iteračně stanovena maximální únosnost centricky zatíženého prvku. Maximální únosností se rozumí stav, dokud horní hranu desky nezatopí voda. Maximální únosnost je rovna hmotnosti 4880 kg, což přibližně odpovídá 61 osobám.

počet obob:	n	61
váha osoby:		80 kg
tíha osob:		48,8 kN
svislá tíha stálá:		52,55 kN
svislá tíha celkem:		101,35 kN
vynořená výška	Hv	0,001 m
ponořený objem	Vp	10,33 m ³
vztlaková síla	Fvz	101,35 kN
celkem zátež pro potopení:		4880 kg

Obr. 80 Iterační výpočet pro určení maximálního únosnosti prvku před jeho potopením

6.2. Návrh a posouzení spojovacího prvku

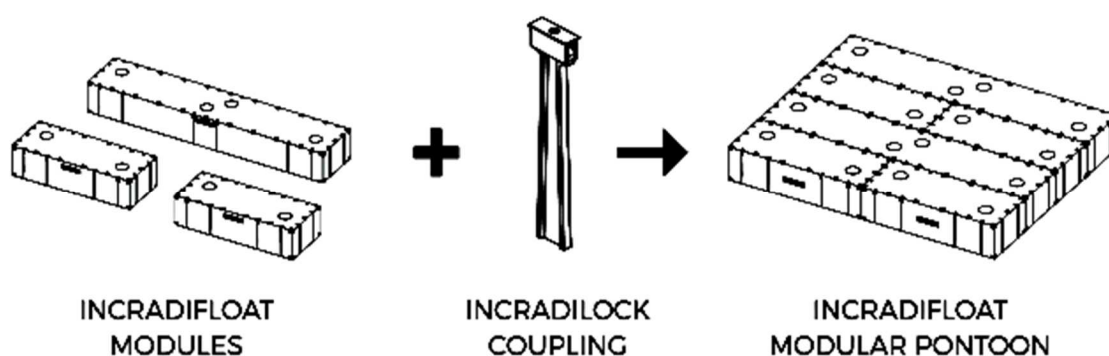
Spojovací prvky jsou velmi důležitou součástí celého systému. Mola jsou navrhována tak, aby je bylo možné poskládat do libovolných celků. Z toho důvodu je nutné, aby navržený spoj umožňoval rychlé rozpojení. V podstatě existují dva způsoby, jakými lze prvky spojit, a to kloubovým nebo pevným spojem. Obě varianty mají své výhody a nevýhody.

6.2.1. Možné způsoby spojování

Pevný spoj propojí všechny prvky ve skupině tak, že se chovají jako jeden velký celek. Principem tohoto spoje je, že mezi prvky nedovolí vzájemné posuny ani natočení. Výhoda

tohoto způsobu je zejména z hlediska stability, protože si jednotlivé prvky navzájem pomáhají a celek je možné zatížit mnohem větším zatížením při stejném náklonu. Nevýhodou však je mnohem větší namáhání všech prvků. Toto namáhání vzniká zejména v okolí spojovacího prvku. Pevné spoje se v praxi u betonových mol používají pouze u mol malých půdorysných rozměrů.

Příkladem pevného spoje, který používá nizozemská společnost INCRADIFLOAT [22] je konkrétní výrobek s názvem INCRADILOCK COUPLING. Tato společnost se specializuje zejména na výrobu velkých ocelových mol s polystyrenovou výplní.



Obr. 81 Systém pevného spoje od společnosti INCRADIFLOAT [22]

Druhým způsobem spojování je kloubový spoj. Principem spoje je, že mezi jednotlivými prvky dovolí natočení. Z hlediska stability se tedy každý prvek natočí dle zatížení samostatně a prvky se vzájemně neovlivňují. V důsledku toho mohou vznikat větší natočení prvku při menším zatížení. Velkou výhodou je však, že mezi prvky nevzniká napětí od vzájemného natočení.

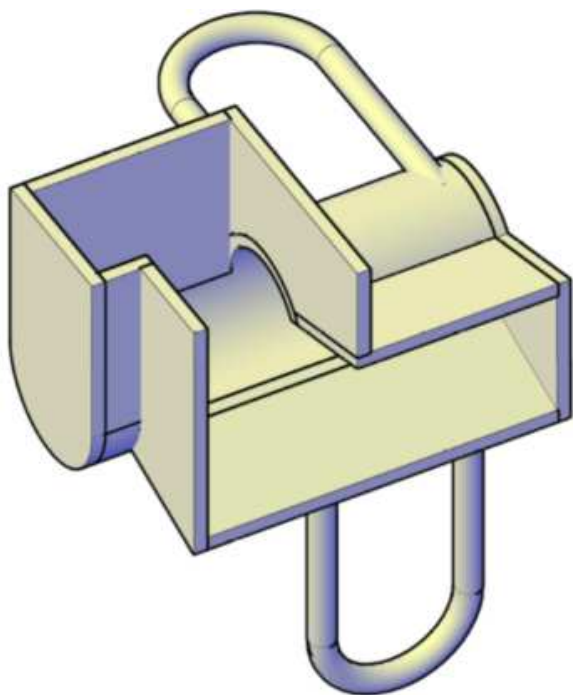
6.2.2. Navržený systém spojování

Po důkladné analýze jednotlivých typů spojování byl zvolen a navržen kloubový spoj skládající se ze tří jednotlivých dílů. Detailní návrh spojovacího systému je součástí diplomové práce Bc. Jana Matějky [18].

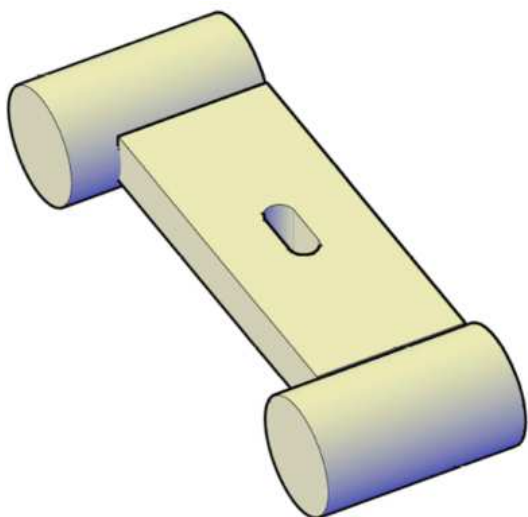
-
- Díl A – Ocelové pouzdro zabetonované do stěn prvků
 - Díl B – Ocelový spojovací prvek tvarem připomínající činku sloužící k propojení dílů A
 - Díl C – Ocelová zátka sloužící k zajištění dílu B v požadovaném místě dílu A

Jeden spoj je tedy tvořen dvěma pouzdry spoje (díly A), které jsou naproti sobě. Do obou pouzder spoje (dílů A) se vloží jeden spojovací prvek (díl B), který se zasune se do potřebné pozice. Nakonec se do obou pouzder spoje (dílů A) vloží zátka (díl C), která zajistí spojovací prvek (díl B) v potřebné poloze. Jedna sestava spoje = 2 x díl A + 1 x díl B + 2 x díl C.

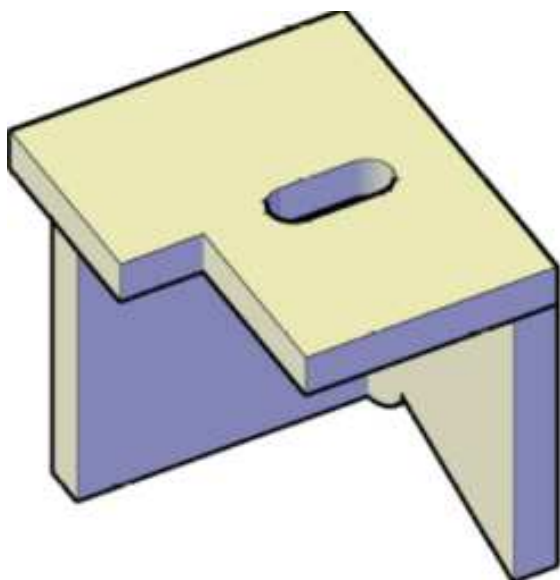
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny jednotlivé navržené díly a fotky poté, co byly vyrobeny.



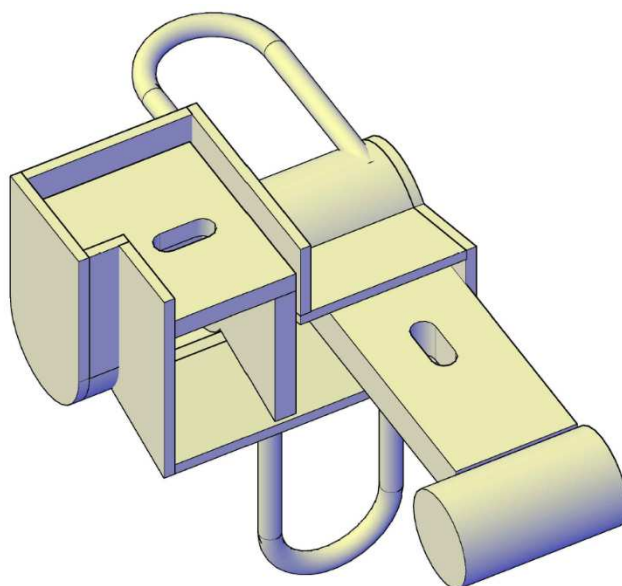
Obr. 82 Díl A – ocelové pouzdro zabetonované do stěn prvku



Obr. 83 Díl B – ocelový spojovací prvek tvarem připomínající činku sloužící k propojení dílů A

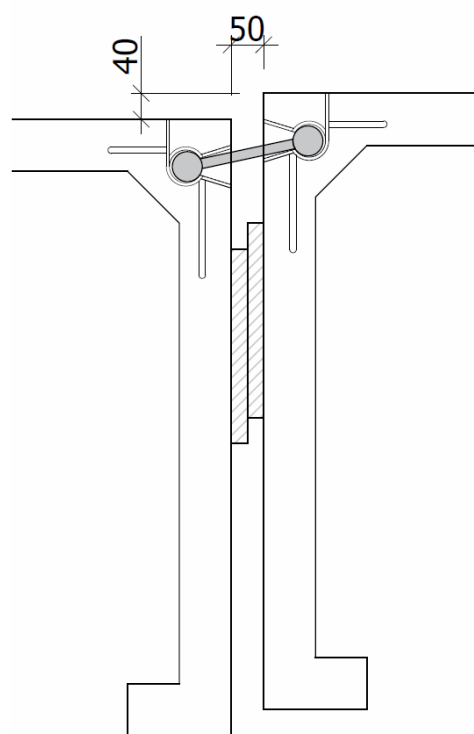


Obr. 84 Díl C – ocelová zátka sloužící k zajištění dílu B v požadovaném místě dílu A



Obr. 85 Celkový spojovací systém

Tento spojovací systém bude navíc doplněn o plastové nárazníky, které budou připevněny na stěny prvků. Nárazníky budou z tvrdého plastu typu POM-C tloušťky 25 mm. Celkově je systém navržen tak, aby umožňoval vzájemný volný pohyb sousedních dílců do rozdílu výšek až 40 mm. Po překročení rozdílu výšek 40 mm dojde k tomu, že spojovací systém přestane fungovat jako kloubový a zaktivuje sousední prvek. Při překročení tohoto rozdílu se začne do sousedního prvku vnášet lokální namáhání a spojovací prvek (díl B) začne být namáhán prostým tahem, zatímco plastové nárazníky budou tlačené. Celkově lze tak spoj klasifikovat spíše jako polotuhý s umožněním částečného natočení. K rozdílu výšek 40 mm dojde, pokud je jeden z dvojice prvků zatížen o přibližně 430 kg větším zatížením než sousední prvek.



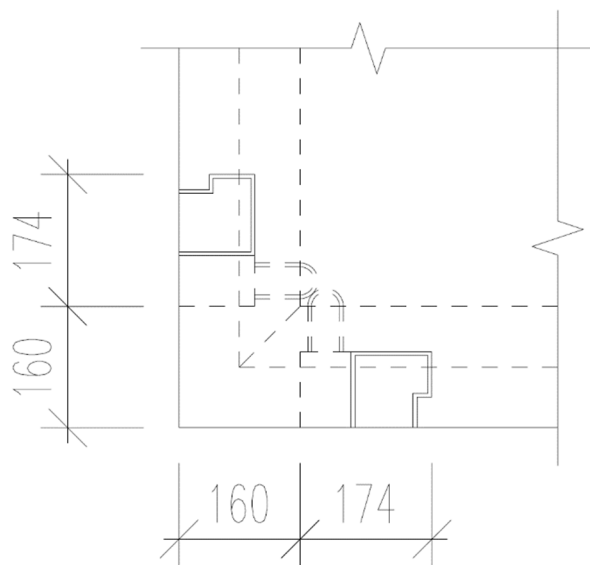
Obr. 86 Navržený způsob spojování, přičemž je jeden prvek zatížen

Jednotlivé navržené prvky budou snadno spojitelné a rozpojitelné z povrchu mola. Pro rozpojení dvou prvků bude potřeba jako nástroj tyč s oválnou koncovkou. Tuto tyč obsluha mola nejprve prostrčí otvorem v zátce spoje (díl C) a otočí tyčí o 90°. Poté bude možné zátku spoje (díl C) vyjmout z celé sestavy. Tento proces se provede i na druhém spojeném prvku.

Poté se stejným způsobem prostrčí tyč otvorem ve spojovacím prvku (díl B), který se poté posune a celý vyjme.

Umístění pouzdra spoje (díl A) na prvku bylo zvoleno jako 160 mm od rohu prvku. Toto umístění je výhodné v tom, že část namáhání, které bude způsobeno vedlejším zatíženým prvkem, se přeneso do kolmé stěny, která je v příčném směru mnohem tužší.

Pro takto navržený spojovací systém byla zpracována Bc. Janem Matějkou výrobní dokumentace a následně byly vyrobeny dvě prototypní sestavy v měřítku 1:1.



Obr. 87 Umístění pouzdra spoje v rohu prvku

Tyto prototypní sestavy se vyrobily pro potřeby experimentálních zkoušek spoje. Jako povrchová úprava jednotlivých dílců bylo zvoleno žárové pozinkování. Hrany byly sraženy 1/1 mm. Hmotnost jedné sestavy je 12,291 kg.

6.3. Statický výpočet a návrh výztuže prvku

Statický výpočet a návrh výztuže byl proveden Bc. Janem Matějkou, v jehož diplomové práci [18] se nachází podrobný popis a výpočet návrhu výztuže. Výztuž byla navržena a posouzena na několik nejméně příznivých stavů, které by mohly ovlivnit životnost konstrukce.

Prvek bude vyroben jako prefabrikát z betonu vyztuženého rozptýlenými polymerovými vlákny a ocelovou prutovou výztuží profilu 10 mm po 150 mm v obou směrech. Výztuž bude umístěna uprostřed tloušťky stěn. Výpočtem dle Eurokódu 2 [1] byla stanovena potřebná tloušťka krycí vrstvy 30 mm, přičemž bylo uvažováno prostředí XC4/XF3.

6.4. Návrh zvedacích kotev

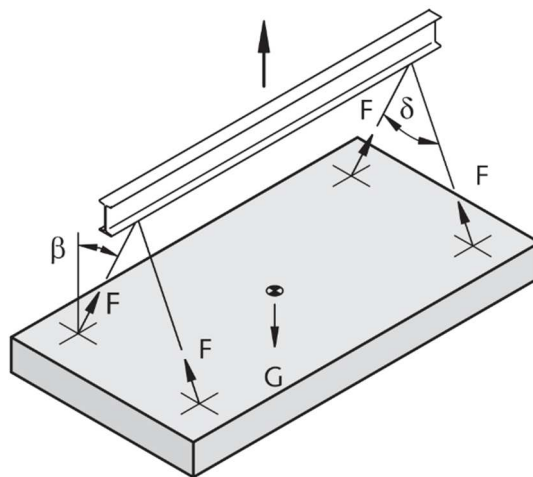
Pro snadné přemístování prvku je třeba ho vybavit vhodnými manipulačními úchyty. Tyto úchyty jsou většinou určené pro použití na mnohem masivnější prvky. Je tedy třeba vybrat

takové, které zajistí bezpečnou manipulaci s prvkem. Pro návrh manipulačních úchytů byl využit sortiment společnosti HALFEN [47].

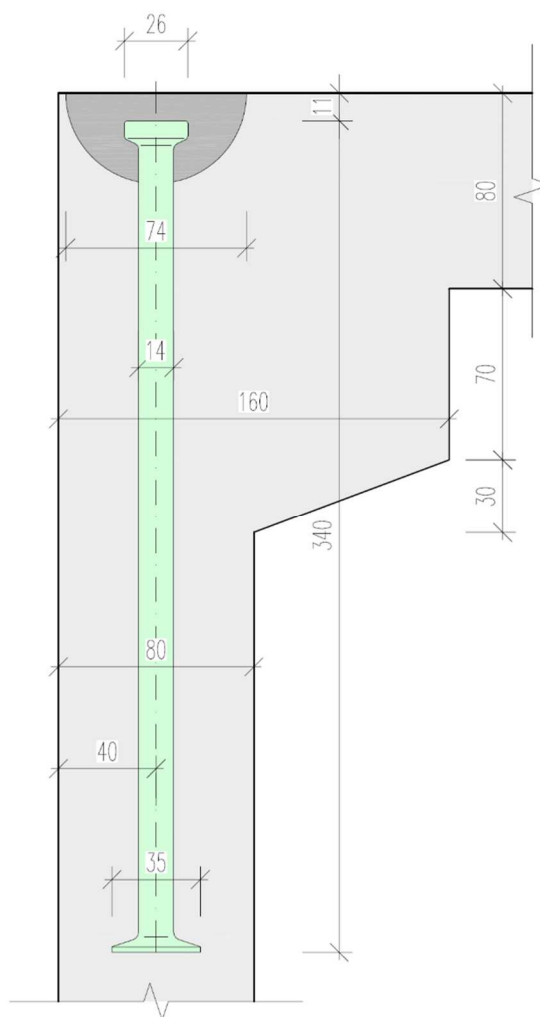
Manipulační úchyty se budou používat pouze několikrát za celou životnost prvku. Prvek je navržen jako prefabrikát, který bude vyroben v obrácené poloze, než je jeho finální používání, to znamená deskou dolů, čímž bude docíleno pohledového povrchu betonového prvku. Po vybetonování prvku se ponechá v bedně a bude dále potřeba jej vyjmout ze spodní desky bednění. Z toho důvodu musí být manipulační úchyty navrženy při spodní straně prvku u obvodového patního žebra. Dále bude prvek obrácen do finální pozice, tj. pochozí deskou vzhůru a manipulační úchyty při spodní straně prvku již nebudou použity. Pro další manipulaci musí být navrženy úchyty v úrovni pochozí desky. Prvek bude vybaven čtyřmi manipulačními kotvami v každé úrovni, celkem tedy bude vybaven osmi úchyty.

Z důvodu relativně malé tloušťky pochozí desky není možné navrhnout manipulační úchyty přímo do desky. Na trhu jsou manipulační úchyty, které lze použít i u takto tenkých deskových konstrukcí, ale jejich únosnost je velmi malá, a proto je není možné použít pro námi navrhovaný prvek. Z toho důvodu je třeba manipulační úchyty navrhnout v osách stěn prvku. Úchyty určené pro stěnové prvky mají mnohem větší únosnost, jelikož mohou mít mnohem větší délku.

Manipulace s prvkem bude prováděna pomocí vahadla s dvěma symetrickými šikmými



Obr. 88 Schéma zvedání prvku pomocí vahadla – převzato z katalogu dodavatele kotev HALFEN [47]



Obr. 89 Navržená kotva s kulovou hlavou DEHA 6000-4.0-340

závěsy. Tím bude docíleno toho, že bude zatížení rozneseno rovnoměrně na všechny používané úchyty.

Pro prvek byly vybrány přepravní úchyty s kulovou hlavou DEHA určené pro stěnové prvky, konkrétně typ 6000-4.0-340. Délka této kotvy je 340 mm a je určena pro stěnové prvky o minimální tloušťce 100 mm. Stěna prvku má navrženou tloušťku 80 mm, ale prvek je při vnitřní straně mezi horní deskou a stěnou vybaven také výztužným žebrem, které zvyšuje jeho tloušťku na 160 mm. Stejně tak je prvek vybaven obvodovým patním žebrem při spodní straně, kde je tloušťka stěny zvýšena také na 160 mm. Manipulační úchyty budou po umístění prvku na vodní hladinu opatřeny plastovou zátkou, která zakryje vzniklý otvor.

Posouzení je provedeno pro přepravní úchyt s kulovou hlavou DEHA pro stěnové prvky, typ 6000-4.0-340 s únosností jedné kotvy při šikmém tahu do 45° $F_{Rd} = 29,6$ kN při zvedání prvku po odbednění. Vzhledem k použití vahadla je možné počítat s tím, že jsou zatíženy všechny 4 kotvy rovnoměrně.

Posouzení:

Tíha železobetonového prvku:

$$G_p = \rho_{\check{z}B} \cdot V_{\check{z}B} = 25 \cdot 1,865 = 46,625 \text{ kN} \quad (25)$$

kde: G_p je gravitační tíha prvku,

$\rho_{\check{z}B}$ je objemová hmotnost železobetonu,

$V_{\check{z}B}$ je objem prvku.

Síla v kotvě při odbedňování:

$$F_{Ed} = \frac{(G_p + A_{adh} \cdot v_{adh}) \cdot \gamma_D \cdot \gamma_{man} \cdot \gamma_G}{n} \quad (26)$$

$$F_{Ed} = \frac{(46,625 + 10,89 \cdot 2) \cdot 1,3 \cdot 1,16 \cdot 1,1}{4} \quad (27)$$

$$F_{Ed} = 28,368 \text{ kN} \quad (28)$$

kde: F_{Ed} je síla v kotvě vznikající při odbedňování prvku,

G_p je gravitační tíha prvku,

A_{adh} je plocha prvku v kontaktu s bedněním při odbedňování,

v_{adh} je přílnavost betonu k bednění (uvažována jako 2 kN/m²),

γ_D je dynamický součinitel (uvažován jako 1,30),

γ_{man} je součinitel vrcholového úhlu závěsu (uvažován jako 1,16),

γ_G je součinitel nejistoty vlastní tíhy prvku (uvažován jako 1,10),

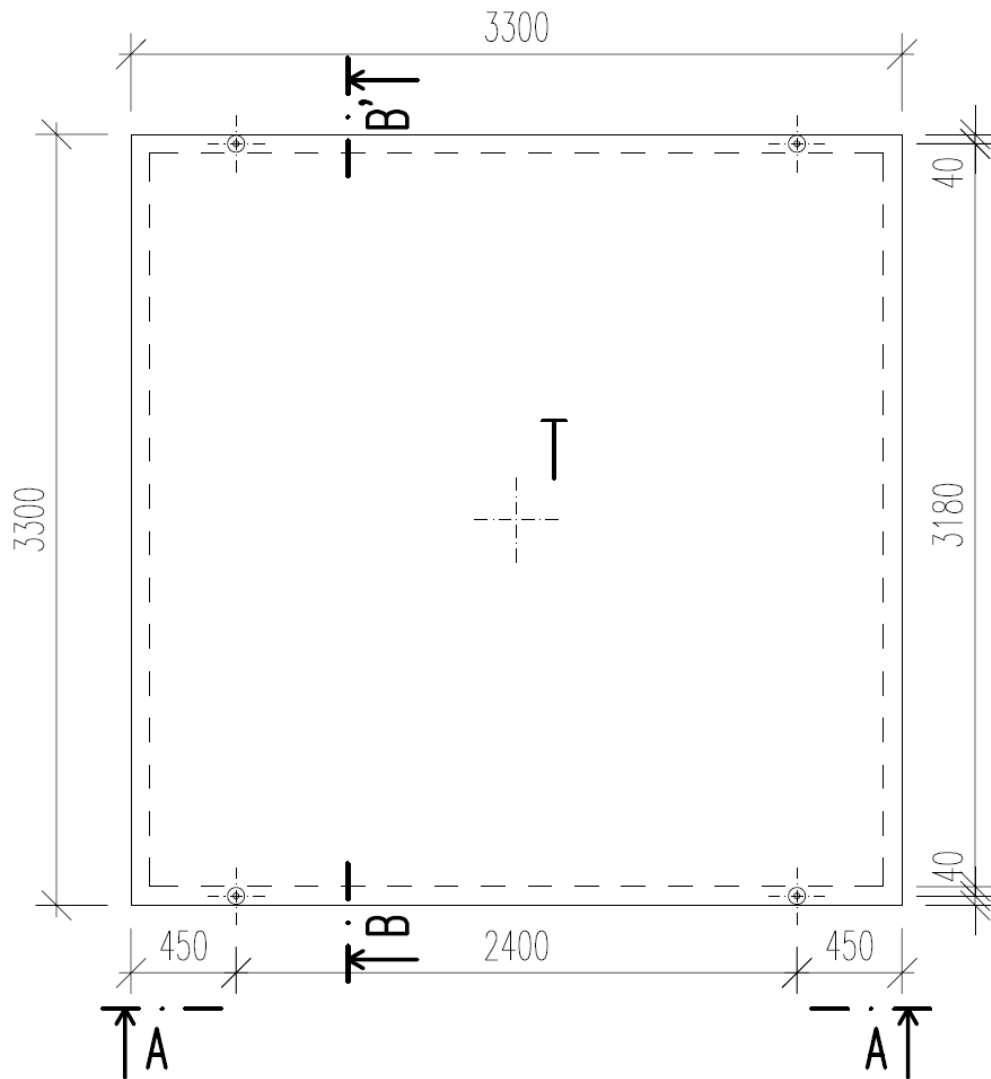
n je počet manipulačních úchytů.

Podmínka únosnosti manipulačních úchytů:

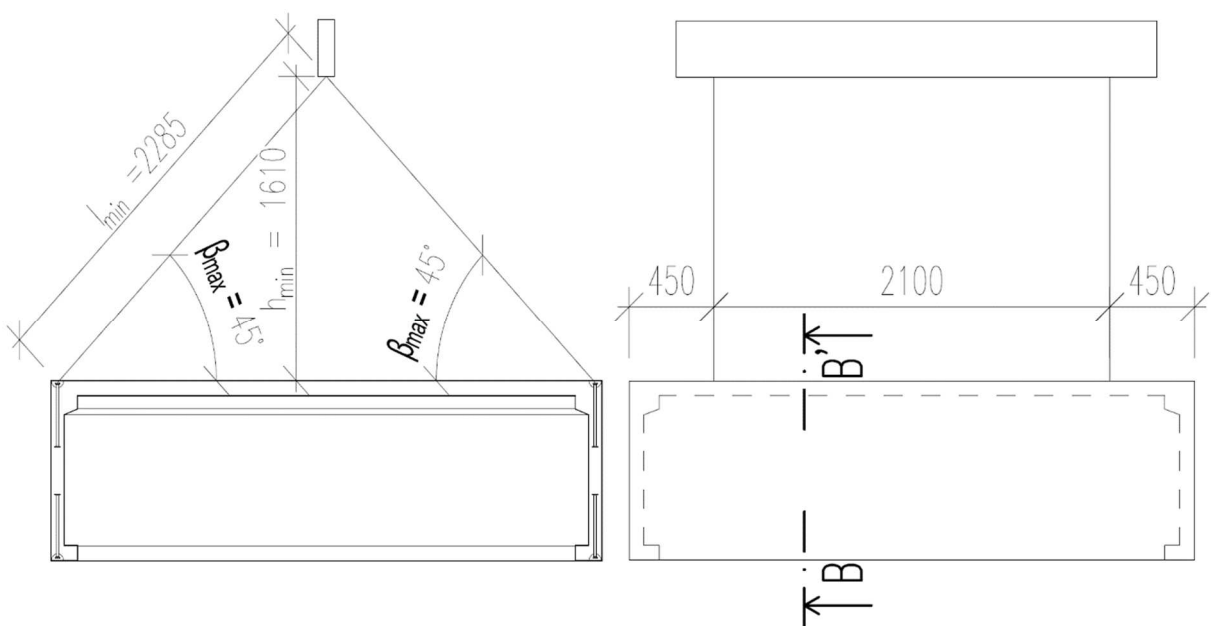
$$F_{Rd} \geq F_{Ed} \quad (29)$$

$$29,6 \geq 28,368 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (30)$$

Manipulační úchyty budou na prvku umístěny do dvou protilehlých stran, přičemž jejich vzdálenost od kraje prvku bude 450 mm.



Obr. 90 Půdorys rozmístění manipulačních úchytů



Obr. 91 Pohled A-A' a řez B-B' na rozmístění manipulačních úchytů

Maximální úhel, který může být mezi zvedacím lanem a svislicí je 45° . Minimální výška závěsu je $h_{\min} = 1610$ mm. Minimální délka lana je $l_{\min} = 2285$ mm.

Při prvním zvedání prvku po betonáži bude stáří betonu cca 3 dny. Jelikož je tento stav z hlediska namáhání prvku jeden z nejméně příznivých, je nutné ověřit, zda při tomto zvedání nevznikne v mladém betonu příliš velké napětí, které by vedlo k tvorbě trhlin a porušení prvku.

Výpočet pevnosti betonu v tahu/tlaku mladšího, než 28 dní je proveden dle [1].

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \quad (31)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\langle s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\rangle \quad (32)$$

$$f_{ctm}(t) = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10) \quad (33)$$

kde: $f_{cm}(t)$ je pevnost betonu v tahu starého t dní,

$\beta_{cc}(t)$ je součinitel zohledňující pevnost betonu starého t dní,

f_{cm} je pevnost betonu v tahu po 28 dnech,

s je součinitel zohledňující třídu betonu a druh použitého cementu,

t je stáří betonu v dnech.

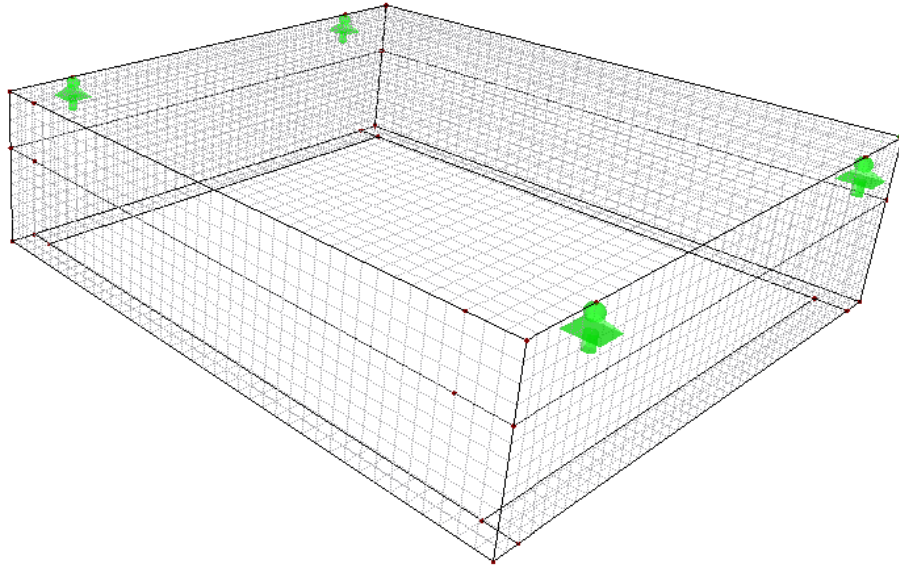
Konstrukce je navržena z betonu C 30/37 ($f_{cm} = 38$ MPa) a cementu CEM 42,5 R (součinitel $s = 0,25$). Konkrétní pevnosti betonu ve stáří 3 dnů po betonáži jsou poté následující:

$$\beta_{cc}(3) = \exp \left\langle 0,25 \left[1 - \left(\frac{28}{3} \right)^{1/2} \right] \right\rangle = 0,598 \quad (34)$$

$$f_{cm}(3) = 0,598 \cdot 38 = 22,733 \text{ MPa} \quad (35)$$

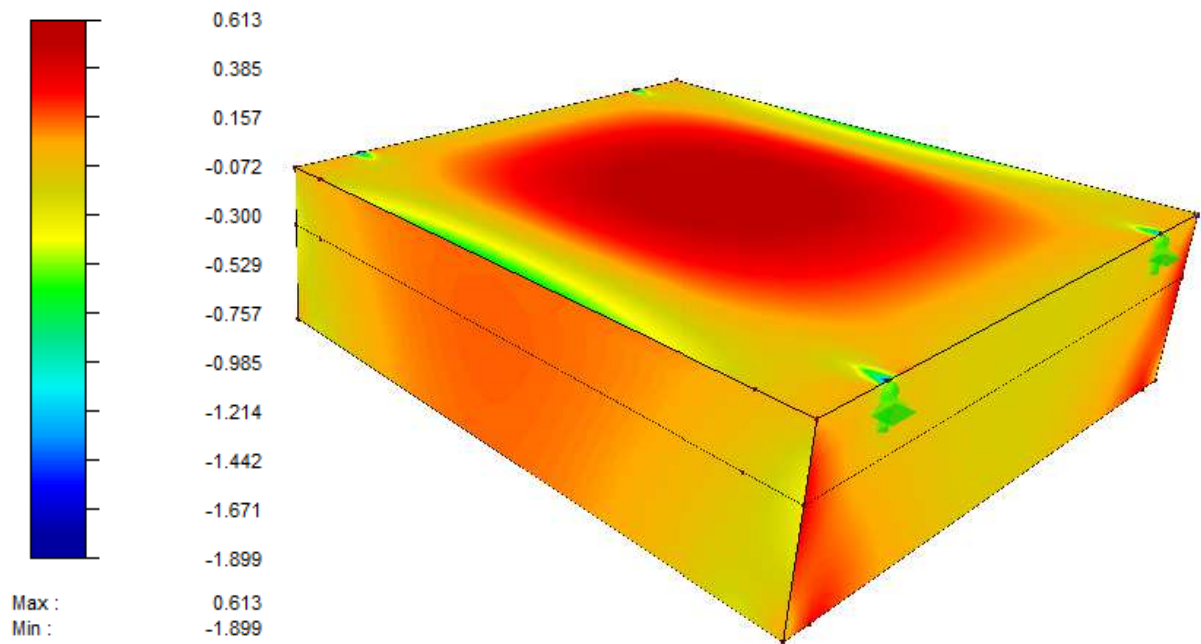
$$f_{ctm}(3) = 2,12 \ln(1 + 22,733/10) = 2,514 \text{ MPa} \quad (36)$$

Pro zjištění napětí, které při zvedání prvku z bednění vznikne, byl tento stav numericky vymodelován na deskostěnovém modelu. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny výstupy z tohoto zatěžovacího stavu.



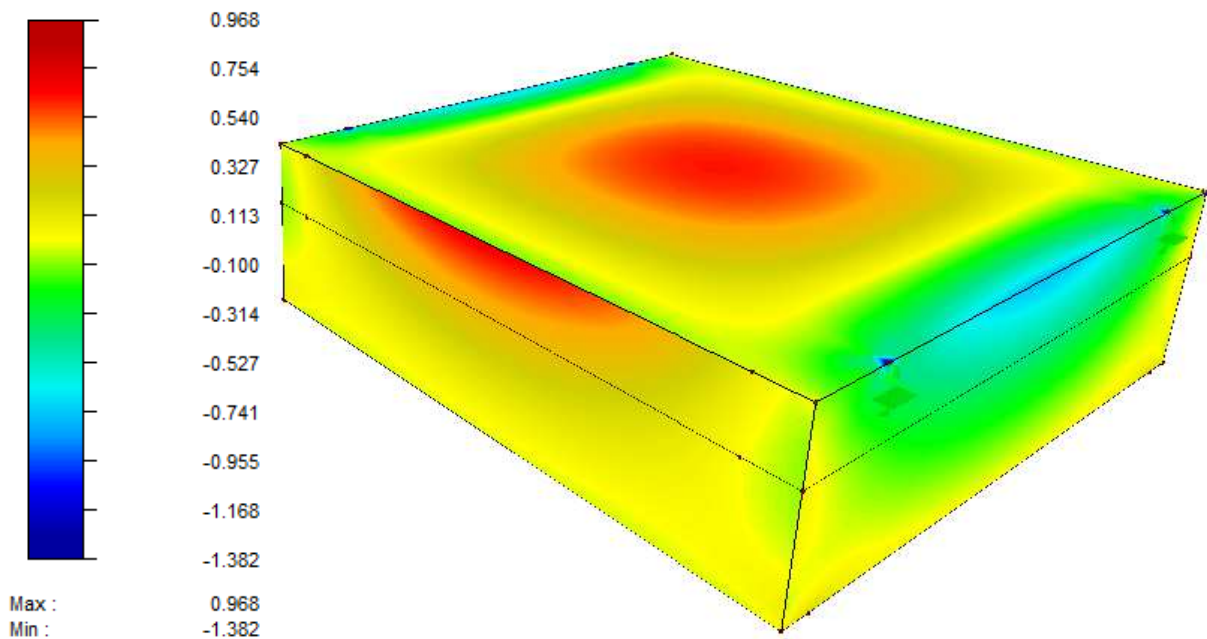
Obr. 92 Výpočetní model prvku při jeho zvedání pomocí kotev umístěných v úrovni pochozí desky

Základní hodnoty
 m_x [kNm/m]



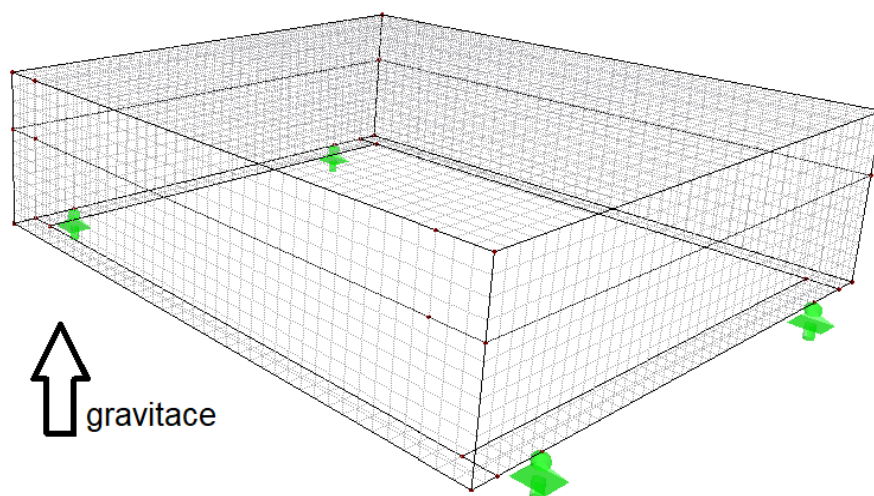
Obr. 93 Průběh základního momentu m_x prvku při jeho zvedání pomocí kotev umístěných v úrovni pochozí desky

Základní hodnoty
 m_y [kNm/m]



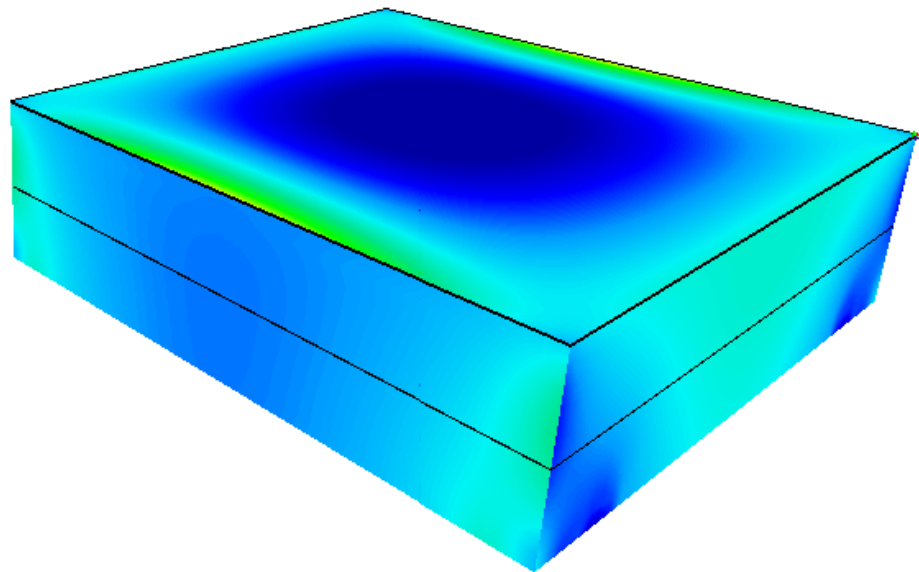
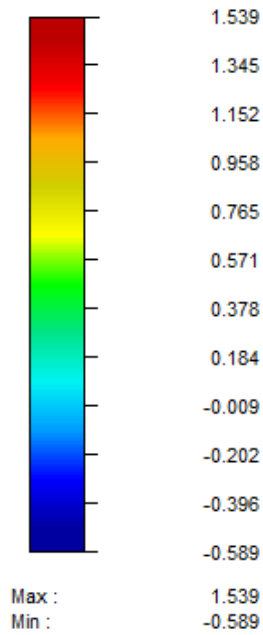
Obr. 94 Průběh základního momentu m_y prvku při zvedání prvku pomocí kotev umístěných v úrovni pochozí desky

Ve druhém případě byl posouzen prvek při zvedání pomocí kotev umístěných při spodní straně prvku v obvodovém žebře. V modelu byl tento stav simulován pomocí obrácení působení zatížení (gravitace) směrem vzhůru. Výstupy z modelu tohoto zatěžovacího stavu jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



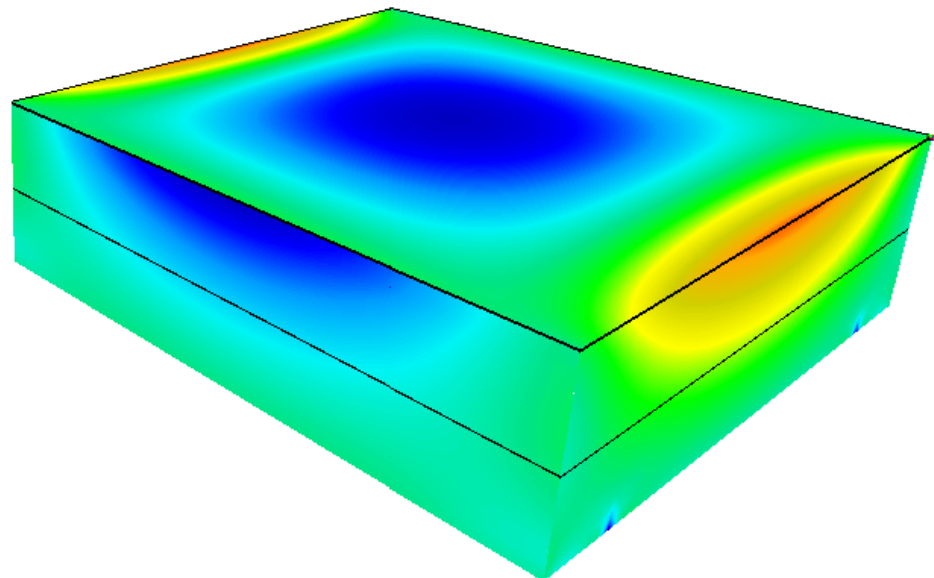
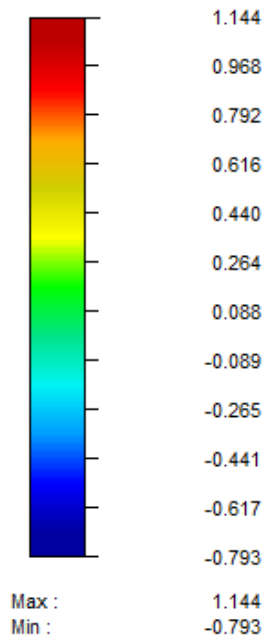
Obr. 95 Výpočetní model prvku při jeho zvedání pomocí kotev umístěných v úrovni obvodového žebra

Základní hodnoty
 m_x [kNm/m]



Obr. 96 Průběh základního momentu m_x prvku při jeho zvedání pomocí kotev umístěných v úrovni obvodového žebra

Základní hodnoty
 m_y [kNm/m]



Obr. 97 Průběh základního momentu m_y prvku při zvedání prvku pomocí kotev umístěných v úrovni obvodového žebra

Jako méně příznivý stav z hlediska namáhání prvku se jeví stav při jeho zvedání při použití manipulačních úchytů na spodní straně prvku v obvodovém žeburu. Maximální moment, který zde vzniká, je $m_{Ed} = 1,539$ kNm/m. Pro výpočet maximálního tahového napětí je nutné nejprve vypočítat průřezový modul desky prvku následovně:

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (37)$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 0,08^2 \quad (38)$$

$$W = 0,0010666 \text{ m}^3 \quad (39)$$

kde: W je průřezový modul,
 b je šířka prvku (pro desku 1 m),
 h je výška desky.

Následujícím způsobem poté lze vypočíst maximální tahové napětí vznikající na desce prvku při zvedání:

$$\sigma_{+,max} = \frac{m_{Ed}}{W} \quad (40)$$

$$\sigma_{+,max} = \frac{1,539}{0,0010666} \quad (41)$$

$$\sigma_{+,max} = 1,443 \text{ MPa} \quad (42)$$

kde: $\sigma_{+,max}$ je maximální tahové napětí,
 m_{Ed} je maximální vypočtený ohybový moment,
 W je průřezový modul.

Podmínka únosnosti desky prvku při zvedání:

$$f_{ctm}(3) \geq \sigma_{+,max} \quad (43)$$

$$2,514 \text{ MPa} \geq 1,443 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (44)$$

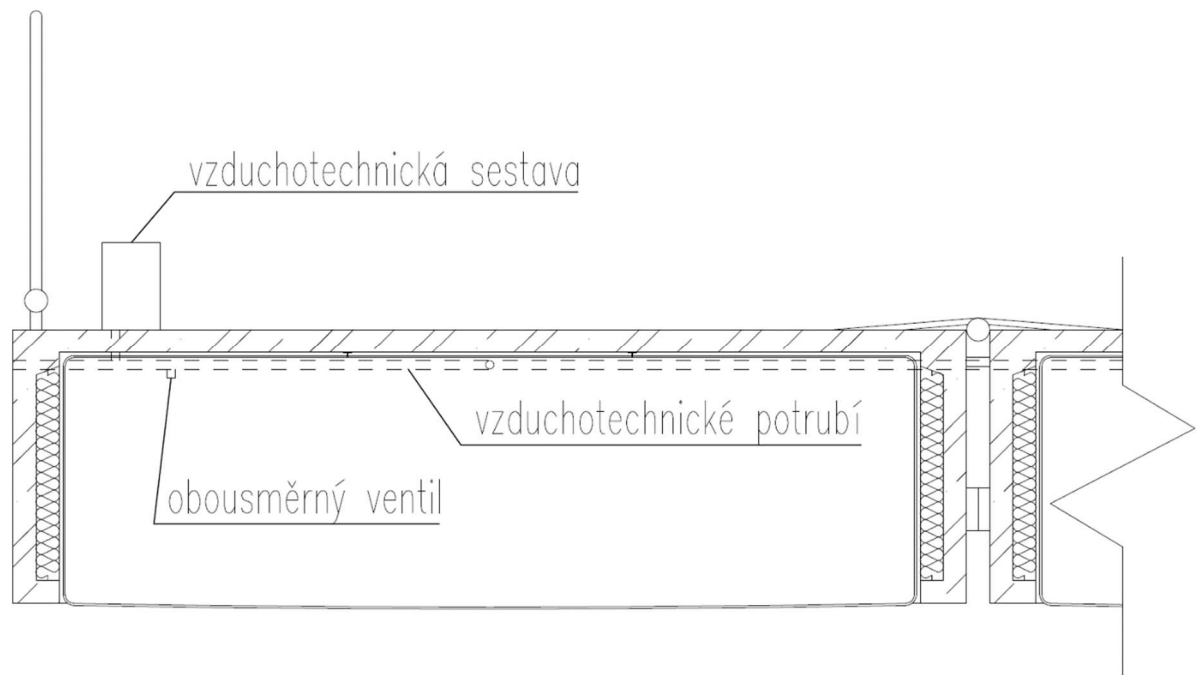
Mezi hodnotami pevnosti zvoleného betonu v tahu starého tři dny a maximálního tahového napětí při zvedání prvku je rezerva přibližně 1 MPa. Tato rezerva by měla zajistit, že ani důsledkem dynamického zatížení při zvedání nedojde ke vzniku trhlin v desce prvku.

6.5. Vzduchotechnický systém

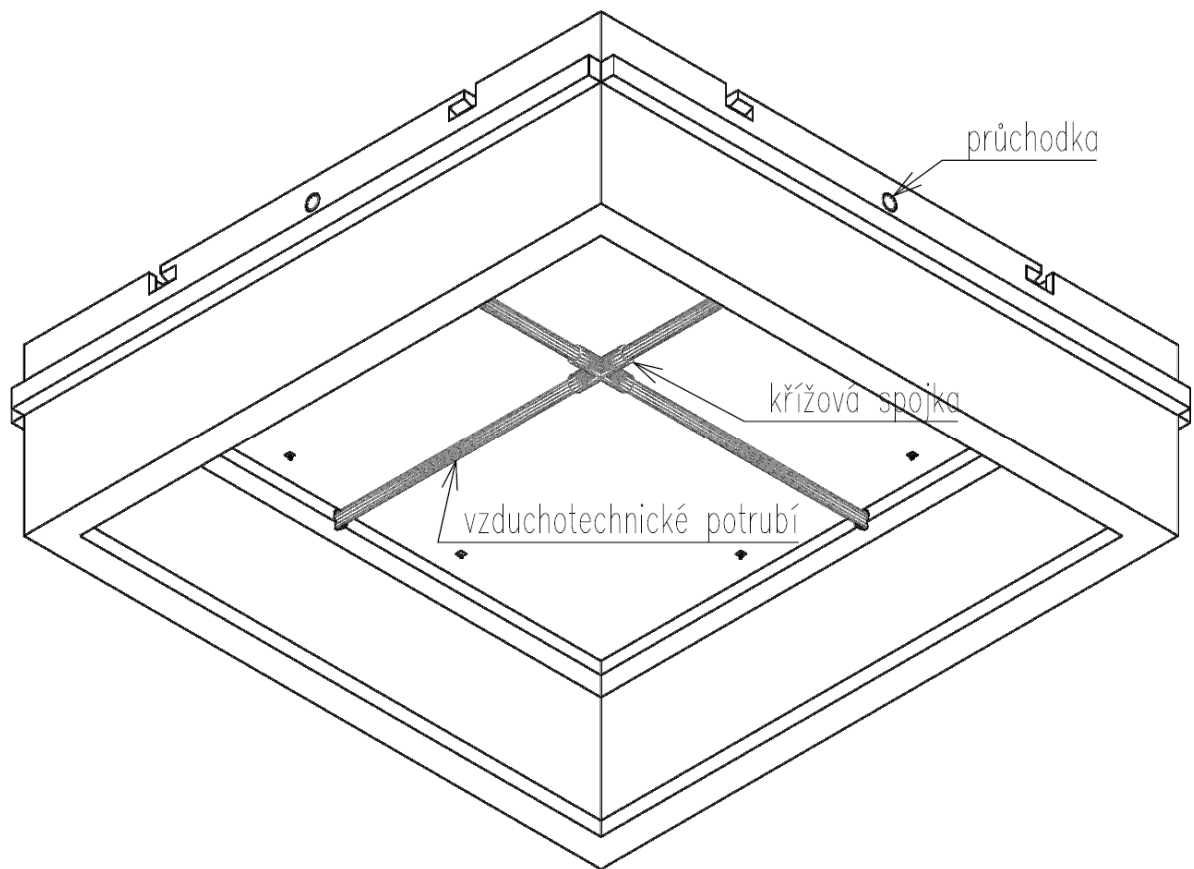
Vzduchotechnický systém je pro správné fungování námi navrhovanému systému nezbytný. Návrh tohoto systému však není úkolem pro odborníka ve stavební problematice. Z toho důvodu byl kontaktován zástupce společnosti AQUATIS a.s., konkrétně Ing. Ivo Vaněk, který se specializuje na vzduchotechnické systémy pro konstrukce vakových jezů. Tento specialista byl doporučen zástupci společnosti Trelleborg Bohemia, a. s., tedy přímo výrobcem vzduchového vaku.

V současné době je konkrétní podoba vzduchotechnického systému stále v přípravě a její výsledná podoba není známá. Požadavky na tento systém jsou, aby dovolil plynulou regulaci objemu a tlaku vzduchu a tím tedy i hloubky ponoření nebo vynoření prvku vzhledem k vodní hladině. Sousední prvky by měly být vzájemně propojeny přímými spojkami vzduchotechnického potrubí, což umožní jejich současné napouštění a vypouštění. Spojky budou procházet průchodkami, které budou v prvku předem zhotoveny.

Vzduchotechnickou sestavu tvoří většinou dmychadlo nebo kompresor se snímači tlaku vzduchu ve vaku pro zajištění plynulé regulace tlaku vzduchu. Tato sestava je umístěna na jeden z prvků, který se stane řídicím prvkem. S řídicím prvkem jsou sousední prvky propojeny pomocí spojek. Z tohoto řídicího prvku lze regulovat napouštění a vypouštění celé skupiny vzájemně propojených prvků. Před vypouštěním prvku se tato sestava od prvku odpojí a připojí se dlouhá trubka s plovákem na konci, která se zachytí u břehu. Po ponoření skupiny zůstane trubka s plovákem dostupná a pro opětné plování se připojí k mobilnímu kompresoru, který nafoukne vzduchové vaky ponořených prvků a tím obnoví plovatelnost celé skupiny. V místě volných konců mola bude spojka zaslepena plastovou záslepkou. Vzduchotechnické potrubí bude umístěno pod pochozí desku prvku. Okolo tohoto potrubí bude vzduchový vak. Vzduchotechnické potrubí bude se vzduchovým vakem propojeno pomocí obousměrného ventilu. V místě křížení vzduchotechnického potrubí se osadí křížové spojky.



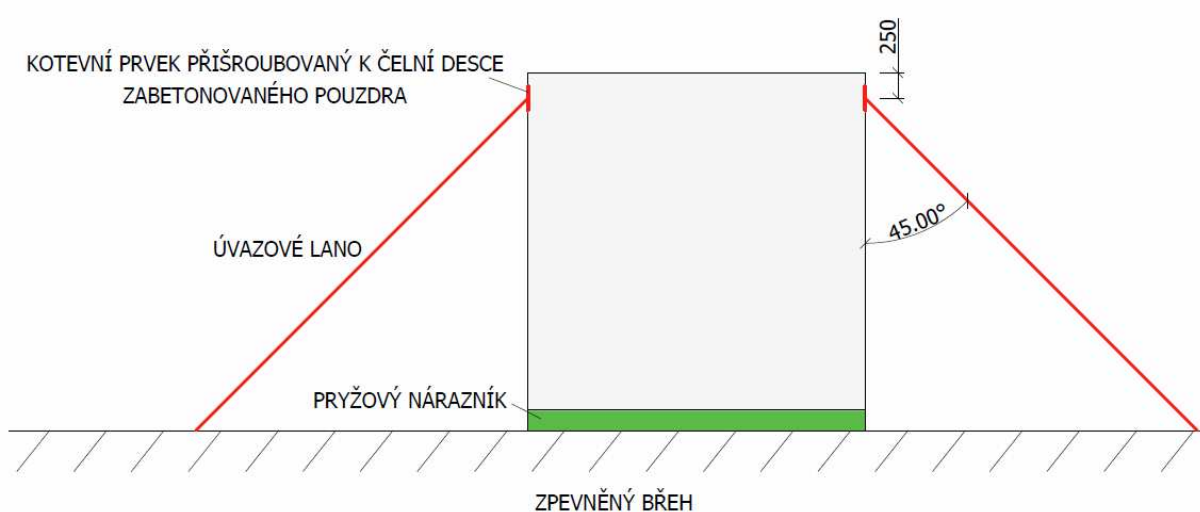
Obr. 98 Řez prvku s osazeným vzduchotechnickým potrubím



Obr. 99 Axonometrie prvku s osazeným vzduchotechnickým potrubím

6.6. Návrh úvazných lan

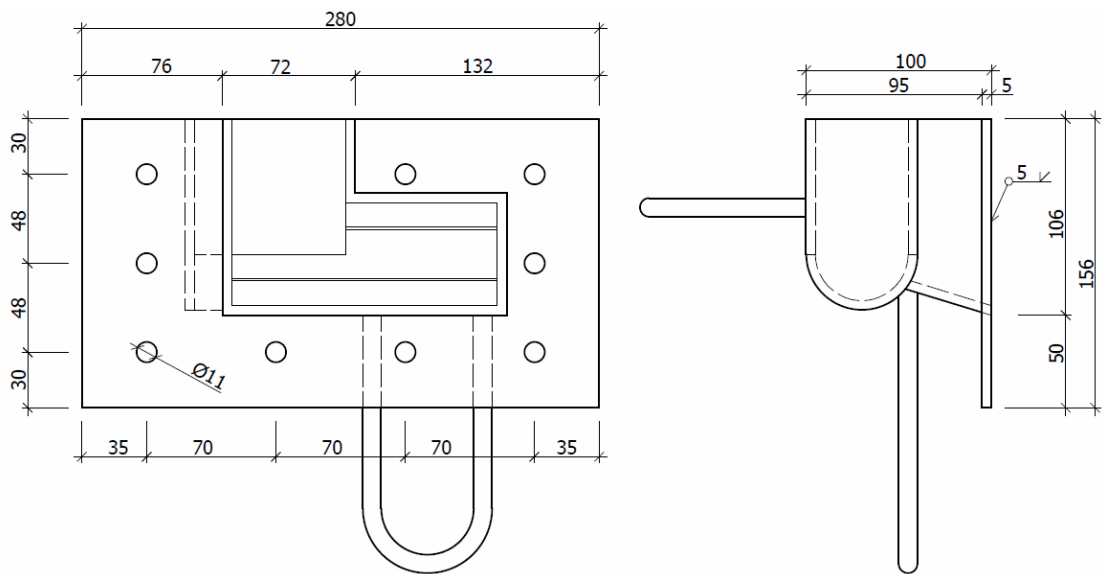
Návrh konstrukce zajišťující polohu prvků byl proveden Bc. Janem Matějkou a podrobný návrh těchto konstrukcí je popsán detailně v jeho diplomové práci [18]. Poloha prvků vůči břehu bude u reálného prvku zajištěna pomocí soustavy úvazných lan a rozpěr. V této fázi vývoje celého systému ponorných betonových mol bude proveden návrh pro prototypní segment mola, který bude vyroben v průběhu roku 2019. Tento prototypní prvek bude umístěn přímo u zpevněného břehu bez použití rozpěr nebo nástupní lávky.



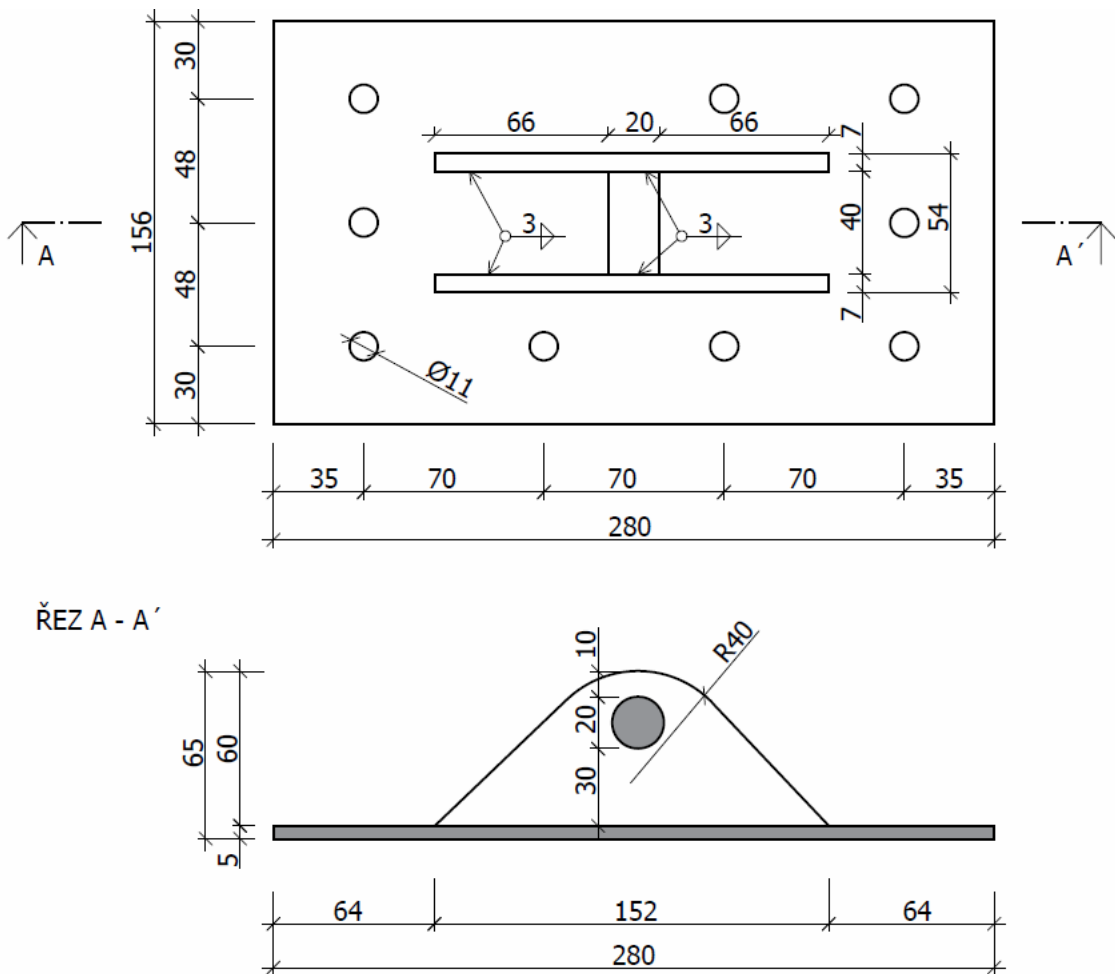
Obr. 100 Schéma upevnění prototypního dílce betonového mola, autorem schématu je Bc. Jan Matějka

Pro návrh tohoto úvazného systému byl proveden numerický model, jehož výsledky jsou podrobně uvedeny v diplomové práci zpracovávané Bc. Janem Matějkou [18]. Výsledkem numerického modelování je napětí, které v úvazném systému vzniká. Na toto napětí byl následně proveden návrh této konstrukce.

Pro ukotvení prvků budou použita úvazná lana s koncovou úpravou, která se k prvku připevní do pouzdra kloubového spoje na boku prvku, který nebude obsazený. Tato pouzdra kloubových spojů budou vybavena čelní deskou, která zajistí větší pevnost proti jeho vytržení z betonového prvku. Na břehu bude umístěn jednoduchý ocelový kotevní prvek. Druhá strana úvazného lana se provlékne tímto kotevním prvkem a zajistí se. Z návrhu vychází, že průměr úvazného lana bude nejméně 15 mm. Na následujících obrázcích jsou zobrazena schémata z předběžných návrhů těchto prvků.



Obr. 101 Schéma předběžného návrhu čelní desky ocelových pouzder – čelní a boční pohled, autorem schématu je Bc. Jan Matějka



Obr. 102 Schéma předběžného návrhu kotevního prvku – čelní pohled a řez, autorem schématu je Bc. Jan Matějka

Podrobný návrh úvazných prvků bude proveden v další části vývoje systému ponorných betonových mol.

6.7. Kontrolní systém tlaku ve vzduchovém vaku

System dálkové kontroly tlaku uvnitř vzduchového vaku je bezpečnostní systém, který bude cca každých 10 minut měřit tlak uvnitř vzduchového vaku. Pokud naměřené hodnoty budou vykazovat snížení tlaku, zapříčiněné např. protrhnutím vaku, tak systém upozorní obsluhu mola a ta může na tuto situaci reagovat. Dále také systém umožní kontrolu polohy pomocí GPS. To je výhodné zejména pokud by ponořené molo ohrožovala velmi velká povodeň.

Zvolenou variantou je systém společnosti Foxconn Technology CZ, s.r.o., který byl vyvinut pro tento projekt. Podklady pro tento systém byly vytvořeny přímo zástupci této společnosti. Kontrolní systém je v této variantě napojen na síť LoRa a lze k němu připojit i měření tlaku.



Obr. 103 Čidlo polohy na síti LoRa – Asset tracker Pro dodávané společností Foxconn Technology CZ, s.r.o.

Snímač bude osazen do kapsy v blízkosti vzduchových ventilů. Snímač je vodotěsný s odolností IP66, IP68. Dále je k němu napojena průmyslová anténa pro zlepšení dosahu. V následující tabulce jsou shrnuty technické údaje tohoto senzoru.

Tab. 6 Technické údaje senzoru dodávaného společností Foxconn Technology CZ, s.r.o.

Technické údaje senzorů	Hodnoty
Baterie	Průmyslová lithiová baterie velikosti C
Pracovní teplota	-60 až +85 °C
Komunikace	LoRaWAN verze 1.0.1
Pracovní prostředí	Různé, odolnost vůči vlhkosti
Rozměry	89 x 80 x 47 mm
Hmotnost	185 g

7. Návrh a výroba vzorků pro hydraulické zkoušky

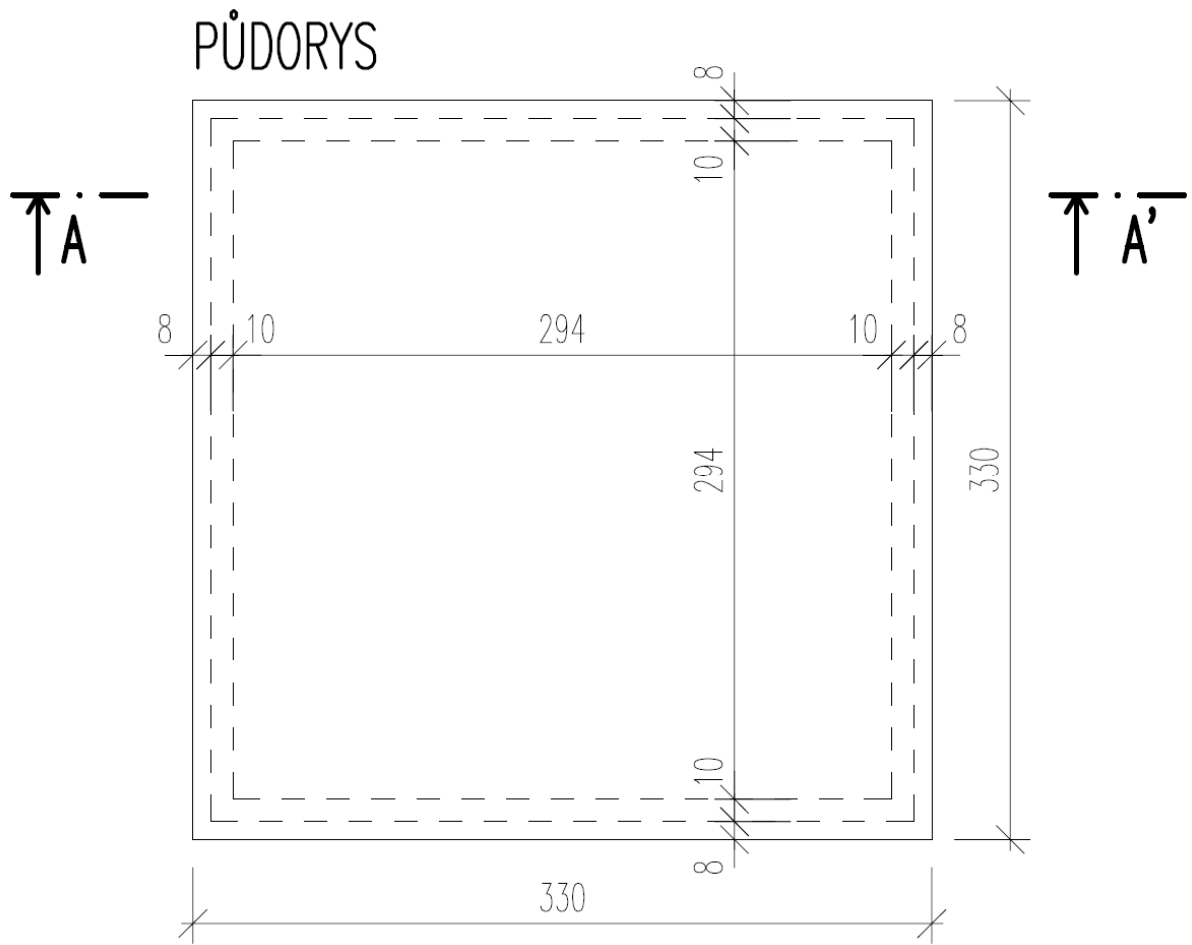
7.1. Návrh vzorků

Hydraulickými zkouškami dojde k ověření vypočtených výsledků a také dojde k zjištění chování konstrukce u jevů, které se nedají jednoduše vypočítat (chování konstrukce při působení vln, stabilita konstrukce u dna při vypuštěném vodním vaku a proudění okolní vody apod.). Nejprve bylo nutné stanovit všechny potřebné zkoušky. Spolu s prof. Ing. Jaroslavem Pollertem, Ph.D. byly stanoveny zkoušky, jejichž seznam se nachází v kapitolách 8.3.

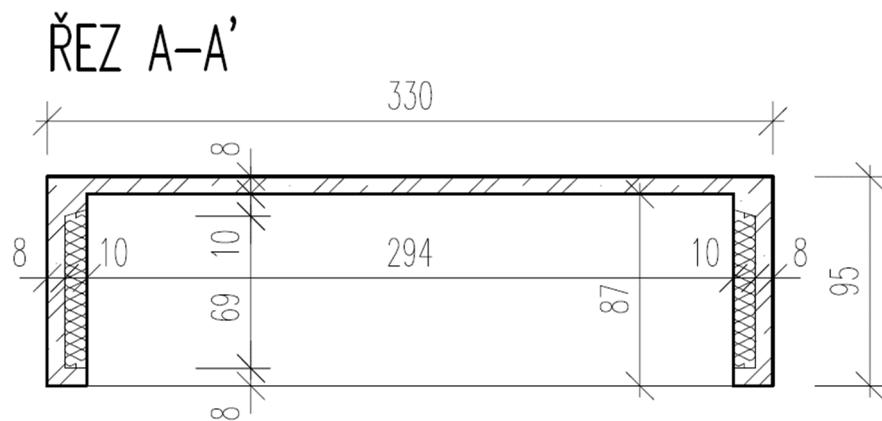
Statické hydraulické zkoušky a 8.4. Dynamické hydraulické zkoušky. Dále bylo domluveno, že zkoušky budou provedeny v hydraulické laboratoři na Fakultě stavební ČVUT. Konkrétně ve zkušební žlabu dlouhém 15 m a širokém 1 m. Zkušební žlab je tvořen plechovým dnem a dvěma skleněnými bočními stěnami.

Jedna část statických hydraulických zkoušek je uvažována jako zkoušky skupiny prvků 3x3. Z toho důvodu byl určen počet zkušebních vzorků jako 9. Geometrie zkušebních vzorků vychází z návrhu rozměrů skutečného prvku. Bylo však nutné stanovit správné měřítko, aby bylo možné vůbec vyrobit vzorky a také provést všechny potřebné zkoušky. Jelikož je navrhovaný půdorysný rozměr skutečného prvku 3,3 x 3,3 m, bylo vybráno měřítko zkušebních vzorků 1:10. V tom případě byly navrženy rozměry zkušebních vzorků jako 330 x 330 x 95 mm s tloušťkou prvku 8 mm. Při takovýchto půdorysných rozměrech je možné do žlabu umístit vedle sebe až tři prvky (reálně by to negativně ovlivnilo výsledky zkoušek, takže lze zkoušet jen dva vzorky vedle sebe) a zároveň není tloušťka prvku příliš malá, aby nebylo možné zkušební prvek vyrobit.

Ve skutečném prvku je uvnitř po obvodu jako výplňový materiál umístěn extrudovaný polystyren o tloušťce 80 mm. U zkušebních vzorků v měřítku 1:10 by potom měl být tento polystyren tloušťky 8 mm. Takto tenký polystyren se však nevyrábí a ruční výroba by byla náročná a nepřesná. Z toho důvodu byla u zkušebních vzorků navýšena tloušťka polystyrenu na 10 mm. Se zvětšením tloušťky extrudovaného polystyrenu dojde také ke zvětšení obvodového patního žebra a tím dojde i k zvětšení celkové hmotnosti prvku (přibližně o 40 g). Jelikož je toto navýšení rovnoměrně rozloženo, neovlivní výsledky zkoušek. Na následujících obrázcích je rozkreslen půdorys a řez zkušebním prvkem.



Obr. 104 Půdorys zkušebního prvku



Obr. 105 Řez zkušebním prvkem

7.2. Návrh a výroba bednění a výběr směsi

Každá nerovnoměrnost rozložení hmotnosti u zkušebních vzorků se projeví hned po jejich umístění na vodní hladinu. Pokud by nebyla hmotnost rovnoměrně rozložena, došlo by k naklánění prvku a musel by se vyvažovat. Z toho důvodu bylo nutné vyrobit zkušební prvky s co možná největší přesností.

Zkušební prvky se musí stejně jako reálné prvky betonovat v obrácené poloze, aby měla horní deska rovný a hladký povrch. Jelikož se jedná o tvar dutého kvádrů s horním výztužným žebrem a dolním patním žebrem, nabízí se vyrobit bednění z vnějšího obvodového kusu a vnitřní vložky. Uvažovalo se, že bude bednění použito pro několik betonáží, z toho důvodu bylo nutné ho navrhnout jako rozebíratelné.

První variantou bylo bednění z dřevěných desek. Tato varianta je výhodná v tom, že lze vybetonovat prvek s nejvyšší přesností. Bednění se skládá z vnějšího obvodového kusu a vnitřního výplňového kusu. Velký důraz musí být kladen na rozebíratelnost obou kusů, aby bylo možné zkušební prvek bez problémů odbednit.

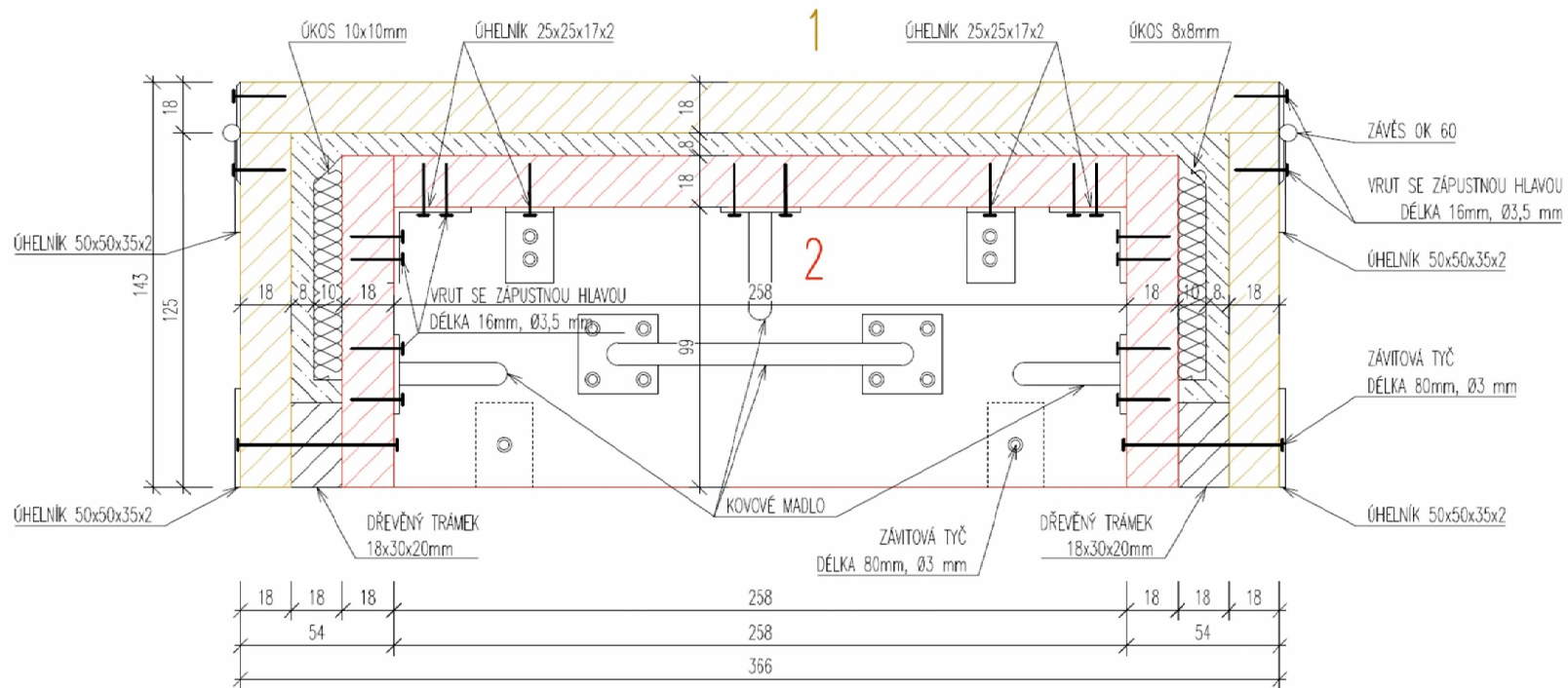
Druhou variantou je bednění tvořené vnějším kusem z dřevěných desek stejně jako u předchozí varianty a vnitřním kusem, který je tvořený polystyrenovým kvádrem. Polystyrenový kvádr se při odbedňování vydlabe, čímž dojde k šetrnějšímu odbedňování. Nevýhodou je, že tento polystyrenový kvádr lze použít pouze vždy pro jednu betonáž. Další nevýhodou je, že polystyren má tendenci v betonu vyplavávat. To by mohlo způsobit jeho nadzdvihnutí (zejména při hutnění vibrací) a nerovnoměrné rozložení hmotnosti nebo celkově tloušťkou horní desky.

Třetí varianta je bednění vyrobené z ocelových plechů. Tato varianta by vedla k nejvyšší přesnosti. Bednění lze navrhnout také jako rozebíratelné a odbedňování lze provést mnohem snáze než u první varianty s bedněním tvořeným z dřevěných desek. Nevýhodou je, že cena takového bednění je mnohem vyšší než u předchozích variant. Jelikož je nutné vyrobit malé množství zkušebních vzorků, je tato varianta ekonomicky nevýhodná.

Po vyhodnocení výhod a nevýhod byla pro výrobu zkušebních vzorků vybrána první varianta tvořená vnějším a vnitřním kusem, kdy oba kusy jsou vyrobeny z dřevěných desek. Vzhledem k opakovanému použití bylo nutné vyrobit desky z dostatečně pevného materiálu, který nebude tolik podléhat vlivu opotřebení při odbedňování a také musí být nenasákavý. Proto byly vybrány desky z překližky tl. 18 mm opatřené nenasákavou úpravou.

Desky k sobě byly připevněny pomocí L profilů s otvory pro vruty. Tyto L profily bylo možno odmontovat a tím postupně rozebrat celé bednění. Pro snazší odbedňování byly na desky vnitřního kusu bednění připevněna ocelová madla. U vnějšího kusu bednění byly jeho stěny připevněny k desce pomocí pantů, což umožňovalo sklopení stěn a jednodušší zacházení. Vzdálenost mezi vnitřním a vnějším kusem zajišťovaly po obvodě dřevěné distančníky s otvorem, které se vložily do místa, kde byl na vnitřním i vnějším kusu připraven otvor. Skrze tyto připravené otvory se protáhla závitová tyč o průměru 3 mm a zajistila se matkami na obou stranách. Pro vybetonování správné tloušťky desky do vnějšího kusu bednění, bylo potřeba posadit vnitřní kus bednění také na distančníky. Jako distančníky byly použity ocelové matky o tloušťce 8 mm. Pro takto navržené bednění se vytvořila výkresová dokumentace, která je zobrazena na následujících obrázcích.

PŘÍČNÝ ŘEZ – SOUSTAVA BEDNĚNÍ



LEGENDA

- DÍL Č. 1 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL 18mm S POVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU
- DÍL Č. 2 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL 18mm S POVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU
- BETONOVANÝ VZOREK
- POLYSTYREN

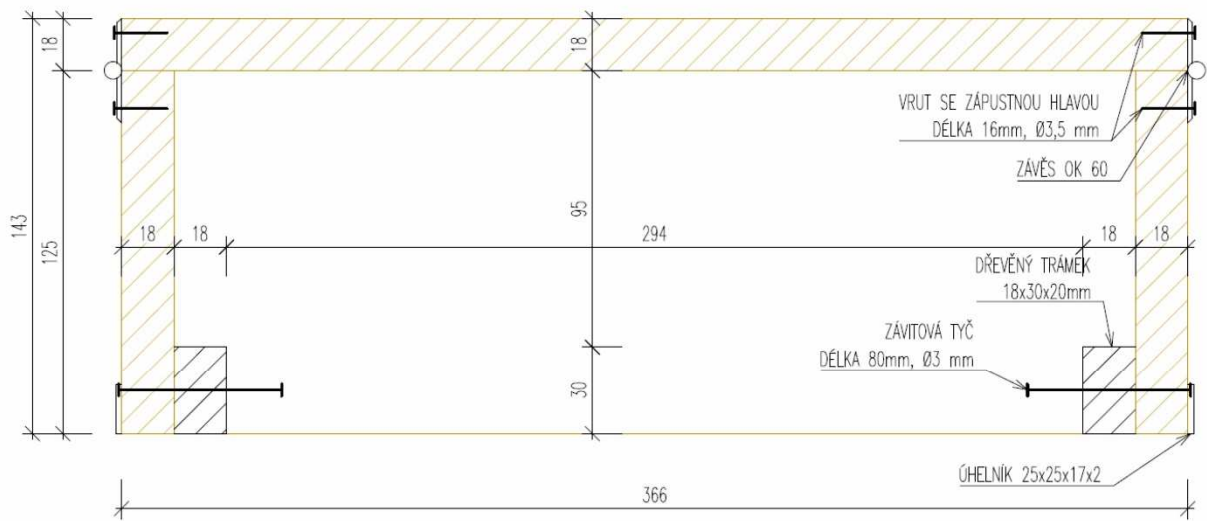
POZNÁMKY

MĚŘÍTKO – 1:2
ROZMĚRY KÓTOVÁNY V mm

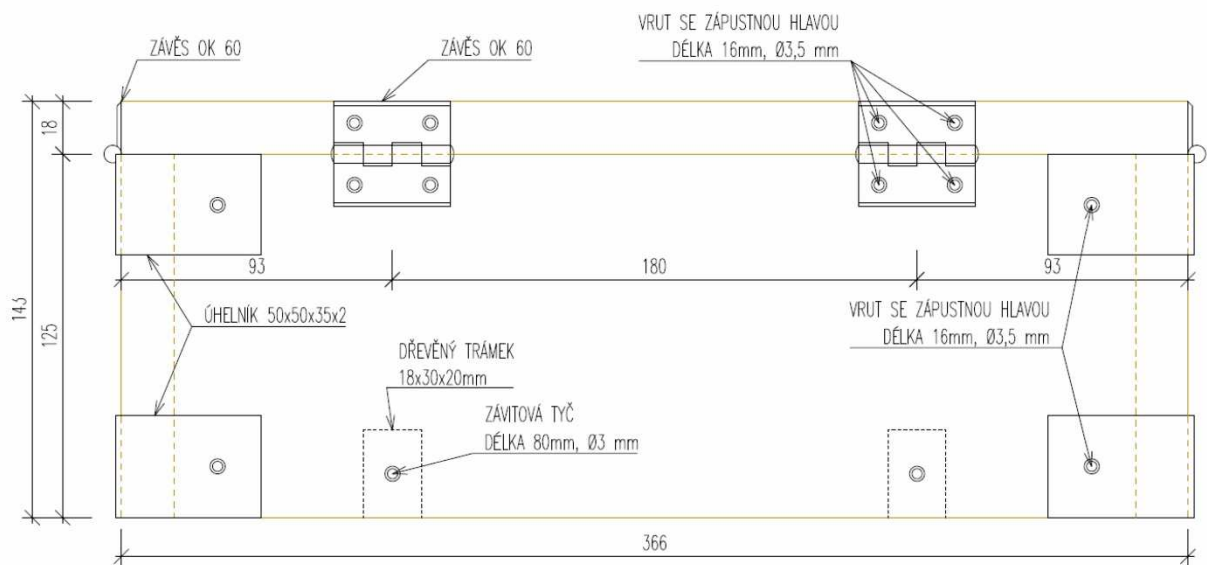
PLOCHY JEDNOTLIVÝCH DÍLCŮ:
DÍLEČ 1 – 0,272 m²
DÍLEČ 2 – 0,189 m²
CELKOVÉ – 0,461 m²

Obr. 106 Příčný řez soustavou bednění

PŘÍČNÝ ŘEZ – DÍL Č. 1



BOČNÍ POHLED – DÍL Č. 1



LEGENDA

 DÍL Č. 1 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL 18mm S PVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU

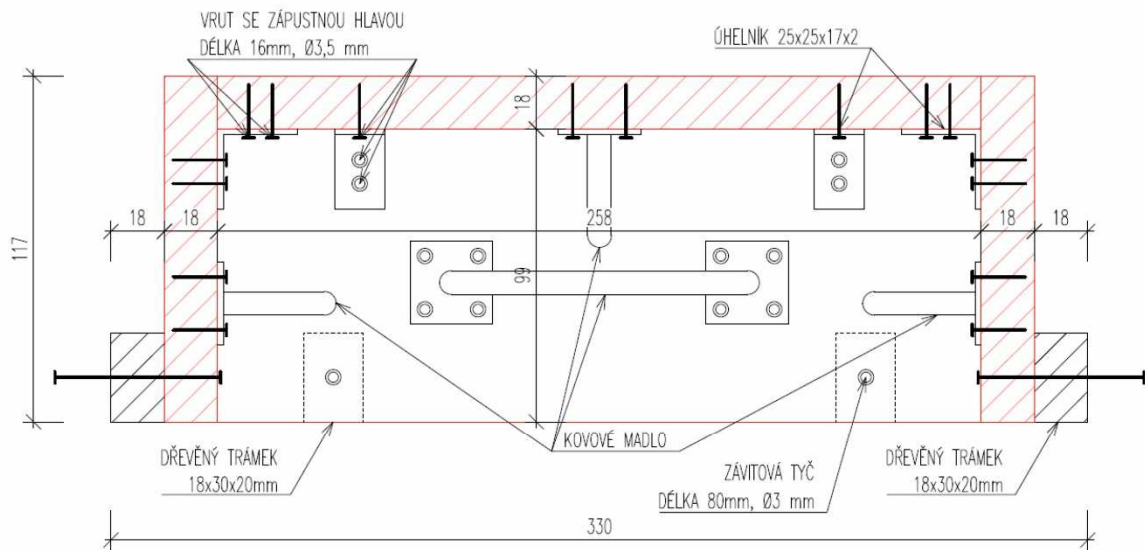
POZNÁMKY

MĚŘITKO – 1:2
ROZMĚRY KÓTOVÁNY V mm

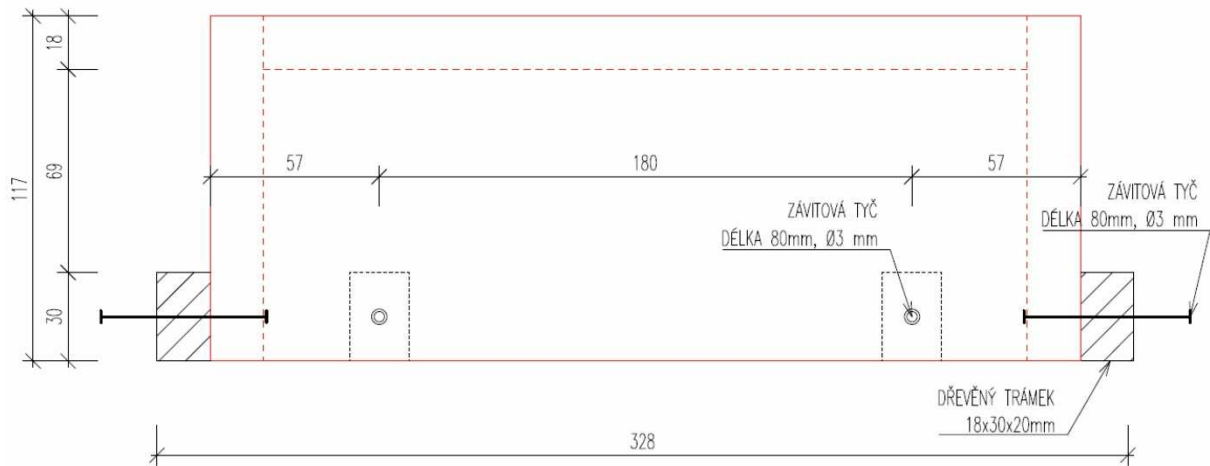
PLOCHA DILECE 1 – 0,272 m²

Obr. 107 Příčný řez a boční pohled na vnější díl (díl č. 1)

PŘÍČNÝ ŘEZ – DÍL Č. 2



BOČNÍ POHLED – DÍL Č. 2



LEGENDA

 DÍL Č. 2 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL. 18mm S PVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU

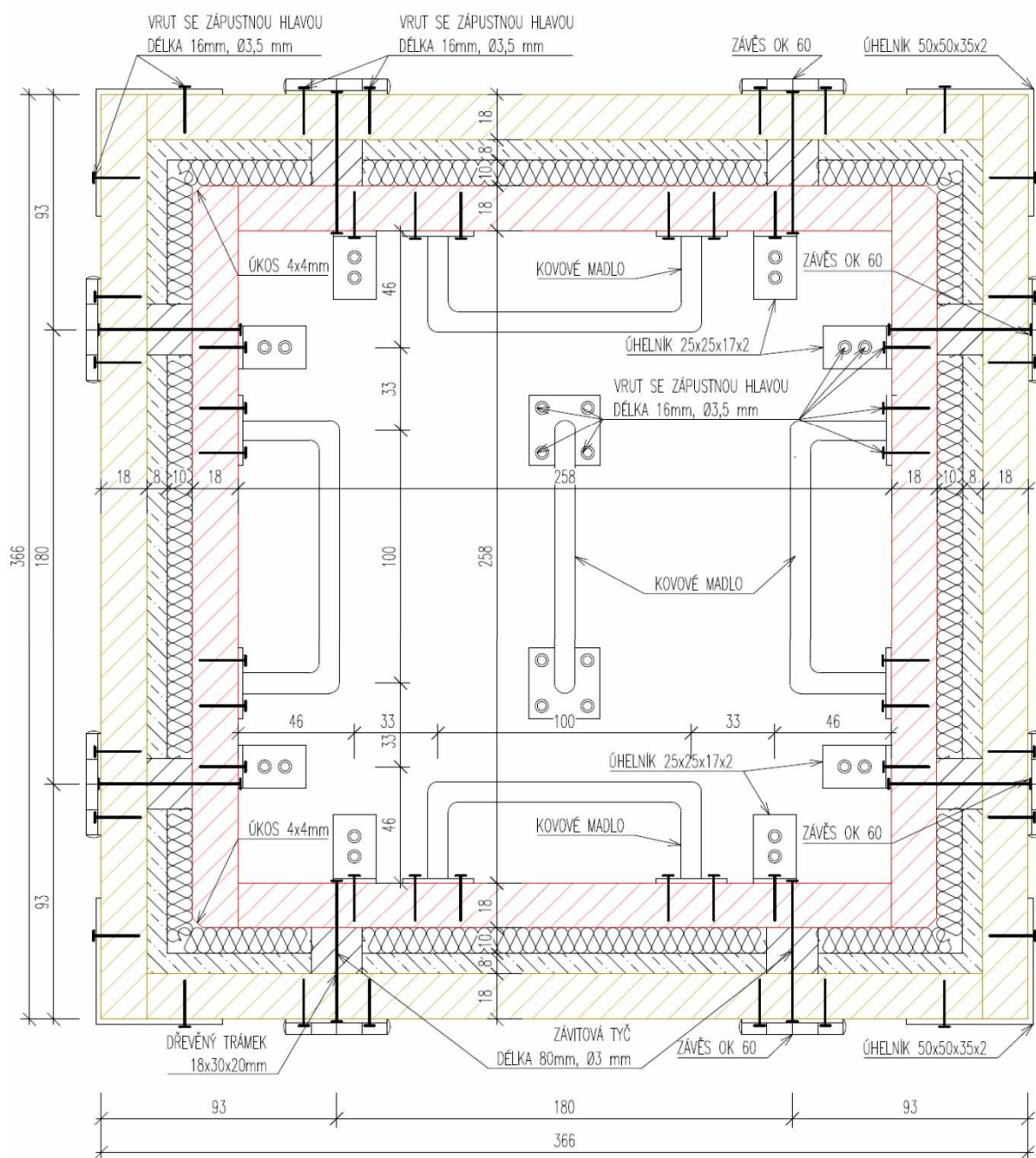
POZNÁMKY

MĚŘÍTKO – 1:2
ROZMĚRY KÓTOVÁNY V mm

PLOCHA DÍLECE 1 – 0,272 m²

Obr. 108 Příčný řez a boční pohled na vnitřní díl (díl č. 2)

POHLED ZESPODU – SOUSTAVA BEDNĚNÍ



LEGENDA

-  DÍL Č. 1 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL. 18mm S PVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU
-  DÍL Č. 2 – DESKA Z DŘEVOTŘÍSKY TL. 18mm S PVRCHOVOU VODOTĚSNOU ÚPRAVOU
-  BETONOVANÝ VZOREK
-  POLYSTYREN

POZNÁMKY

MĚŘÍTKO – 1:2
ROZMĚRY KÓTOVÁNY V mm

PLOCHY JEDNOTLIVÝCH DÍLCŮ:
DÍLEC 1 – 0,272 m²
DÍLEC 2 – 0,189 m²
CELKOVĚ – 0,461 m²

Obr. 109 Pohled ze spodu do soustavy bednění

Poté byla celá sestava bednění objednána u truhláře. Truhlář odvedl opravdu kvalitní práci a bednění bylo přesně tak, jak bylo objednáno. Celkově byla soustava použita na celkem 5 betonáží, a i přes její viditelné opotřebení byla ještě použitelná.



Obr. 110 Vyrobená soustava bednění



Obr. 111 Pohled do soustavy bednění

Při návrhu směsi bylo nutné dosáhnout dostatečné zpracovatelnosti, aby bylo možné probetonovat veškeré části extrémně tenkého prvku, a taktéž dosáhnout dostatečně velké objemové hmotnosti, aby materiál zkušebních vzorků co nejlépe odpovídal betonu, který bude použit pro reálné prvky. Z toho důvodu byla navržena velmi tekutá směs s vysokým vodním součinitelem 0,65 (složení viz následující tabulka), která dosáhla objemové hmotnosti 2170 kg/m^3 . Objem zkušebního vzorku je $1,86 \text{ dm}^3$. Hmotnost jednoho zkušebního vzorku by tedy měla být přibližně 4,04 kg.

Tab. 7 Složení směsi pro zkušební vzorky

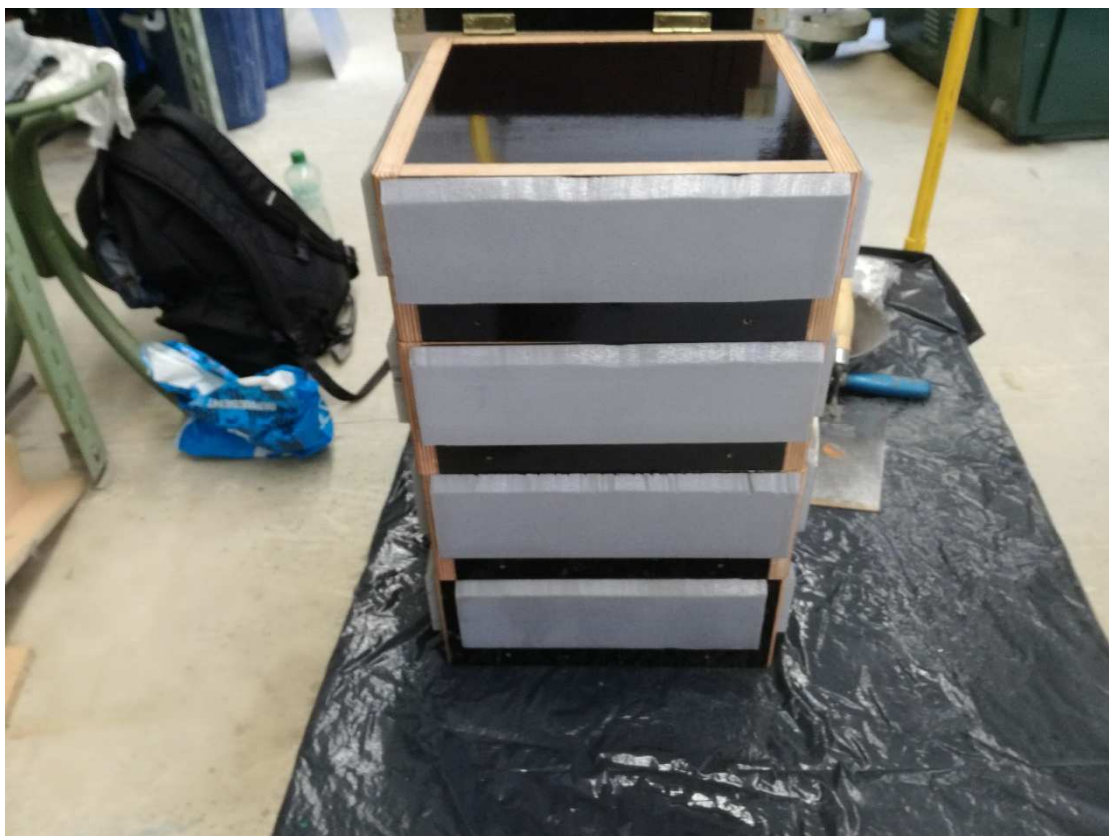
Složka	Specifikace	Dávka [kg/m ³]
Cement	CEM I 42,5 R	400
Voda	-	260
w/c	-	0,65
Kamenivo	Křemen 0/4	1600
Metakaolin	Mefisto L05	80
Superplastifikátor	Sika 0.5	2

7.3. Výroba vzorků a úprava bednění

Bylo potřeba vyrobit celkem 9 vzorků a pro výrobu bylo možné použít 4 sestavy bednění. Jelikož je konstrukce svou velmi malou tloušťkou atypická, bylo pro jistotu domluveno, že se provedou tři betonáže a tím bude vyrobeno celkem 12 vzorků, ze kterých se vybere požadovaných 9 nejlepších (nejpřesněji vyrobených).

Nejprve bylo potřeba vyrobit desky z extrudovaného polystyrenu, které byly připevněny pomocí oboustranné lepicí pásky k vnitřnímu dílu bednění. Problémovým místem na těchto deskách byla horní šikmina, která měla vytvořit horní výztužné žebro. Desky byly nařezány na řezačce s odporovým drátem, kde nebylo možné desku zafixovat, aby byl šikmý řez zcela rovný. Proto byly na některých deskách drobné nepřesnosti, které by však neměly mít větší vliv na výsledný zkušební vzorek.

Před samotnou betonáží byly oba díly natřeny pomocí odbedňovacího oleje pro následné snazší odbedňování. Do jednotlivých spár vnějšího kusu bednění se naněsil sanitární silikon, který zamezil prosakování betonu.



Obr. 112 Vnitřní kusy bednění s přilepenou deskou z extrudovaného polystyrenu natřené odbedňovacím olejem

Nejprve se do vnějšího dílu bednění nanasla betonová směs v požadované tloušťce, přičemž se průběžně provádělo hutnění za pomoci vibračního stolu. Pro správnou tloušťku desky prvku se do vnějšího kusu bednění vložila čtveřice ocelových matek o tloušťce 8 mm. Když byla dosažena požadovaná tloušťka desky zkušebního prvku, vložil se dovnitř vnitřní kus bednění. Poté se mezi jednotlivé díly bednění vložila dřevěná distanční tělíska na předem připravená místa s vyvrtaným otvorem a oba díly se spojily závitovou tyčí o průměru 3 mm. Betonáž pokračovala stěnami zkušebního prvku. Po dosažení požadované úrovně betonové směsi byla betonáž hotová. Po vybetonování všech čtyř zkušebních prvků byly formy překryty plastovou folií, aby bylo zamezeno úniku vody ze směsi a tím většímu smršťování zkušebního prvku.



Obr. 113 Betonáž desky zkušebního prvku



Obr. 114 Vybetonovaný zkušební prvek

Odbedňování vzorků probíhalo dva dny po betonáži. Nejprve bylo nutné na vnitřním kusu bednění demontovat spojovací L profily, které spojovaly jednotlivé desky k sobě. Poté bylo bednění postupně demontováno. Nejprve stěny, poté dno vnitřního dílu, a nakonec bylo nutné sklopit stěny vnějšího dílu.

Již před odbedňováním bylo u prvních vzorků patrné porušení betonu trhlinami v rozích zkušebního prvku, které bylo pravděpodobně způsobeno smršťováním velmi tenkého prvku z betonu s vysokým vodním součinitelem, jehož volné deformaci bylo bráněno tuhým vnitřním dílem bednění. Při odbedňování se jako velice problematická ukázala šetrná demontáž vnitřního dílu bednění. Vnitřní díl bednění byl ve vzniklé betonové skořepině velmi těsně sevřen a k jeho vyjmutí bylo zapotřebí použití hrubé síly. Oba tyto faktory vedly k tomu, že se celý zkušební prvek rozlámал na jednotlivé stěny a desky.

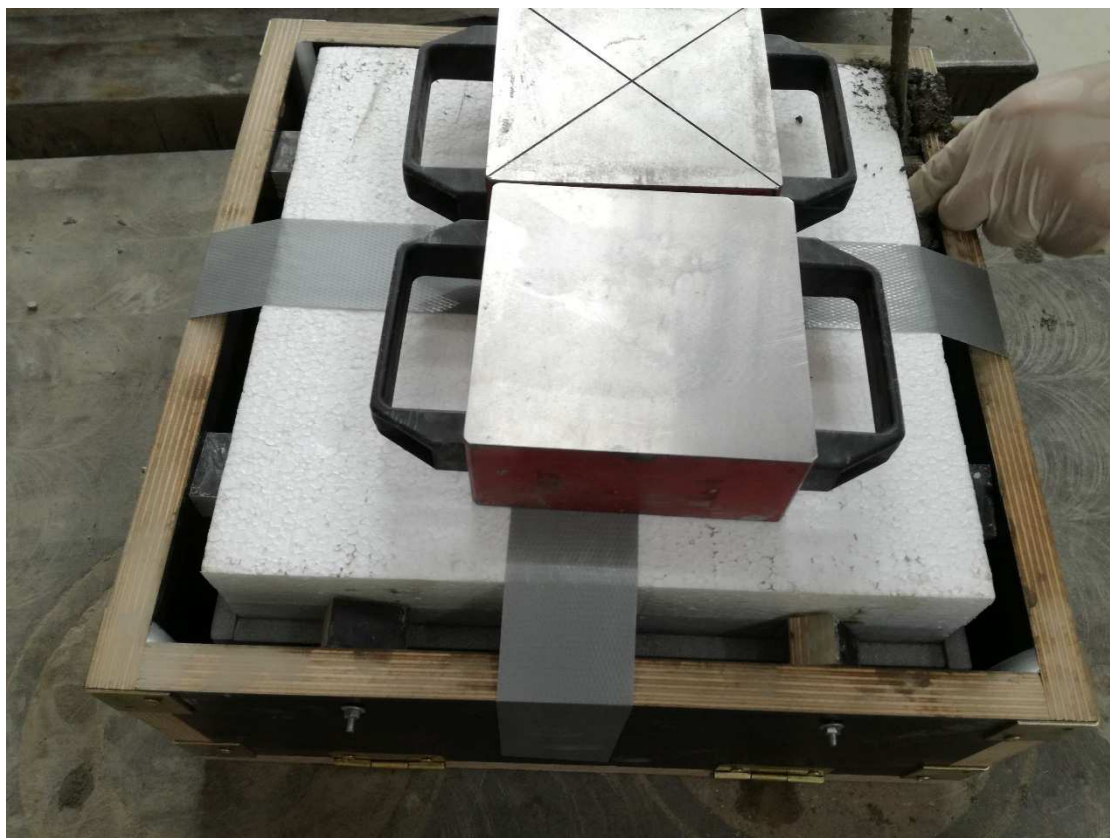


Obr. 115 Rozlámaný zkušební prvek

Bylo nutné vymyslet náhradní způsob betonáže, při kterém lze zamezit oběma těmito problémům. Vnitřní dřevěná část byla proto nahrazena kvádrem z polystyrenu, který byl po betonáži vydlabán a nebylo možné ho opakovaně použít. Tento způsob bednění byl zvažován

již dřívě, byl však původně zamítnut, neboť jeho podstatnou nevýhodou je skutečnost, že polystyren nelze ve formě dokonale zafixovat. Prvním důvodem je fakt, že polystyren v betonu plave, druhým pak jeho špatné mechanické vlastnosti, které neumožňují zašroubování závitových tyčí do materiálu.

Proto bylo nutné najít vhodný způsob, jak zajistit potřebnou tloušťku desky a stěn prvku a zafixovat polystyrenové bednění na svém místě. Tloušťka desky byla definována čtveřicí kovových matek tloušťky 8 mm, které byly položeny na dno vnějšího kusu bednění. Do spodní plochy polystyrenu se poté umístily tenké roznášecí ocelové destičky, aby nedošlo k zatlačení matek do polystyrenu. Tloušťka stěn byla definována dřevěnými distančními tělísky vtačenými mezi polystyrenový kvádr a stěnu dřevěné formy. Polystyren byl shora proti vyplavání zajištěn závažími, která byla přepásána lepící páskou, aby se zamezilo jejich pohybu při hutnění betonu.



Obr. 116 Upravené bednění s vnitřním kusem tvořeným polystyrenem

Odbedňování bylo prováděno pomocí nože. Vnitřní část se postupně vydlabávala a bylo nutné dávat pozor na vloženou desku z extrudovaného polystyrenu, která byla k bednění

přípevněna pomocí oboustranné lepicí pásky. Pro urychlení práce bylo vyzkoušeno také odbedňování pomocí odporového nože na řezání polystyrenu. Ten však byl vhodný pouze pro tenčí desky a tuto masu nedokázal prořezat. Po vydlabání byly stejně jako u původního způsobu sklopeny stěny vnějšího dílu bednění a poté již bylo možné zkušební prvek vyjmout. Šetrnějším odbedňováním a povolením drobné volné deformace při smršťování bylo dosaženo toho, že takto vybetonované prvky zůstaly v celku. Všechny zkušební prvky byly poté označeny a zváženy. Pro snížení účinků smršťování byly umístěny do vodní lázně.



Obr. 117 Vybetonovaný zkušební vzorek – pohled zespodu



Obr. 118 Vybetonovaný zkušební vzorek – pohled shora

7.4. Návrh spojování a konstrukce vzduchového vaku pro hydraulické zkoušky

7.4.1. Spojovací prvky zkušebních vzorků

Navržené hydraulické zkoušky obsahují zkoušky na jednom prvku, ale i ve skupině. Právě kvůli zkouškám skupiny prvků bylo nutné navrhnout spojování jednotlivých zkušebních prvků a to tak, aby v co největší míře odpovídalo spojovacímu mechanismu u skutečného prvku. Spoj musí být také demontovatelný, aby bylo možné měnit počet zkušebních prvků a jejich uspořádání dle potřeb zkoušek.

Spoj byl navržen z elektrikářských svorkovnic (lidově čokolády), které byly rozřezány na jednotlivé díly, aby byl pro jejich montáž potřeba co nejmenší prostor. Svorkovnice funguje jako malá trubka s průměrem cca 2 mm ve které je otvor se šroubem. Do trubky se vloží drátek menšího průměru, než je průměr trubky a dotáhne se šroub. Tím dojde k propojení svorkovnice s drátkem. Pokud se svorkovnice umístí do zkušebních prvků, lze skupinu prvků propojit vložením drátku a utažením šroubu.

U skutečného prvku se pouzdro spojovacího prvku bude nacházet maximálně 1/4 délky strany od rohu, tj. ve vzdálenosti 825 mm od rohu (reálně bude pravděpodobně blíže rohu, ale toto je krajní, nejméně příznivá pozice). Osa spoje se nachází ve vzdálenosti 73 mm od horního okraje desky. U zkušebního prvku byly spoje navrženy v odpovídajícím měřítku ve vzdálenostech 82,5 mm od okraje stěny a 7,3 mm od okraje desky. Pro svorkovnice bylo nutné vytvořit ve zkušebních prvcích otvor v odpovídajících vzdálenostech. Otvor byl vytvořen pomocí úhlové brusky. Řezání bylo provedeno kotoučem určeným k řezání do betonu. Vzhledem k malé tloušťce zkušebního prvku byly drážky prováděny s velkou opatrností, aby nedošlo k prořezání a znehodnocení zkušebního prvku.



Obr. 119 Drážka ve zkušebním prvku vyřezaná pomocí úhlové brusky

Do této drážky byla umístěna svorkovnice, která se zafixovala v potřebné poloze lepicí páskou. Celý otvor byl poté zalit epoxidovou pryskyřicí. Po vytvrdnutí byla horní část svorkovnice očištěna, aby bylo možné používat šroub a tím celý spoj.



Obr. 120 Detail spoje zkušebního prvku

Stejně jako u skutečného prvku byl zkušební prvek opatřen po obvodě nárazníky z tvrdé PVC desky o tloušťce 2 mm. Tyto desky byly přilepeny ke zkušebním prvkům pomocí lepidla od společnosti Den Braven, konkrétně se jedná o lepidlo na bázi polymerů MAMUT GLUE Total [48]. Mezera mezi skutečnými prvky je navržena jako cca 50 mm. U zkušebních prvků by měla být jejich vzájemná mezera tedy 5 mm. Tloušťka nárazníku 2 mm na obou prvcích zvětšená o tloušťku lepidla cca 1 mm dává přibližně potřebných 5 mm. Takto navržený spoj umožňuje velmi podobné chování jako u skutečného prvku.



Obr. 121 Nalepené nárazníky z PVC

7.4.2. Vzduchový vak zkušebních vzorků

Reálný prvek bude nadnášen vzduchovým vakem ve tvaru kvádrů, který bude vložen do dutiny prvku a zajištěn proti vyplavání. Vzduchový vak musí být co možná nejpřesnější, protože jakákoliv rozměrová nepřesnost vede k nerovnoměrnému plavání. Vyrábět vzduchový vak pro zkušební prvky tímto způsobem by bylo velmi náročné. Jednotlivé části vzduchového vaku by se musely vzájemně svařit, což je u tak malých rozměrů velmi obtížné.

Z těchto důvodů byl vzduchový vak nahrazen pouze membránou, která uzavřela dno zkušebního prvku. Membrána byla tvořena pomocí jezírkové fólie z PVC tloušťky 1 mm. Tato fólie se používá pro budování zahradních jezírek. Fólie má podobné vlastnosti jako materiál skutečného vzduchového vaku. Nevýhodou tohoto řešení je, že vak nelze vyjmout z prvku a tím simulovat vypuštění na skutečném prvku. Pro zkoušky s vypuštěným vakem bylo proto nutné tuto membránu proříznout.

Nejprve byly hrany spodního obvodového žebra jemně zbrušeny pomocí pilníku, aby se zčásti vyrovnal povrch žebra. Poté byl celý prvek uvnitř a u obvodového žebra vyčištěn pomocí tlakového vzduchu. Fólie byla nařezána na větší kusy, než jsou půdorysné rozměry

zkušebního prvku. Rozměry fólie byly přibližně 400 x 400 mm. Takto nařezaná fólie byla napnutá a připevněna pomocí kancelářských připínáček k dřevěné desce. Pro lepení byl použit výrobek společnosti Sika, a to Sikaflex – 11FC+ [49]. Tento výrobek slouží jako lepidlo a zároveň jako tmel. To bylo výhodné, protože ho bylo možné nanášet jako tmel ve větší tloušťce a tím vyrovnat zbývající nerovnosti na obvodovém žeburu, ke kterému se fólie lepila. Po přilepení byl zkušební vzorek zatížen. Další den se fólie ořezala po obvodu zkušebního prvku. Takto provedený zkušební prvek byl posazen na vodní hladinu, aby bylo možné odhalit, zda do membrány teče voda.



Obr. 122 Napnutá fólie připevněná pomocí kancelářských špendlíků k dřevěné desce



Obr. 123 Nanášení lepicího tmelu na zkušební vzorek



Obr. 124 Přilepený a zatížený zkušební vzorek k fólii



Obr. 125 Zkušební prvek s ořznutou fólií



Obr. 126 Plovoucí zkušební prvek

7.5. Výsledky

Jak již bylo uvedeno, pro správné chování zkušebních prvků je důležité, aby měly všechny přibližně stejnou hmotnost a aby tato hmotnost byla symetricky rozprostřena. Výsledné hmotnosti jsou uvedeny v následující tabulce. Přeškrtnuté vzorky byly vyřazeny z důvodu velké hmotnostní odchylky nebo nepřesností.

Tab. 8 Výsledné hmotnosti zkušebních vzorků

Datum výroby vzorků	Označení vzorku	Hmotnost vzorku po odebdení [g]	Hmotnost vzorku po saturaci vodou [g]
11. 7. 2018	M1-1	4400	4520
	M1-2	4620	4740
	M1-3	5080	5180
	M1-4	5120	5220
13. 7. 2018	M2-1	4540	4600
	M2-2	4540	4600
	M2-3	4340	4420
	M2-4	4300	4360
16. 7. 2018	M3-1	4560	4640
	M3-2	4900	4960
	M3-3	4460	4540
	M3-4	4760	4820
Průměrná hmotnost nevyřazených vzorků		4502	4582

Hmotnostní rozdíl mezi jednotlivými zkušebními prvky jsou do 9 %. Tyto rozdíly jsou pro hydraulické zkoušky dostatečně malé. Při propojení jednotlivých prvků do skupiny se vzájemně tyto nepřesnosti eliminují. Předpokládaná hmotnost jednoho prvku byla odhadnuta jako 4040 g. Hmotnost zkušebních prvků je tedy vyšší, což je způsobeno zejména nepřesnostmi při betonáži. Šlo zejména o „přebetonování“ tloušťky horní desky a výšky spodních ztužujících žeber, ale i drobné nepřesnosti rozměrů bednění. Odchylky i v řádu desetin milimetrů, které

jsou při podmínkách betonáže nevyhnutelné a neodstranitelné, v součtu na celém prvku vedou ke zdatnému nárůstu objemu betonu a hmotnosti prvku. Další menší rozdíly pak vyplývají také z toho, že do odhadu nebyla zahrnuta hmotnost desek z extrudovaného polystyrenu uvnitř prvku, která by měla navýšit hmotnost přibližně o 30 g, a hmotnost distančních matek (cca 10 g).

Při poslední betonáži bylo také vybetonováno 6 krychlí o hraně 50 mm pro určení objemové hmotnosti a pevnosti betonu. Krychle byly po odbednění umístěny spolu se zkušebními prvky do vodní lázně. Výsledné rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti krychlí jsou shrnuty v následující tabulce. Hmotnost v tabulce vyjadřuje sloupec s označením m. Index 1 vyjadřuje hodnotu po odbednění a index 2 hodnotu po saturaci vodou. Stejně je to u objemové hmotnosti, která je označena ρ .

Tab. 9 Výsledné rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebních krychlí

Označení vzorku	Rozměr A [mm]	Rozměr B [mm]	Rozměr C [mm]	Objem [dm ³]	m ₁ [g]	ρ_1 [kg/m ³]	m ₂ [g]	ρ_2 [kg/m ³]
K1	49,93	49,96	49,60	0,124	263,85	2133	269,75	2180
K2	49,98	49,92	50,15	0,125	265,54	2122	272,75	2180
K3	49,97	49,91	50,03	0,125	265,85	2131	273,16	2189
K4	49,94	49,97	49,29	0,123	255,54	2078	264,17	2148
K5	49,92	50,02	48,57	0,121	253,99	2094	260,41	2147
K6	49,92	49,97	48,59	0,121	253,84	2094	261,79	2160
Průměr objemových hmotností						2109		2167

Na zkušebních krychlích byla stanovena pevnost v tlaku, dosažena byla průměrná hodnota 49,6 MPa.

8. Hydraulické zkoušky zmenšených vzorků

8.1. Popis zkoušek

Hydraulické zkoušky byly stanoveny ve spolupráci se zástupci Katedry zdravotního a ekologického inženýrství, konkrétně s prof. Ing. Jaroslavem Pollertem, Ph.D. a Ing. Jiřím Procházkou. Zkoušky byly prováděny na modelech betonových zkušebních prvků v měřítku 1:10, jejichž výroba je popsána v kapitole 7. Návrh a výroba vzorků pro hydraulické zkoušky. Provedené hydraulické zkoušky můžeme rozdělit do třech kategorií jako statické, dynamické a ostatní.

Statické hydraulické zkoušky byly prováděny na vodní hladině, která byla v klidu bez proudění nebo vln. Prvky vložené do vodní nádrže byly postupně zatěžovány dle jednotlivých zatěžovacích stavů a výsledkem byly odečtené náklony a ponory zatížených zkušebních vzorků. Zatěžovací stavy se lišily sestavou, do které byly prvky spojeny, velikostí zatížení, plochou, na které zatížení působí a dvěma havarijními stavy, kdy se buď v soustavě nacházel prvek s proříznutým vzduchovým vakem anebo se jeden z prvků podepřel a simuloval tak nerovnoměrné dosednutí skupiny prvků na dno. Celkově bylo tímto druhem zkoušek otestováno 26 různých zatěžovacích stavů, které jsou popsány v následujících kapitolách.

Dynamickými hydraulickými zkouškami jsou zkoušky, při nichž není hladina zkušební plochy v klidu, ale pohybuje se. Způsob pohybu hladiny lze rozdělit do tří druhů. První druh pohybu hladiny je proudění bez vln, druhým jsou vytvořené vlny bez proudění vody a třetím druhem je kombinace předchozích, tedy vlnění na hladině při proudění. Jednotlivé zkoušené stavy se liší skupinami, do kterých jsou prvky spojeny, zatížením prvků a způsobem pohybující se hladiny. Při těchto zkouškách bylo také nutné simulovat reálné konstrukce, které zabraňují prvkům odplavání (úvazné lano) nebo vymezují vzdálenost mezi nábrežní zdí a jednotlivými plovoucími prvky (rozpěra). Konstrukce simulující úvazné lano i rozpěru byly vybaveny tenzometry, které zaznamenávaly poměrné přetvoření těchto konstrukcí. Dále byly na zkušební vzorky umístěny náklonoměry, které zaznamenávaly náklon prvků. Všechny tyto veličiny byly zaznamenávány v čase a jejich vyhodnocení se nachází v kapitole 8.4. Dynamické hydraulické zkoušky. Tyto zkoušky byly provedeny pro celkem 27 různých zatěžovacích stavů.

Poslední zkouška byla doplňková a měla objasnit jev, který nelze určit přesně numericky. Touto zkouškou bylo určení maximální rychlosti, při které nedojde k odplavání ponořeného prvku.

8.2. Příprava zkoušek

8.2.1. Příprava zkušebních vzorků a jejich spojování

Ještě před začátkem samotných zkoušek bylo potřeba připravit zkoušené vzorky a zkušební žlaby o další nástroje a zařízení, bez kterých by tyto zkoušky nebylo možné realizovat. Pro snazší odčítání výsledků při statických zkouškách se nejprve na některé zkušební vzorky nalepily nastříhané krejčovské metry.



Obr. 127 Plovoucí zkušební prvek

Bylo nutné zjistit, jakým způsobem spojovat zkušební prvky dohromady. Ve zkušebních prvcích již byly připevněny svorkovnice, nicméně bylo nutné najít materiál, který by svými vlastnostmi a chováním odpovídal skutečnému spojovacímu prvku. Byly proto vyzkoušeny celkem tři různé materiály, které se liší zejména tuhostí. Prvním materiálem byl měděný svářecí drát průměru 1 mm. Tento drát byl velmi tuhý, a proto vystihoval propojení ohybově tuhým spojením jednotlivých prvků, které však u reálného prvku není navrženo. Druhým materiálem byl technický provázek o průměru 1 mm z plastu. Ten se vyznačoval

naopak velmi malou tuhostí a dobře vystihoval námi navržený kloubový spoj. Nevýhoda však byla, že se prvky velmi obtížně spojovaly dohromady. Z toho důvodu byl vybrán jako ideální třetí materiál, kterým byl pozinkovaný vázací drát s průměrem 0,8 mm. Tento drát byl také velmi poddajný, takže velmi dobře simuloval námi navržený spoj, protože dovolil jak svislé posuny, tak vzájemné natočení prvků.

8.2.2. Generátor vln

Dále bylo třeba vymyslet pro dynamické zkoušky mechanismus, který by tvořil rovnoměrné vlny. Celkové řešení generátoru vln vymyslel prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D. Mechanismus byl poháněn elektromotorem s převodovkou. K elektromotoru byla poté uchycena hřídel tvořená plastovou deskou kruhového tvaru s předem vyvrtanými otvory rozmístěnými po vzdálenosti 5 mm od středu desky. Do hřídele se do libovolného otvoru umístila závitová tyč, která byla opatřena kloubovým mechanismem. Závitová tyč byla prostrčena trubkou pro stabilizaci její pozice a ve spodní části byla přivařena další tyč ve tvaru U, tím pádem byly v jedné rovině ve svislém směru umístěny 3 závitové tyče. Na tyto závitové tyče se umístil plovák z extrudovaného polystyrenu s rozměry 750 x 100 x 100 mm. Šířka zkušebního žlabu pro dynamické zkoušky byla 1 m. Plovák z extrudovaného polystyrenu se umístil kolmo na stěny zkušebního žlabu. Celý tento mechanismus byl připevněn na dřevěnou desku a umístěn doprostřed zkušebního žlabu. Po spuštění elektromotoru byly generovány stejně vysoké vlny v pravidelných intervalech. Díky otvorům na hřídeli, které byly v různé vzdálenosti od středu otáčení, bylo možné upravovat hloubku zanoření plováku a frekvenci vln. Dále bylo také možné na elektromotoru nastavit libovolné otáčky.

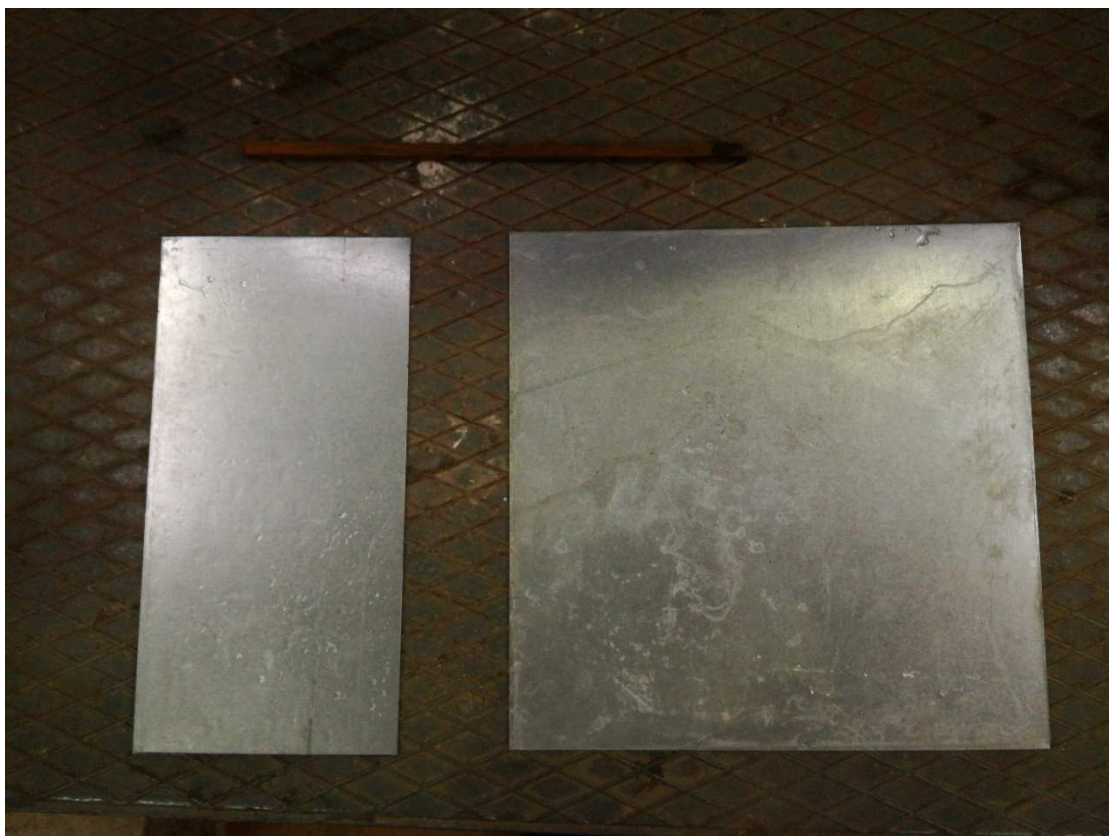


Obr. 128 Mechanismus generátoru vln

8.2.3. Způsob zatěžování zkušebních prvků

Jednotlivé zatěžovací stavy se lišily různou velikostí zatížení, která působila na různé ploše. Jako ideálním závažím pro zkoušení se ukázal pozinkovaný plech tl. 0,55 mm. Tento plech má plošnou hmotnost 8 kg/m^2 . Plech byl nastříhán do čtverců o straně cca 301,5 mm. Jeho hmotnost odpovídala 400 g. Některé plechy byly nastříhány na polovinu pro zatěžovací stavy zatížené na polovině prvku. Bylo tak možné rychle měnit zatížení působící na prvek v modulu 400 či 200 g. Zároveň toto zatížení působilo v celé ploše rovnoměrně, což je pro tyto zkoušky žádoucí.

Zábradlí bylo simulováno pomocí kvádrů z čtvercové ocele o průřezu $8 \times 8 \text{ mm}$. Tato čtvercová ocel má liniovou hmotnost $0,5 \text{ kg/m}$. Tento prvek byl nařezán na kusy po délce cca 297 mm s hmotností 148,5 g, což je v měřítku hmotnost zábradlí uvažovaného ve výpočtech.



Obr. 129 Závaží použítá při hydraulických zkouškách

8.2.4. Měření náklonů

Jedním z výsledků obou typů zkoušek byly náklony prvků. Náklon prvků byl způsoben třemi faktory. Prvním faktorem byly nepřesnosti při výrobě zkušebního prvku, kde i malá nerovnoměrnost tloušťek jednotlivých stěn způsobí náklon. Většina prvků měla tento počáteční náklon do 1 % ($0,6^\circ$). Maximální počáteční náklon byl naměřen 3,5 % (2°). Zkušební prvky s větším počátečním náklonem byly používány pouze pro zkoušky, kdy bylo potřeba použít všechny vyrobené zkušební prvky, tj. zkoušky na plošně spojeném celku 3x3 prvky.

Druhým faktorem způsobujícím náklon bylo zatížení, kterému byly prvky vystaveny. Třetí faktor se vyskytoval pouze u dynamických hydraulických zkoušek, a to náklon způsobený proudící vodou, popř. vlněním vodní hladiny.

Způsob měření náklonů při statických a dynamických hydraulických zkouškách byl různý. Při statických zkouškách byl použit dvouosý náklonoměr DXL360 V2 Digital Protractor. Tento náklonoměr funguje jako krabicová libela. Použití tohoto náklonoměru při statických zkouškách bylo výhodné, protože aktuální náklon byl zobrazován vždy rovnou na displeji měřidla a stačilo tuto hodnotu odečíst a zaznamenat. Z důvodu obavy z poškození vodou při

zkouškách bylo měřidlo zabaleno do polyetylenového ZIP sáčku. Při měření bylo dbáno na to, aby sáček nebyl shrnutý pod měřidlem a neovlivnil tak odečtenou hodnotu. Hmotnost náklonoměru je 120 g. Tato hmotnost nepatrně ovlivní zatížení při statických hydraulických zkouškách a byla zohledněna při vyhodnocování zkoušek.

Pro dynamické zkoušky bylo třeba zaznamenávat náklon v závislosti na čase. Pro měření byl tedy vybrán jednoosý náklonoměr od společnosti DIS Senors typu QG30-KI-090E-AV-K. Pro měření ve dvou osách byly zakoupeny celkem dva náklonoměry tohoto typu, které byly umístěny kolmo na sebe, aby byl náklon měřen v obou osách stejně jako u statických hydraulických zkoušek. Náklonoměry se stejně jako měřící tenzometry propojily s vyhodnocovací ústřednou, která zaznamenala jejich aktuální hodnoty v čase.



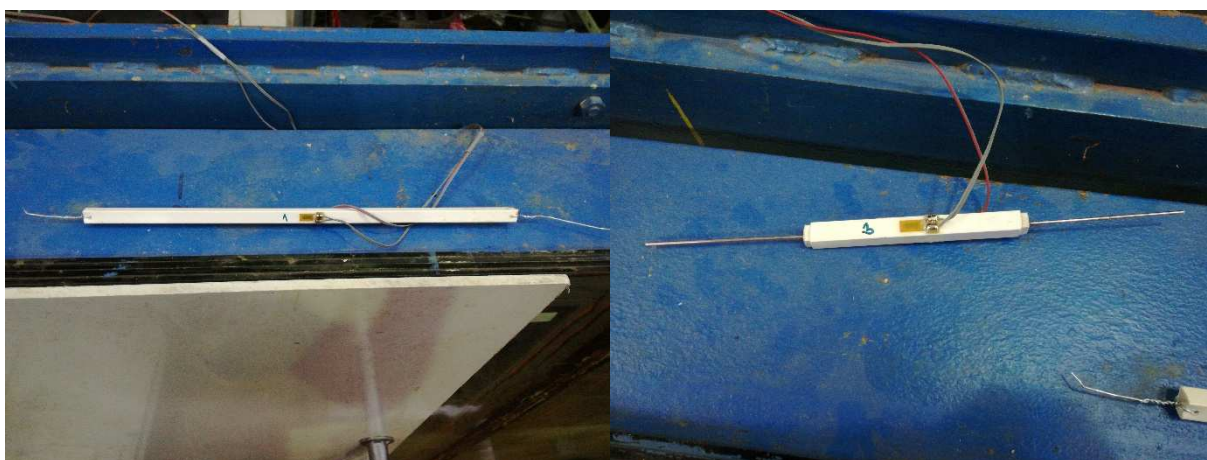
Obr. 130 Měřidla pro měření náklonů používaná pro hydraulické zkoušky: statické (vlevo), dynamické (vpravo)

8.2.5. Měření namáhání v taženém a tlačném prvku

Při dynamických zkouškách se kromě náklonu prvků měřila také poměrná přetvoření na úvazném prvku a rozpěře. Poměrné přetvoření bylo měřeno dvojicí tenzometrů umístěných na oba tyto prvky. Celkem byly ukládány záznamy z čtveřice tenzometrů. Tenzometry byly přilepeny na plastovou tyčku s průřezem čtvercové trubky s vnější stranou 10 mm a tloušťkou 1 mm. Do zkušebního žlabu byla k jeho stěně ukotvena deska z tvrdého plastu, ke které se připevnilly elektrická svorkovnice.

Jedna z měřících tyček byla používána jako táhlo reprezentující úvazné lano. Pro tyto účely byly na koncích do tyčky vyvrtány otvory, do kterých byl vsunut poddajný pozinkovaný vázací drát tl. 0,8 mm. Tento drát se poté na obou koncích zajistil proti posouvání. Konce z vázacího drátu měřící plastové tyčky s tenzometry se poté vložily do připravených svorkovnic na zkušebním prvku a plastové desce ve zkušebním žlabu.

Druhá tyčka byla používána jako tlačný prvek reprezentující rozpěru. Nejprve bylo nutné vymyslet úpravu tyčky, která by zajišťovala přenos tlaku. Uvažovaná vzdálenost mezi stěnou zkušebního žlabu a zkušebními prvky byla 150 mm. Pro tyto účely byly vyrobeny krátké plastové kvádry o průřezu čtverce s délkou strany 9 mm. Do těchto kvádrů byl podélně vyvrtán otvor průměru 1 mm. Otvorem byl poté provlečen tuhý měděný svářecí drát o průměru 1 mm, na který bylo nanášeno rychleschnoucí lepidlo. Na konci tohoto drátu byla vytvořena úprava proti jeho vytržení. Na kvádry bylo nanášeno rychleschnoucí lepidlo a vsunuly se do dutiny plastové tyčky délky 150 mm na obou stranách. Konce plastové tyčky z drátů byly zkráceny na potřebnou délku cca 30 mm a ukotveny do elektrikařských svorkovnic na zkušebním prvku a stěně zkušebního žlabu. Na následující fotce je zobrazen drát před zkrácením.



Obr. 131 Plastové tyčky s nalepenými tenzometry reprezentující: tažený prvek (vlevo), tlačný prvek (vpravo)

8.2.6. Měření modulu pružnosti plastových tyček

Pro vyhodnocení výsledků dynamických hydraulických zkoušek bylo nutné zjistit modul pružnosti měřících plastových tyček. Namáhání měřících plastových tyček bylo velmi malé, proto lze předpokládat, že jejich přetvoření bylo při zatěžování lineární. Díky změřenému modulu pružnosti plastových tyček je možné z poměrných přetvoření, která byla měřena při

dynamických zkouškách dostat úpravou Hookova zákona osovou sílu, která je do měřeného prvku vnesena následovně:

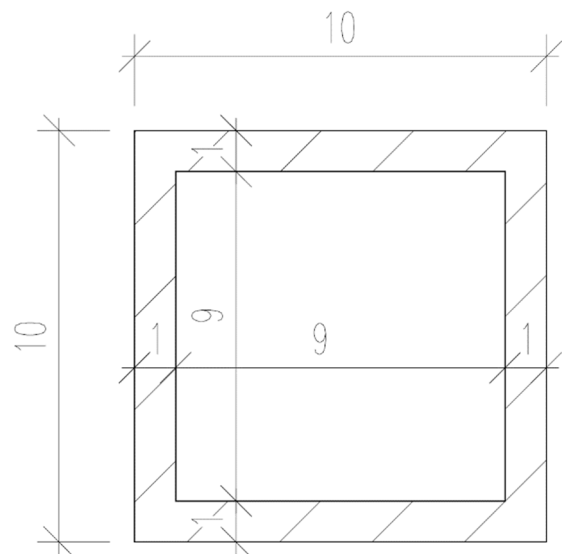
$$N = E \cdot \varepsilon \cdot A \quad (45)$$

kde: ε je naměřené poměrné přetvoření,

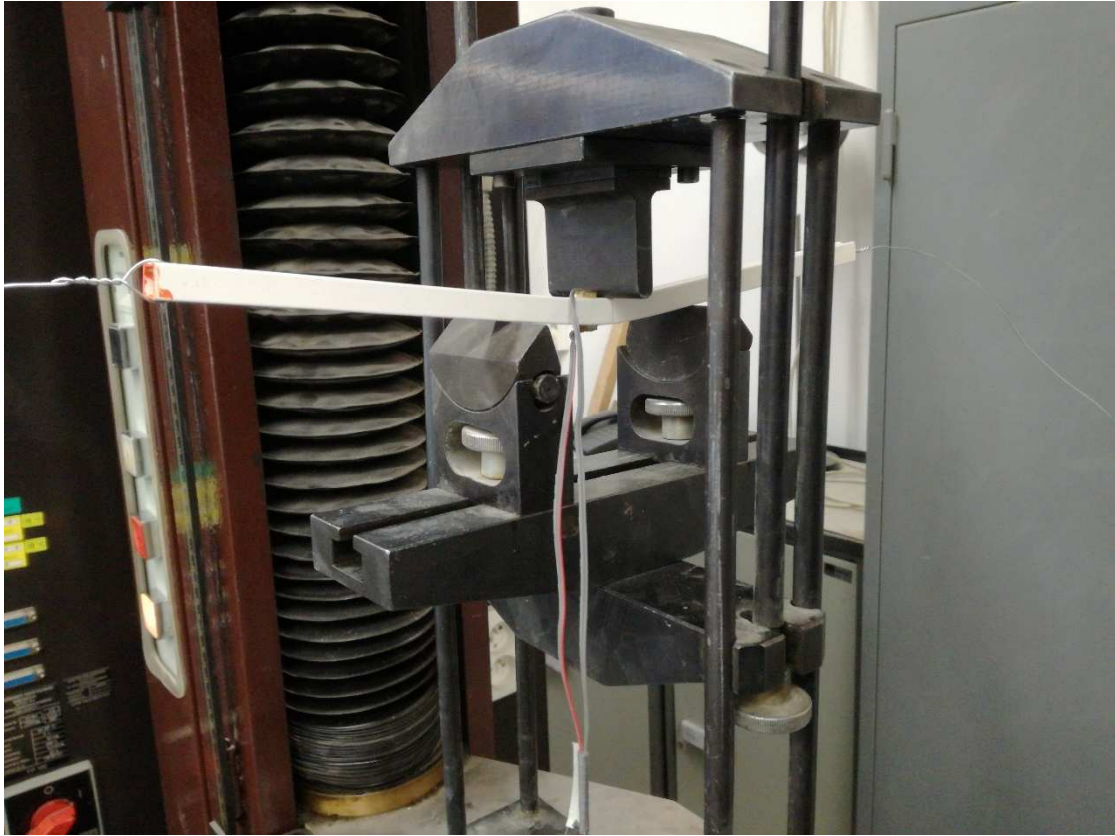
N je osová síla, která v měřicí tyčce působí,

A je plocha průřezu měřicí tyčky.

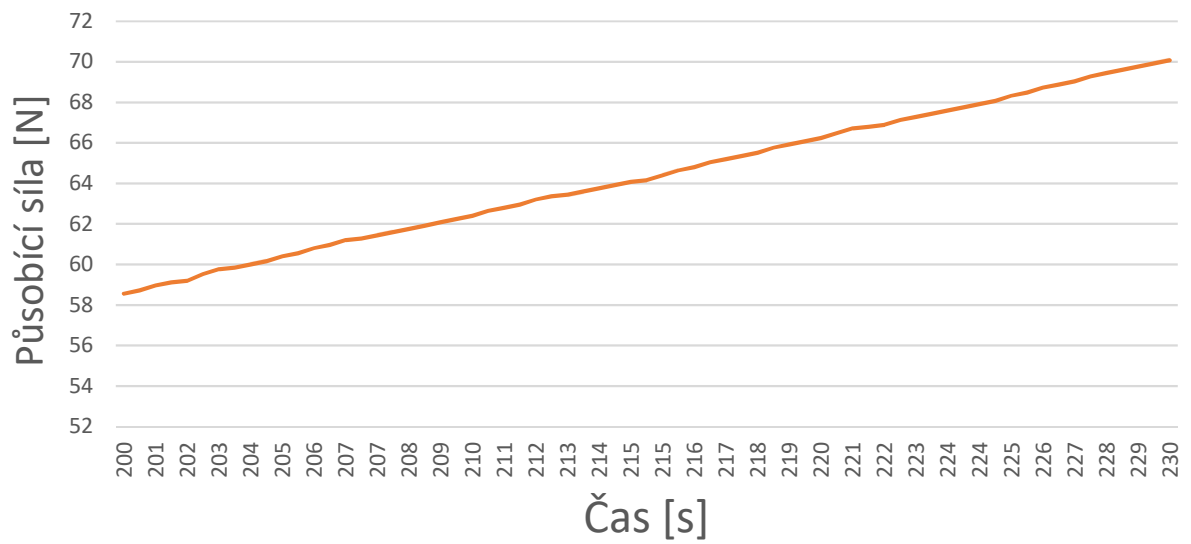
Pro zjištění modulu pružnosti byla měřicí tyčka vložena do zatěžovacího stroje pro třibodovou ohybovou zkoušku. Rozpětí podpor bylo při této zkoušce nastaveno na 100 mm a působiště zatěžovací síly bylo uprostřed tohoto rozpětí. Zatěžovací stroj ukládal hodnoty působící síly a měřil posun zatěžovacího pístu.



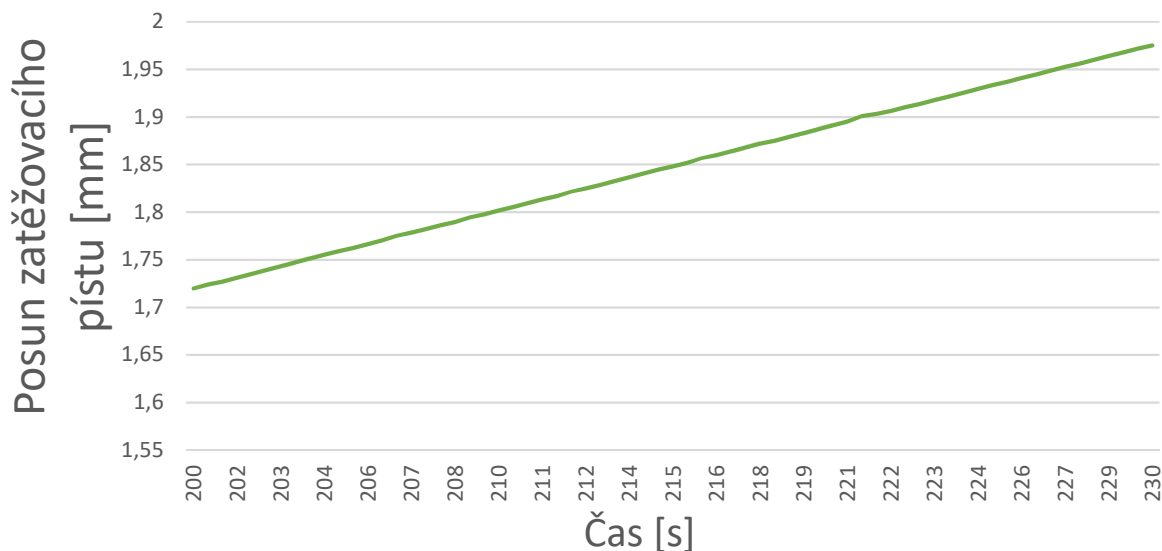
Obr. 132 Průřez plastovou měřicí tyčkou



Obr. 133 Fotografie ze zkoušky modulu pružnosti plastové tyčky s tenzometry



Obr. 134 Hodnota působící síly ve vybraném časovém intervalu



Obr. 135 Hodnota posunu zatěžovacího pístu ve vybraném časovém intervalu

Pro výpočet modulu pružnosti byl vybrán lineární úsek z tohoto grafu. Hodnoty ze začátku měření nelze použít, protože bylo potřeba nějaký čas počkat, než dojde k dosednutí komponent zatěžovacího stroje. Hodnota změny síly působící na měřící tyčku ve vybraném úseku byla změřena jako $\Delta F = 11,52 \text{ N}$. Změna průhybu při působení této síly byl naměřen jako $\Delta w = 0,2552 \text{ mm}$.

Vztah pro výpočet modulu pružnosti dostaneme z jeho vyjádření ze vztahu pro výpočet průhybu na prostém nosníku zatíženém bodovou silou v polovině rozpětí:

$$\Delta w = \frac{1}{48} \cdot \frac{\Delta F \cdot L^3}{E \cdot I} \quad (46)$$

Vztah po vyjádření modulu pružnosti ze vzorečku:

$$E = \frac{\Delta F \cdot L^3}{48 \cdot \Delta w \cdot I} \quad (47)$$

kde: E je zjišťovaný modul pružnosti měřicí plastové tyčky,

ΔF je změna síly,

L je rozpětí měřicí tyčky při zkoušce,

Δw je změna průhybu odpovídající změně síly,

I je moment setrvačnosti měřicí tyčky.

Poslední veličina, která je pro výpočet modulu pružnosti plastové měřicí tyčky potřebná je moment setrvačnosti jejího průřezu. Ten dostaneme z následujícího vztahu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot (b \cdot h^3 - (b - 2 \cdot t) \cdot (h - 2 \cdot t)^3) \quad (48)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot (10 \cdot 10^3 - (10 - 2 \cdot 1) \cdot (10 - 2 \cdot 1)^3) \quad (49)$$

$$I = 492 \text{ mm}^4 \quad (50)$$

kde: I je moment setrvačnosti měřicí tyčky,

b šířka průřezu měřicí tyčky,

h je výška průřezu měřicí tyčky,

t je tloušťka stěny měřicí tyčky.

Dosazením do vyjádřeného vztahu pro výpočet modulu pružnosti dostaneme:

$$E = \frac{11,52 \cdot 100^3}{48 \cdot 0,2552 \cdot 492} \quad (51)$$

$$E = 1911,46 \text{ MPa} \quad (52)$$

Díky zjištěnému modulu pružnosti měřicí plastové tyčky je možné přepočítat naměřená poměrná přetvoření na osovou sílu, která v ní působí.

8.3. Statické hydraulické zkoušky

Tyto zkoušky byly prováděny na volné hladině s konstantní hloubkou bez jejího proudění nebo vlnění. Jednotlivé zkoušky se liší zatěžovacími stavy, které se vyznačují spojením do různých celků a různě velkým zatížením působícím na daných plochách. Dále byly zkušební prvky podrobeny extrémním zatěžovacím stavům, které popisují chování prvků při proražení vzduchového vaku a při podepření jednoho ze skupiny prvků, což simuluje nerovnoměrné sednutí skupiny prvků na dno.

Zatížení zkušebních prvků bylo uvažováno několika způsoby. Prvním bylo maximální povolené množství osob využívající tento prvek (tj. 1200 kg), které je buď rovnoměrně rozmístěno, nebo je rozmístěno 800 kg na jedné polovině prvku a 400 kg na druhé polovině prvku. Dále bylo uvažováno maximální možné množství osob, které se fyzicky vejdou na prvek (tj. 4000 kg). Velikosti těchto zatížení jsou určeny v kapitolách 6.1.1. Definice množství osob pro použití jednoho prvku a 6.1.3. Maximální povolené zatížení na prvku. Jelikož jsou hydraulické zkoušky prováděny v měřítku 1:10, musí být zatížení také úměrně zmenšeno. Jelikož je zkušební prvek v každém ze svých tří rozměrů desetkrát menší než skutečný, musí zatížení zkušebního prvku odpovídat tisícíně zatížení reálného prvku.

Výsledkem těchto zkoušek je náklon prvků měřený pomocí nalepených metrů na jednotlivých prvcích a dvouosého náklonoměru. V následující tabulce jsou shrnuty zatěžovací stavy zkoumané při statických hydraulických zkouškách.

Tab. 10 Přehled zkoušených zatěžovacích stavů pro statické zkoušky

Označení	Uspořádání	Zatížení
A0	Osamělý prvek – 1x1	Bez zatížení
A1	Osamělý prvek – 1x1	1200 g na celé ploše prvku
A2	Osamělý prvek – 1x1	4000 g na celé ploše prvku
A3	Osamělý prvek – 1x1	1200 g na polovině plochy prvku
A4	Osamělý prvek – 1x1	2000 g na polovině plochy prvku
A5	Osamělý prvek – 1x1	400 g na jedné polovině plochy prvku a 800 g na druhé polovině plochy prvku
B1	Dvojice prvků – 2x1	400 g na jedné polovině plochy prvku a 800 g na druhé polovině plochy jednoho z prvků
C1	Liniové spojení – 5x1	1200 g na celé ploše prvků
C2	Liniové spojení – 5x1	1200 g na celé ploše prvků, prostřední ze skupiny bez zatížení
C3	Liniové spojení – 5x1	400 g na jedné polovině plochy prvku a 800 g na druhé polovině plochy prvku, zatížen pouze krajní prvek skupiny
C4	Liniové spojení – 5x1	4000 g na celé ploše prvku, zatížen pouze krajní prvek skupiny
C5	Liniové spojení – 5x1	4000 g na celé ploše prvku, zatížen pouze prostřední prvek skupiny
C6	Liniové spojení – 5x1	400 g na jedné polovině plochy prvků a 800 g na druhé polovině plochy prvků
C7	Liniové spojení – 5x1	Havarijní stav – Proražený vak, pouze krajní prvek skupiny
C8	Liniové spojení – 5x1	Havarijní stav – Proražený vak, pouze prostřední prvek skupiny
D1	Plošné spojení – 3x3	1200 g na celé ploše prvků

D2	Plošné spojení – 3x3	1200 g na celé ploše prvků, prostřední ze skupiny bez zatížení
D3	Plošné spojení – 3x3	1200 g na celé ploše prvků, zatížení šachovnicově na rohových prvcích a prostředním prvkem skupiny
D4	Plošné spojení – 3x3	4000 g na celé ploše prvku, zatížen pouze prostřední prvek skupiny
D5	Plošné spojení – 3x3	400 g na jedné polovině plochy prvku a 800 g na druhé polovině plochy prvku, zatížen pouze rohový prvek skupiny
D6	Plošné spojení – 3x3	4000 g na celé ploše prvku, zatížen pouze rohový prvek skupiny
D7	Plošné spojení – 3x3	400 g na jedné polovině plochy prvků a 800 g na druhé polovině plochy prvků, tři krajní prvky skupiny bez zatížení
D8	Plošné spojení – 3x3	400 g na jedné polovině plochy prvků a 800 g na druhé polovině plochy prvků, zatíženy pouze tři krajní prvky skupiny
D9	Plošné spojení – 3x3	Havarijní stav – Proražený vak, pouze rohový prvek skupiny
D10	Plošné spojení – 3x3	Havarijní stav – Proražený vak, pouze prostřední krajní prvek skupiny
D11	Plošné spojení – 3x3	Havarijní stav – Proražený vak, pouze prostřední prvek skupiny
Poznámka: Při každém zatěžovacím stavu (kromě A0) bylo umístěno zatížení simulující zábradlí po obvodu celé skupiny o hmotnosti 150 g		

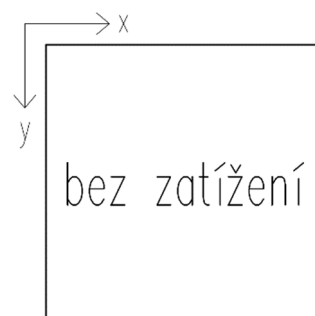
Statické zkoušky na jednom prvkem, na dvojici prvků a na liniových prvcích (A-C) byly prováděny autorem práce společně s Ing. Jiřím Procházkou. Zkoušky na plošné sestavě 3x3 (D) byly z důvodu neodkladné návštěvy lékaře prováděny pouze Ing. Jiřím Procházkou. Pořízená

fotodokumentace není tolik detailní, proto budou zobrazeny jen základní fotografie z jednotlivých zatěžovacích stavů. Je to také důvod rozdílného formátu fotek. Z důvodu opomenutí nebyly při těchto zkouškách měřeny náklony, ale pouze ponor krajních zkušebních prvků sestavy při jednotlivých zatěžovacích stavech.

Výsledky a fotodokumentace těchto zatěžovacích stavů bude zobrazena jednotlivě v následujících kapitolách.

8.3.1. Zatěžovací stav A0

Osamělý prvek (1x1) zatížený pouze vlastní tíhou bez jakéhokoliv dalšího zatížení.



Obr. 136 Schéma zatěžovacího stavu A0



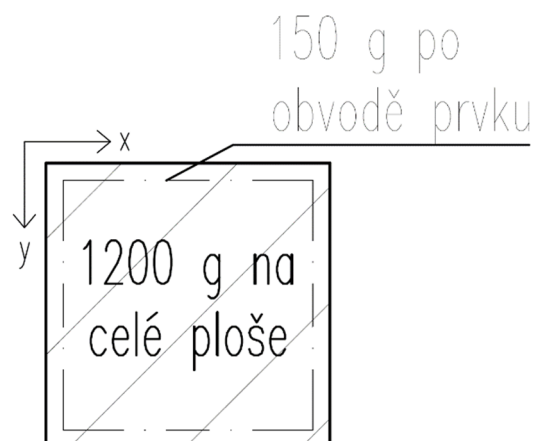
Obr. 137 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A0

Tab. 11 Výsledky zatěžovacího stavu A0

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	44	0,2	0

8.3.2. Zatěžovací stav A1

Osamělý prvek (1x1) zatížený 1200 g v celé ploše. Dále je prvek zatížen liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě.



Obr. 138 Schéma zatěžovacího stavu A1



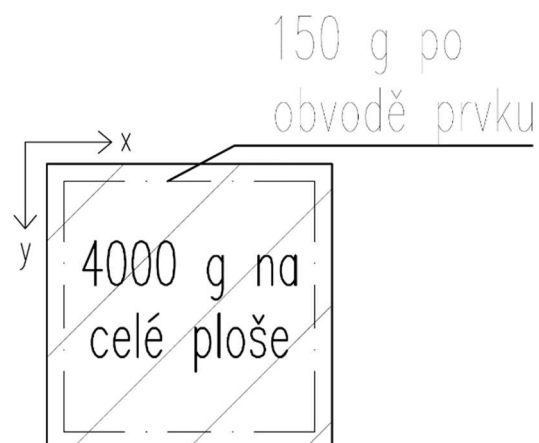
Obr. 139 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A1

Tab. 12 Výsledky zatěžovacího stavu A1

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	59,5	0	0,1

8.3.3. Zatěžovací stav A2

Osamělý prvek (1x1) zatížený 4000 g v celé ploše. Dále je prvek zatížen liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě.



Obr. 140 Schéma zatěžovacího stavu A2



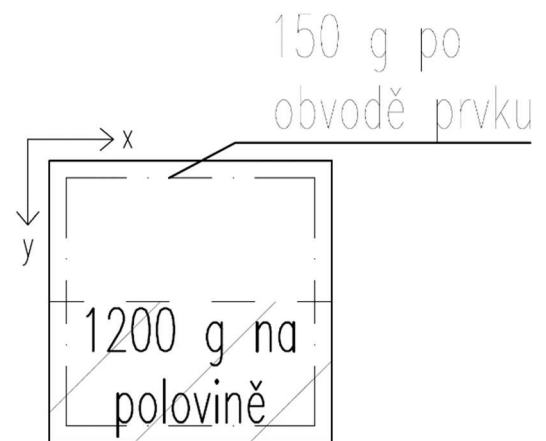
Obr. 141 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A2

Tab. 13 Výsledky zatěžovacího stavu A2

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	85	0,1	0,2

8.3.4. Zatěžovací stav A3

Osamělý prvek (1x1) zatížený 1200 g na polovině plochy. Dále je prvek zatížen liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě.



Obr. 142 Schéma zatěžovacího stavu A3



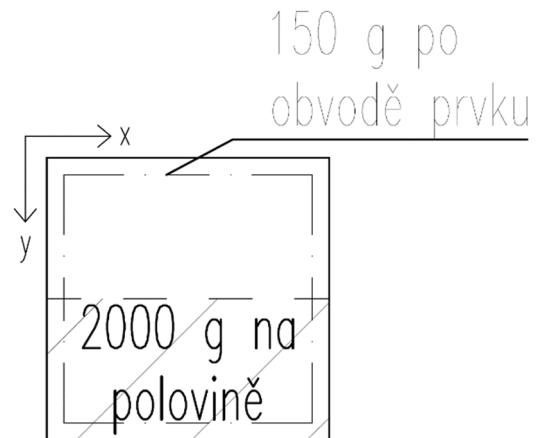
Obr. 143 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A3

Tab. 14 Výsledky zatěžovacího stavu A3

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	39–81	0,3	7,3

8.3.5. Zatěžovací stav A4

Osamělý prvek (1x1) zatížený 2000 g na polovině plochy. Dále je prvek zatížen liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě.



Obr. 144 Schéma zatěžovacího stavu A4



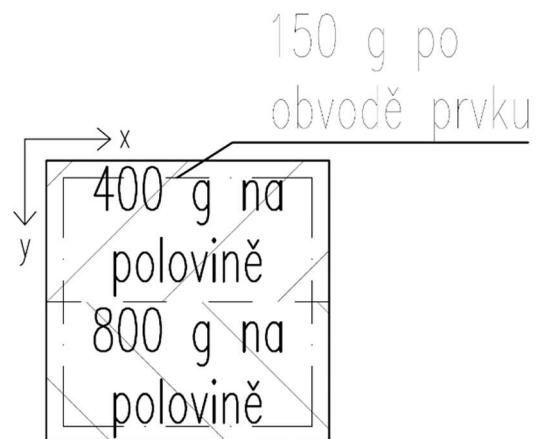
Obr. 145 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A4

Tab. 15 Výsledky zatěžovacího stavu A4

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	30–103	0	12,5
Poznámka: Hodnota ponoru větší než 95 mm značí, že byl zkušební prvek ponořen celou výškou stěny pod vodní hladinu.			

8.3.6. Zatěžovací stav A5

Osamělý prvek (1x1) zatížený 400 g na jedné polovině plochy prvku a 800 g na druhé polovině plochy prvku. Dále je prvek zatížen liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě.



Obr. 146 Schéma zatěžovacího stavu A5



Obr. 147 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu A5

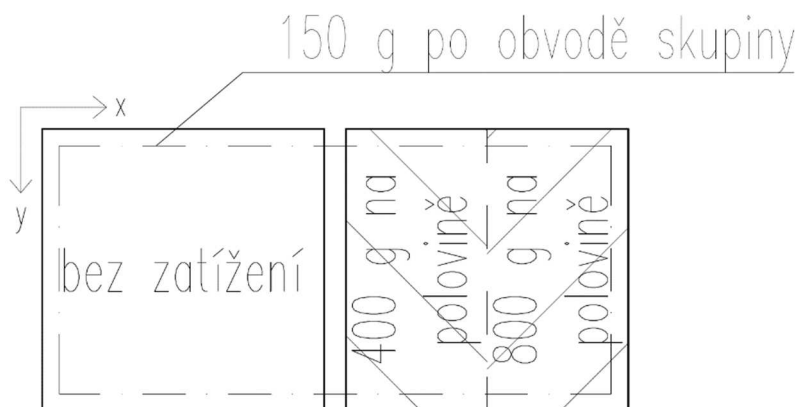
Tab. 16 Výsledky zatěžovacího stavu A5

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	52,5–69	0	2,6

Tento zatěžovací stav byl proveden pro kontrolu s numerickým modelem, který je ukázán v kapitole 6.1.2. Numerická analýza pro návrh geometrie prvku. Výsledek numerické analýzy v této kapitole byl náklon 3,51°. Vypočtená hodnota je vyšší o cca o 25 %. Náklony jsou však poměrně malé, proto může být tato nepřesnost způsobena nerovnoměrně rozloženým zatížením od vlastní tíhy zkušebního prvku při provedené zkoušce.

8.3.7. Zatěžovací stav B1

Dvojice prvků (2x1) zatížená 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy jednoho z prvků. Dále je dvojice zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 148 Schéma zatěžovacího stavu B1



Obr. 149 Fotografie dvojice zkušebních prvků při zatěžovacím stavu B1

Tab. 17 Výsledky zatěžovacího stavu B1

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zatížený zkušební prvek	52,5–66	2,3	0
Nezatížený zkušební prvek	40–52	2,3	0,1

8.3.8. Zatěžovací stav C1

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena plošně 1200 g na celé ploše všech prvků. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 150 Schéma zatěžovacího stavu C1



Obr. 151 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C1

Tab. 18 Výsledky zatěžovacího stavu C1

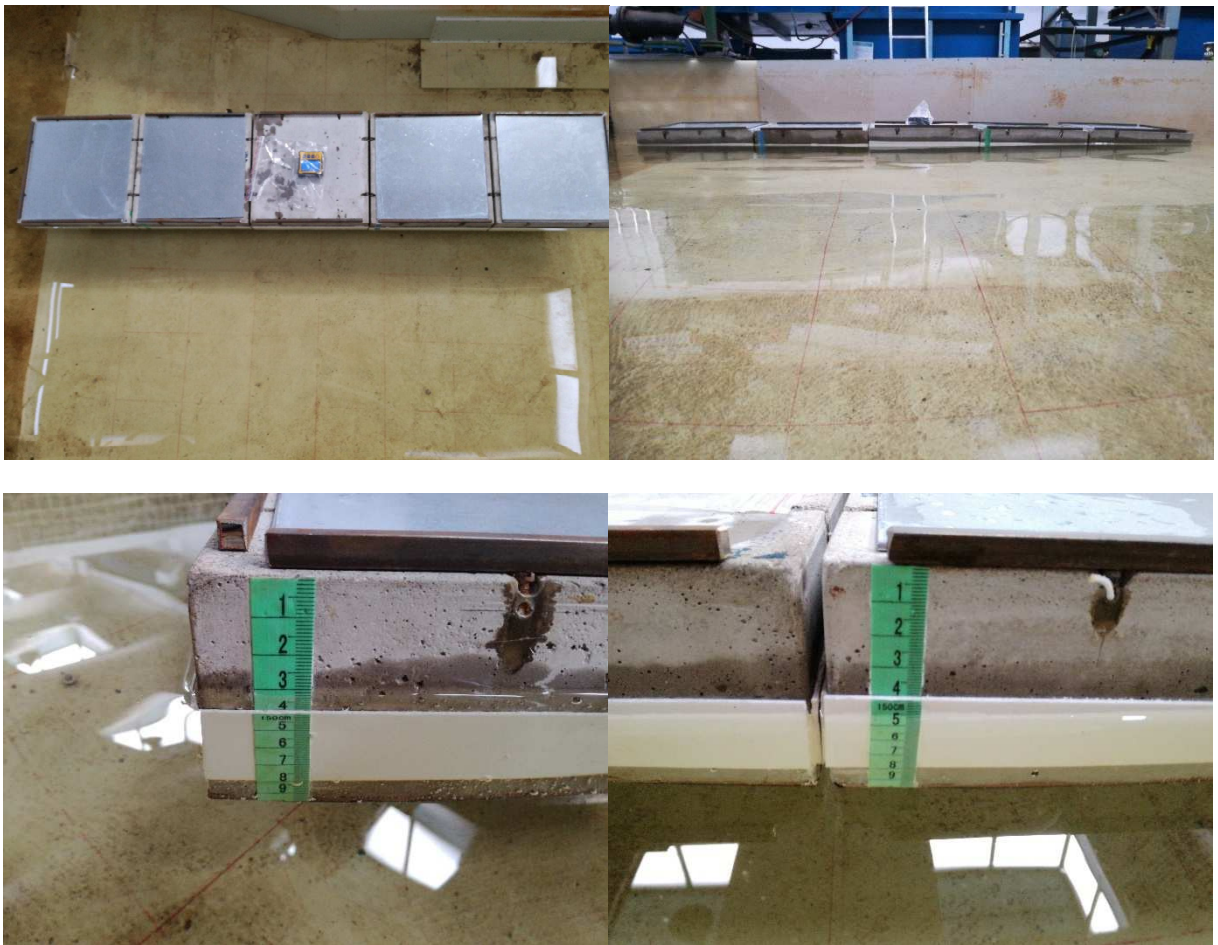
Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	57,5	0	0
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků skupiny přibližně stejné.			

8.3.9. Zatěžovací stav C2

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena plošně 1200 g na celé ploše prvků, přičemž je prostřední prvek skupiny bez zatížení. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 152 Schéma zatěžovacího stavu C2



Obr. 153 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C2

Tab. 19 Výsledky zatěžovacího stavu C2

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Krajní zkušební prvek	58–63	1,5	0
Druhý zkušební prvek	50–57	1,4	0,1
Nezatížený zkušební prvek	48–49	0,5	0

8.3.10. Zatěžovací stav C3

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy krajního prvku skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 154 Schéma zatěžovacího stavu C3



Obr. 155 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C3

Tab. 20 Výsledky zatěžovacího stavu C3

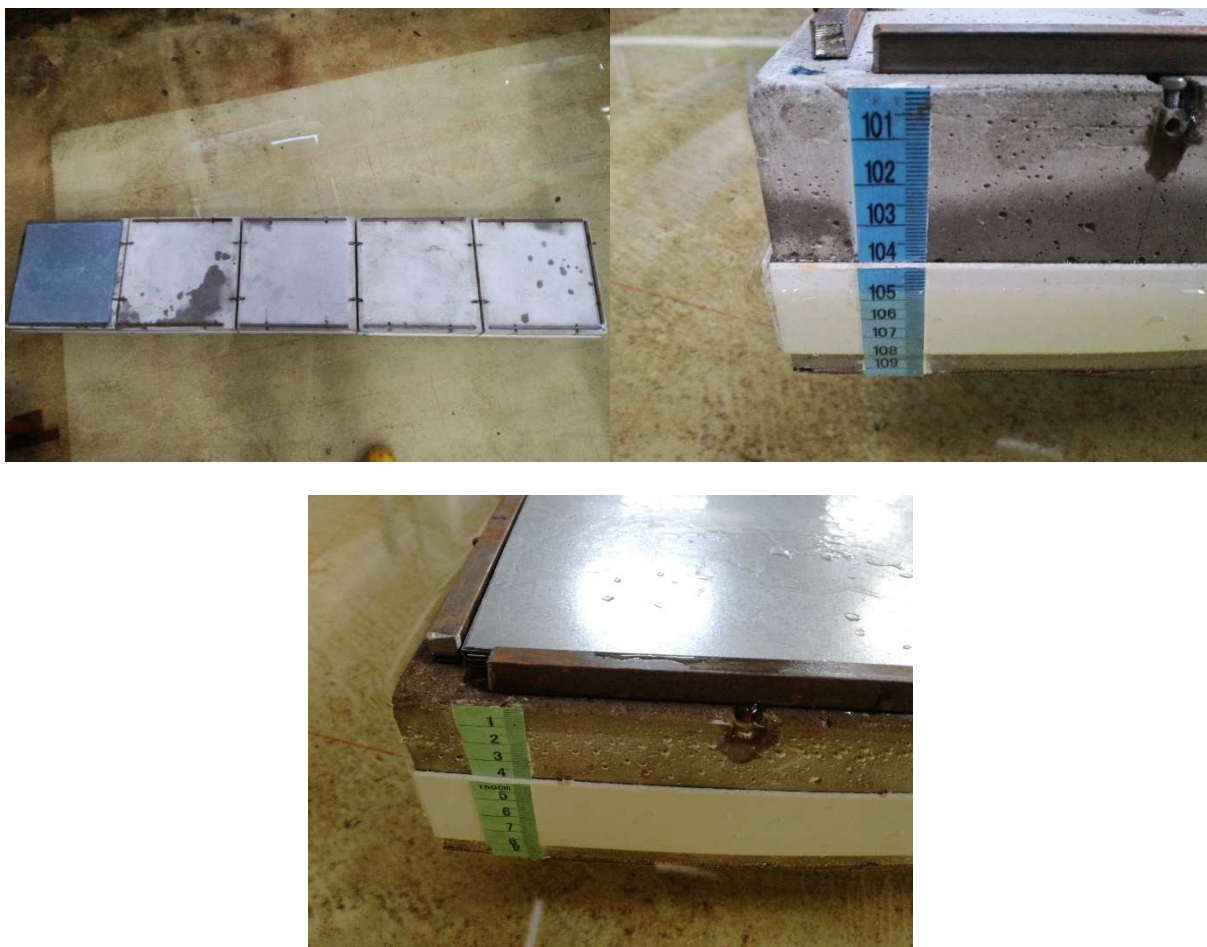
Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zatížený zkušební prvek	46–57	0,6	1,9
Druhý zkušební prvek	47–52	0	0,9
Prostřední zkušební prvek	49–51	0,1	0,2

8.3.11. Zatěžovací stav C4

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze krajní prvek skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 156 Schéma zatěžovacího stavu C4



Obr. 157 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C4

Tab. 21 Výsledky zatěžovacího stavu C4

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zatížený zkušební prvek	68–97	4,6	0,5
Druhý zkušební prvek	48–67	2,8	0,7
Prostřední zkušební prvek	38–47	1,4	0,4
Poznámky: Náklony ve směru y jsou způsobeny excentricky umístěným zatížením při zkoušce. Hodnota ponoru větší než 95 mm značí, že byl zkušební prvek ponořen celou výškou stěny pod vodní hladinu.			

8.3.12. Zatěžovací stav C5

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena plošně 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze prostřední prvek skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 158 Schéma zatěžovacího stavu C5



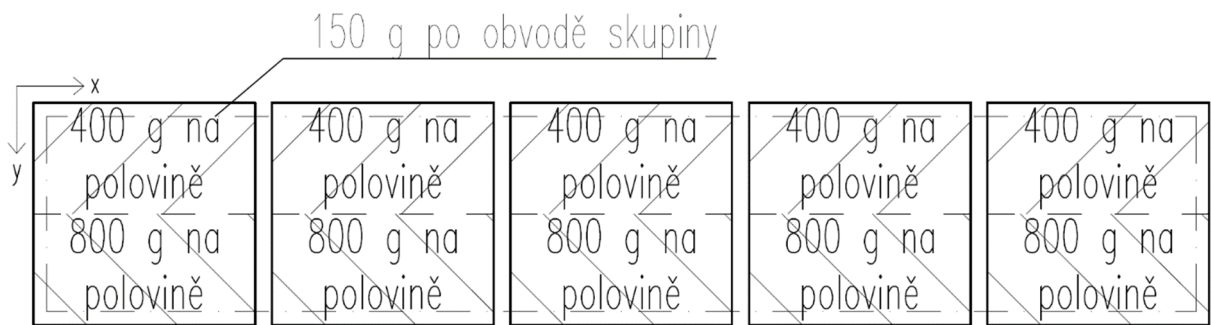
Obr. 159 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C5

Tab. 22 Výsledky zatěžovacího stavu C5

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Krajní zkušební prvek	61–64	0,5	0,1
Druhý zkušební prvek	51–63	2,3	0
Zatížený zkušební prvek	48–50	0,3	0

8.3.13. Zatěžovací stav C6

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 160 Schéma zatěžovacího stavu C6



Obr. 161 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C6

Tab. 23 Výsledky zatěžovacího stavu C6

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Zkušební prvek	55–65	1,7	0
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků skupiny přibližně stejné.			

8.3.14. Zatěžovací stav C7

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Krajní prvek skupiny má prasklý vzduchový vak částečně naplněný vodou.

Pro potřeby zkoušek havarijního stavu byl na folii tvořící vzduchový vak u jednoho ze zkušebních prvků proříznut otvor o délce 50 mm. Betonová skořepina zkušebního vzorku se chovala jako keson, a proto bylo nutné do prvku nalít vodu manuálně. Do prvku bylo nalito cca 1,75 l vody. Toto množství odpovídá přibližně polovičnímu zaplnění původní vzduchové dutiny.



Obr. 162 Proříznutý otvor u zkušebního prvku reprezentující prasklý vzduchový vak



Obr. 163 Schéma zatěžovacího stavu C7



Obr. 164 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C7

Tab. 24 Výsledky zatěžovacího stavu C7

Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Porušený zkušební prvek	57–53	0,9	0,3
Druhý zkušební prvek	53–50	0,6	0,1
Prostřední zkušební prvek	49	0	0

8.3.15. Zatěžovací stav C8

Liniově spojená skupina prvků (5x1) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Prostřední prvek skupiny má prasklý vzduchový vak částečně naplněný vodou.



Obr. 165 Schéma zatěžovacího stavu C8



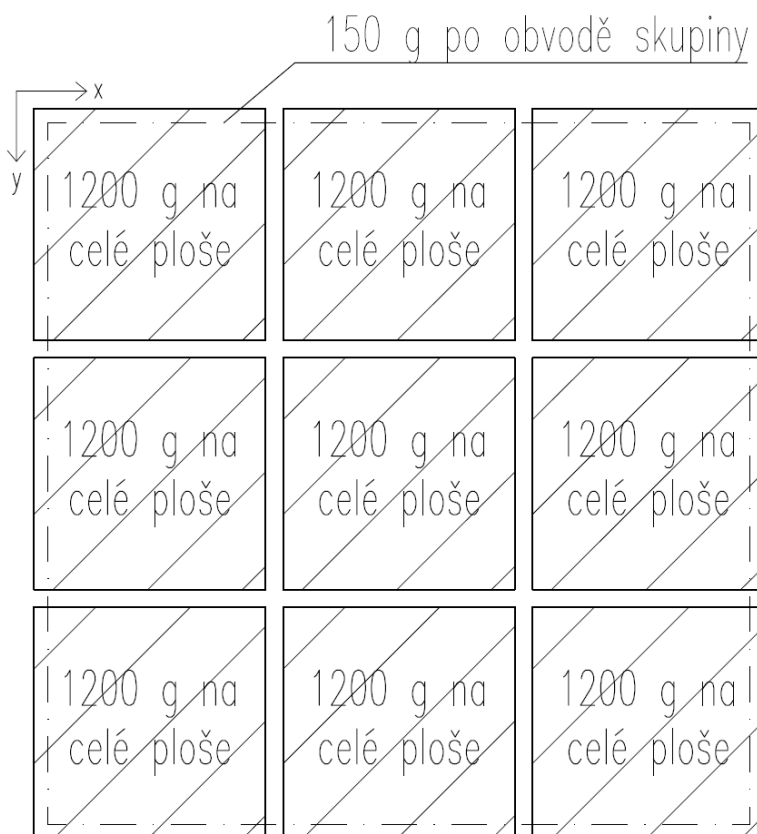
Obr. 166 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu C8

Tab. 25 Výsledky zatěžovacího stavu C8

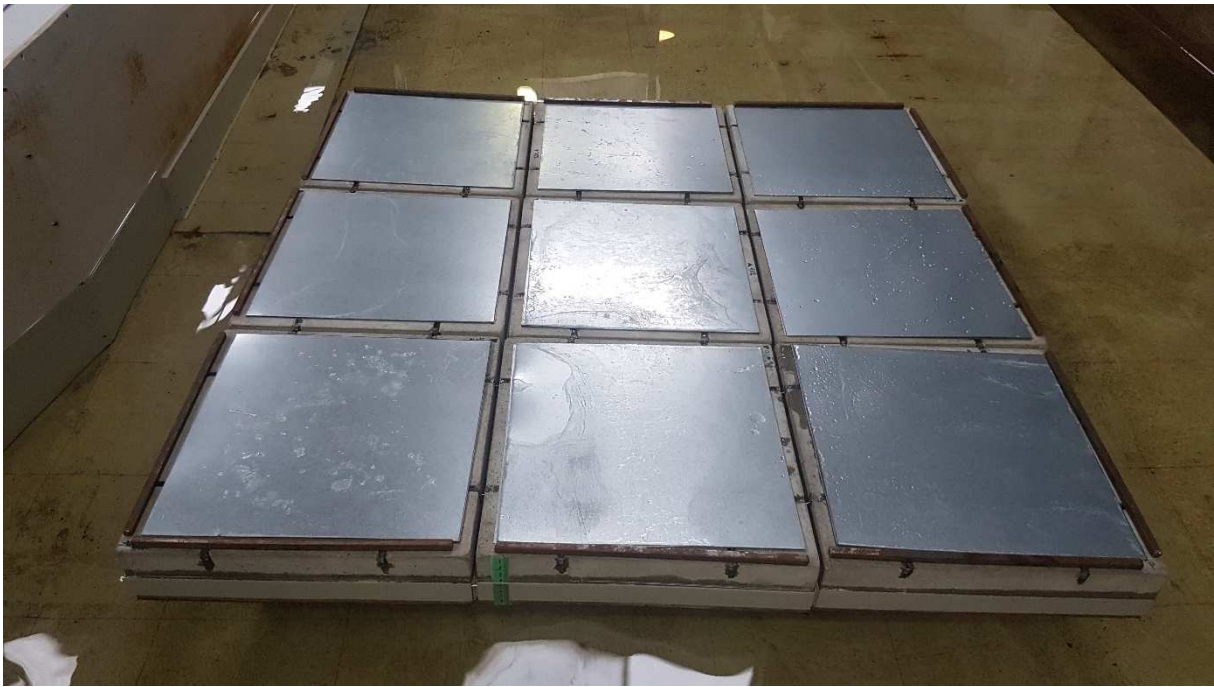
Označení	Ponor [mm]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Krajní zkušební prvek	50	0,1	0
Druhý zkušební prvek	48–54	1,0	0
Porušený zkušební prvek	55	0	0,1

8.3.16. Zatěžovací stav D1

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena plošně 1200 g na celé ploše všech prvků skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 167 Schéma zatěžovacího stavu D1



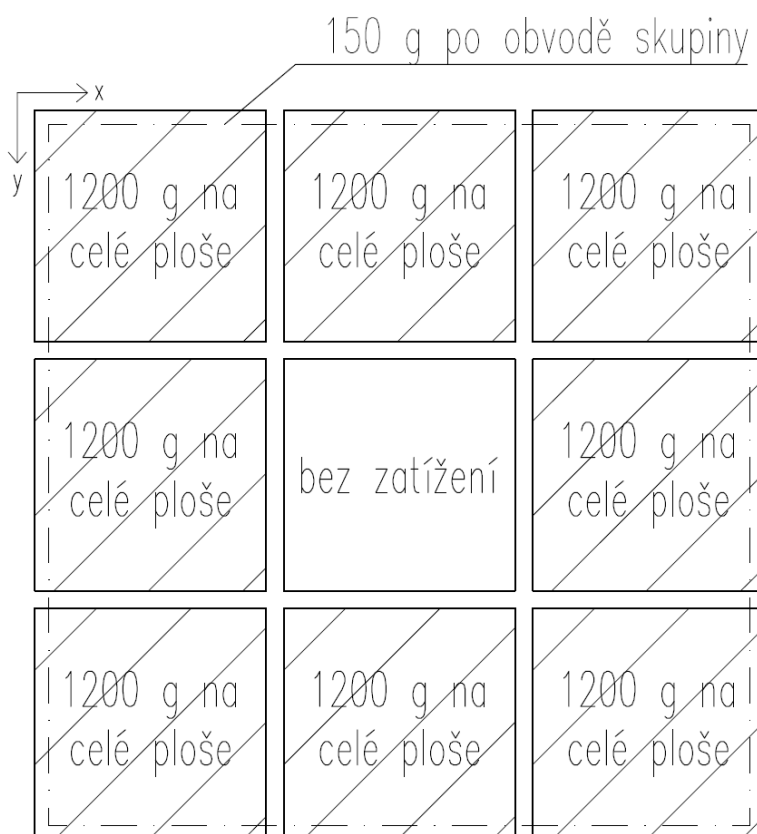
Obr. 168 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D1

Tab. 26 Výsledky zatěžovacího stavu D1

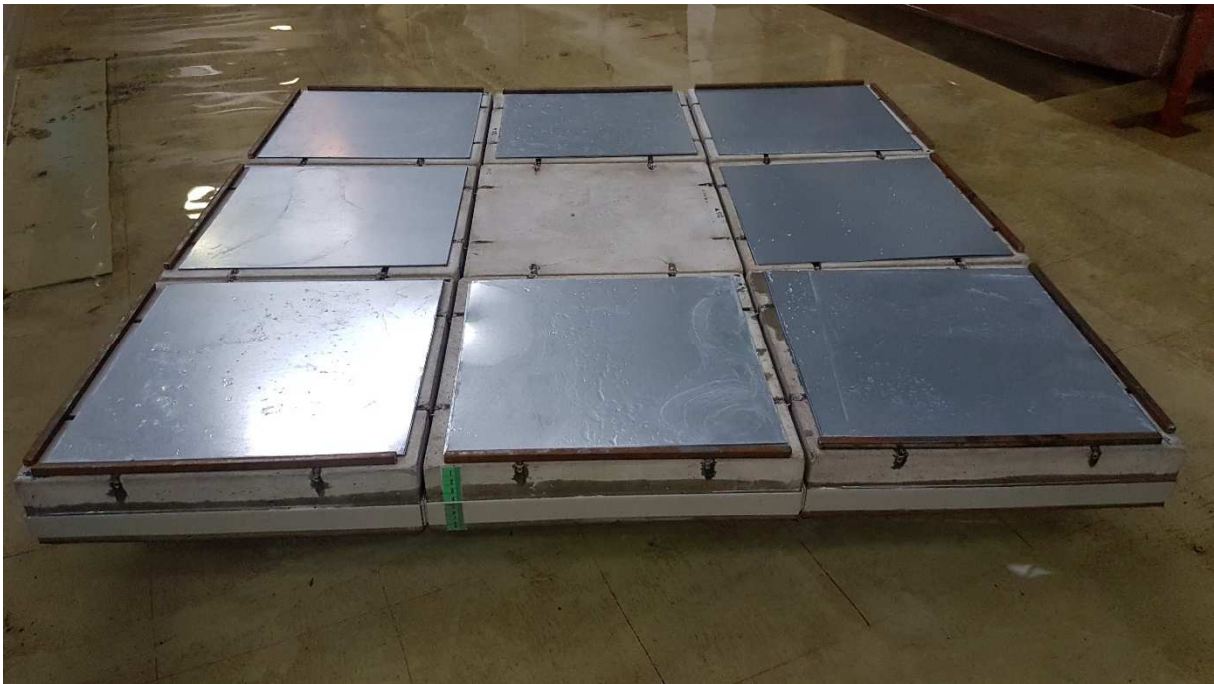
Označení	Ponor [mm]
Zkušební prvek	55,5
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků po obvodu skupiny přibližně stejné.	

8.3.17. Zatěžovací stav D2

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena plošně 1200 g na celé ploše prvků, přičemž je prostřední prvek skupiny bez zatížení. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 169 Schéma zatěžovacího stavu D2



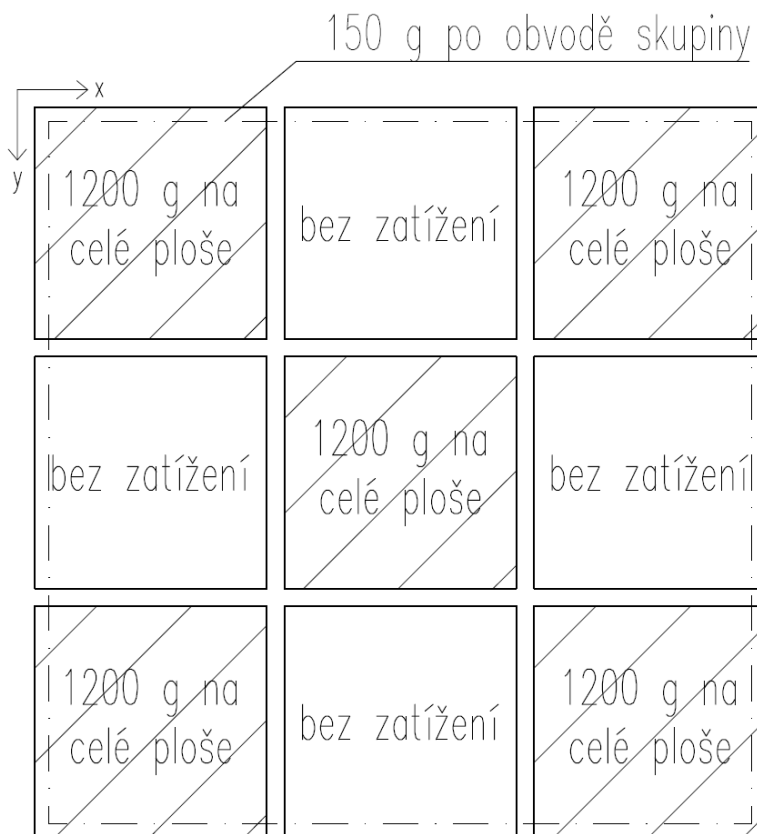
Obr. 170 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D2

Tab. 27 Výsledky zatěžovacího stavu D2

Označení	Ponor [mm]
Zkušební prvek	56,3
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků po obvodu skupiny přibližně stejné.	

8.3.18. Zatěžovací stav D3

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena plošně 1200 g na celé ploše prvků, přičemž je zatížení šachovnicově rozmístěno na rohových prvcích a na prostředním prvků skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 171 Schéma zatěžovacího stavu D3



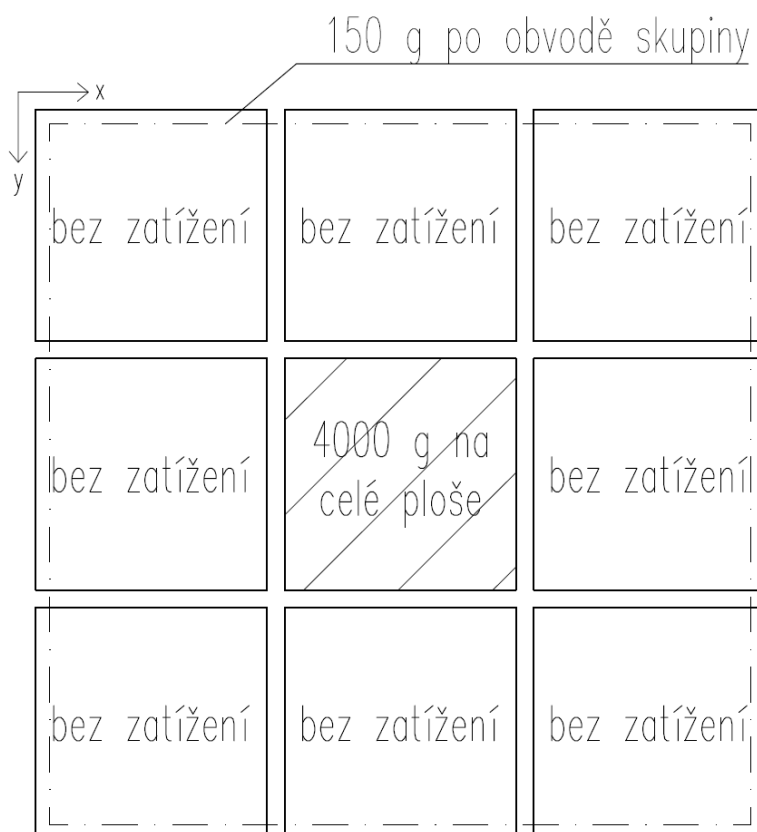
Obr. 172 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D3

Tab. 28 Výsledky zatěžovacího stavu D3

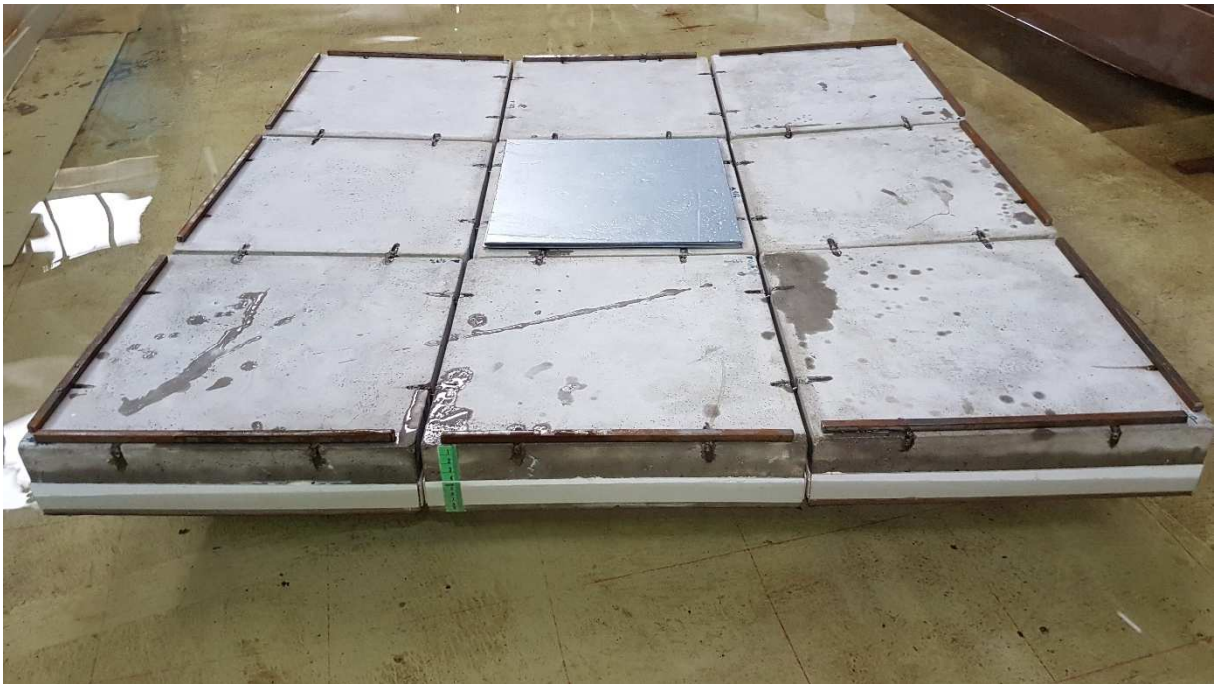
Označení	Ponor [mm]
Zatížený zkušební prvek	54
Nezatížený zkušební prvek	50
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků po obvodu skupiny přibližně stejné.	

8.3.19. Zatěžovací stav D4

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena plošně 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze prostřední prvek skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 173 Schéma zatěžovacího stavu D4



Obr. 174 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D4

Tab. 29 Výsledky zatěžovacího stavu D4

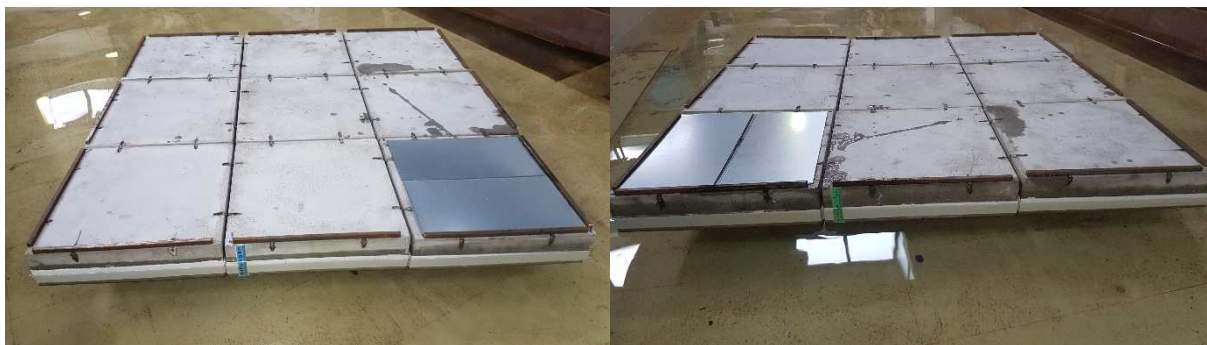
Označení	Ponor [mm]
Prostřední krajní zkušební prvek	53
Rohový zkušební prvek	40
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků po obvodu skupiny přibližně stejné.	

8.3.20. Zatěžovací stav D5

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvku, přičemž je zatížen pouze rohový prvek skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 175 Schéma zatěžovacího stavu D5



Obr. 176 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D5

Tab. 30 Výsledky zatěžovacího stavu D5

Označení	Ponor [mm]
Zatížený zkušební prvek	57
Prostřední krajní zkušební prvek	49
Nezatížený rohový zkušební prvek	43
Poznámka: Výsledky jsou u všech prvků po obvodu skupiny přibližně stejné.	

8.3.21. Zatěžovací stav D6

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena plošně 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen rohový prvek skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 177 Schéma zatěžovacího stavu D6



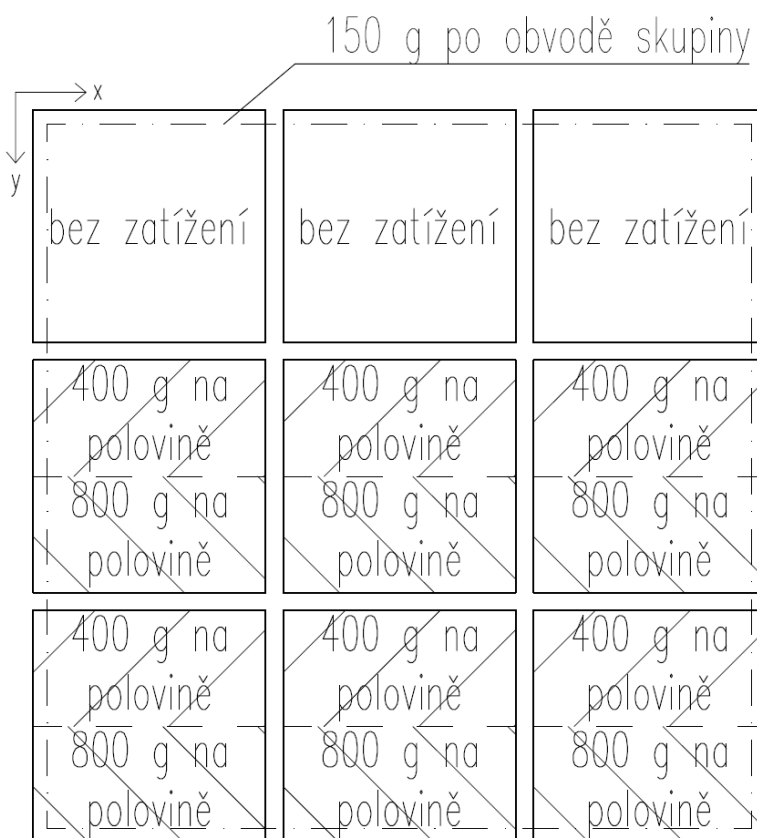
Obr. 178 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D6

Tab. 31 Výsledky zatěžovacího stavu D6

Označení	Ponor [mm]
Zatížený zkušební prvek	65
Prostřední krajní zkušební prvek	53
Nezatížený rohový zkušební prvek	50
Nezatížený rohový zkušební prvek – u protějšího rohu	40

8.3.22. Zatěžovací stav D7

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvků, přičemž jsou zatíženy dvě řady prvků skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 179 Schéma zatěžovacího stavu D7



Obr. 180 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D7

Tab. 32 Výsledky zatěžovacího stavu D7

Označení	Ponor [mm]
Zatížený prostřední krajní zkušební prvek	60
Zatížený rohový zkušební prvek	58
Zatížený prostřední krajní zkušební prvek vedle nezatíženého prvku	57
Nezatížený rohový zkušební prvek – u protějšího rohu	50
Nezatížený prostřední krajní zkušební prvek	43

8.3.23. Zatěžovací stav D8

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvků, přičemž jsou zatíženy krajní řady prvků skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě.



Obr. 181 Schéma zatěžovacího stavu D8



Obr. 182 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D8

Tab. 33 Výsledky zatěžovacího stavu D8

Označení	Ponor [mm]
Zatížený prostřední krajní zkušební prvek	56
Zatížený rohový zkušební prvek	57
Nezatížený prostřední krajní zkušební prvek	55
Nezatížený rohový zkušební prvek	46
Nezatížený prostřední krajní zkušební prvek	42

8.3.24. Zatěžovací stav D9

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Rohový prvek skupiny má prasklý vzduchový vak částečně naplněný vodou.



Obr. 183 Schéma zatěžovacího stavu D9



Obr. 184 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D9

Tab. 34 Výsledky zatěžovacího stavu D9

Označení	Ponor [mm]
Zkušební prvek s prasklým vakem	52
Zkušební prvek vedle prvku s prasklým vakem	50
Rohový zkušební prvek	44
Rohový zkušební prvek – u protějšího rohu	45

8.3.25. Zatěžovací stav D10

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Prostřední prvek krajní řady skupiny má prasklý vzduchový vak částečně naplněný vodou.



Obr. 185 Schéma zatěžovacího stavu D10



Obr. 186 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D10

Tab. 35 Výsledky zatěžovacího stavu D10

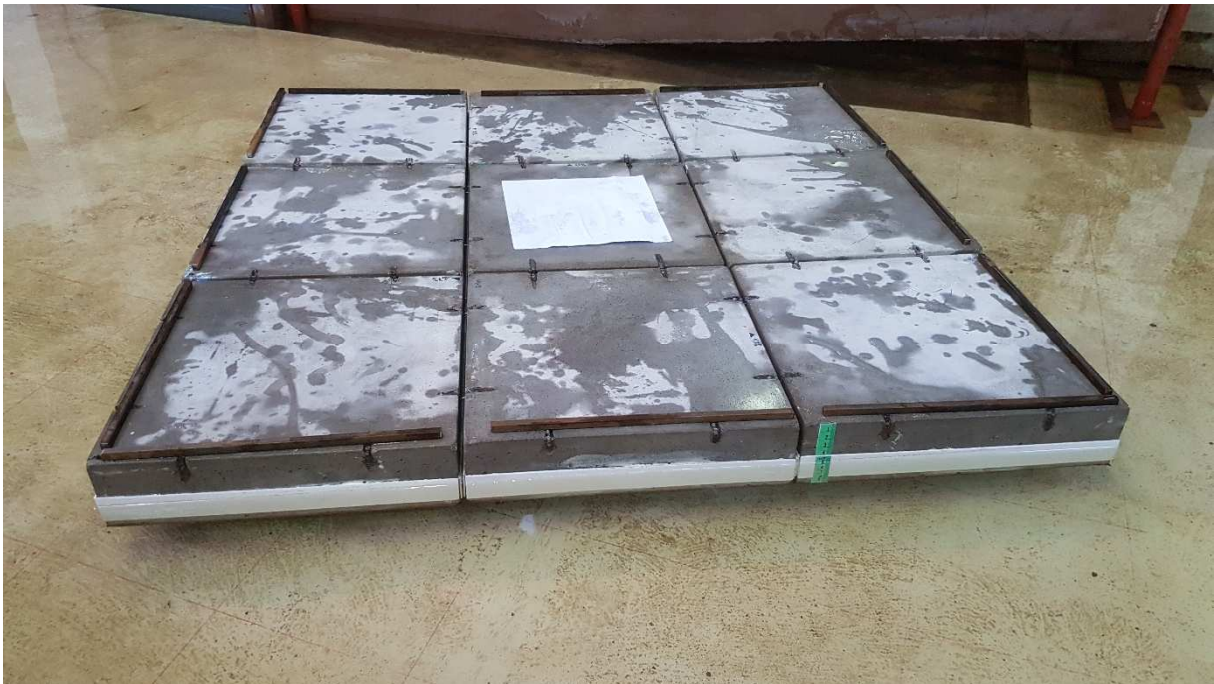
Označení	Ponor [mm]
Zkušební prvek s prasklým vakem	53
Rohový zkušební prvek vedle prvku s prasklým vakem	48,5
Prostřední krajní zkušební prvek	45
Prostřední krajní zkušební prvek na protější straně	48

8.3.26. Zatěžovací stav D11

Plošně spojená skupina prvků (3x3) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Prostřední prvek skupiny má prasklý vzduchový vak částečně naplněný vodou.



Obr. 187 Schéma zatěžovacího stavu D11



Obr. 188 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu D11

Tab. 36 Výsledky zatěžovacího stavu D11

Označení	Ponor [mm]
Rohový zkušební prvek	53
Prostřední krajní zkušební prvek	52

8.3.27. Vyhodnocení statických zkoušek

U skupiny zatěžovacích stavů A, tedy zatěžovacích stavů prováděných na osamělém prvku, lze pozorovat, jak se mění velikost ponoru se zatížením prvku. Pozitivní je skutečnost, že i při maximálním možném zatížení prvku, tedy zatížení 50 osobami, které se na prvek reálně vejdou, nedojde k zatopení horní desky prvku, a tedy ponoření prvku. Rezerva při tomto zatěžovacím stavu je ještě 10 mm výšky prvku, což u reálného prvku představuje 100 mm. Tento zatěžovací stav byl ověřen při návrhu numerickým modelem, jehož výsledky se shodují s chováním při hydraulických zkouškách.

Při zatěžovacím stavu A4, tedy osamělý prvek zatížený 2000 g na polovině prvku, se ukázal stabilitní problém prvku. Výsledný maximální náklon prvku je $12,5^\circ$. Dle normy ČSN 734130 Schodiště a šikmé rampy – základní požadavky [2] je maximální přípustná hodnota sklonu rampy pro pěší pouze 1:8 ($7,1^\circ$). Lze však předpokládat, že tato norma zohledňuje

pohodlný výstup osob po rampě. Při tomto zatížení nebude užívání prvku příliš komfortní, nicméně náklon není natolik velký, aby byl pro užívání nebezpečný. Výsledný ponor je na zatíženém okraji větší než výška prvku a dojde tedy k částečnému zatopení horní desky prvku. Toto zatížení je reálně možné na prvku vytvořit osobami, nicméně je jednak větší než předepsané dovolené zatížení (15 osob na prvku) a jednak je nepravděpodobné, že by se osoby zdržovaly pouze na jedné polovině prvku. Pokud by tomu tak bylo, lze očekávat, že po naklonění prvku se osoby rovnoměrně rozprostřou po celé ploše prvku.

U zkoušek skupiny prvků spojené do linie (5x1) lze pozorovat, jak se mění její chování oproti zkouškám s osamoceným prvkem. Zejména lze vidět vzájemné pomáhání prvků, pokud není skupina zatížena na všech prvcích. Dále lze vidět, že vzhledem k umístění spojovacího prvku při horní desce prvku je pro skupinu prvků mnohem výhodnější, pokud je zatížena při jejím středu, jelikož okolní nezatížené prvky pomáhají ve stabilizaci zatíženému prvku. Tento jev lze nejlépe pozorovat u zatěžovacího stavu C5, kdy bylo maximální možné zatížení 4000 g umístěno pouze na prostřední prvek skupiny. Výsledná maximální naměřená hodnota náklonu je u tohoto zatěžovacího stavu 2,3° na nezatíženém prvku vedle zatíženého. Opačný jev a pro skupinu prvků více nepříznivý můžeme pozorovat u zatěžovacího stavu C4, kdy bylo maximální možné zatížení 4000 g umístěno pouze na krajní prvek skupiny. Maximální náklon byl u takto zatížené skupiny naměřen 4,6° na zatíženém prvku. Navíc při tomto zatěžovacím stavu došlo k částečnému ponoření horní desky prvku. Rozdíl mezi těmito zatěžovacími stavy je, že u stavu C4 je maximální náklon skupiny u zatíženého prvku, zatímco u zatěžovacího stavu C5 je maximální náklon rozložen mezi dva sousední zatěžovací prvky.

Při statických zkouškách skupiny D, tedy zkouškách skupiny prvků spojené do plochy (3x3), nelze z důvodu nezměřených údajů o náklonu prvků vyvozovat závěry o jejich náklonech. Z fotodokumentace lze ale soudit, že nejhorším stavem bude zatížení rohového prvku skupiny maximálním teoreticky možným zatížením (stav D6). V tomto případě byl největší naměřený ponor prvku 65 mm, takže byla stále velká rezerva před zatopením prvku vodou (30 mm). Při porovnání se stavem C4 (maximální teoreticky možné zatížení na krajním prvku liniové skupiny) je jasně patrné, že plošné propojení prvků vede k roznesení zatížení na okolní prvky a omezení deformací skupiny prvků.

Celkově byly při provádění statických hydraulických zkoušek zjištěny nové poznatky o chování celého systému. Díky naměřeným výsledkům při statických hydraulických zkouškách je možné navrhnout úpravu pro zlepšení celkové stability tohoto systému. Pro zlepšení stability je možné například upravit geometrii prvku. Pokud bude prvek větší v půdorysných rozměrech,

pak nebude vyvozovat tak velká natočení. Dále by mohlo být zesíleno patní obvodové žebro, což by vedlo k posunutí těžiště níže, a tím k větší metacentrické výšce. Celkově by tak byl prvek stabilnější, ale pravděpodobně by po této úpravě muselo dojít k zvětšení vzduchotechnického vaku a tím i k celkové výšce prvku. O těchto úpravách bude vedena diskuze při dalším vývoji tohoto systému.

8.4. Dynamické hydraulické zkoušky

Dynamické zkoušky byly prováděny ve zkušebním korytu o šířce 1 m a délce 15 m. Tyto zkoušky byly prováděny při neustálené (pohybující se) vodní hladině. Pohyb hladiny byl tvořen třemi různými způsoby.

Prvním způsobem je konstantní proudění hladiny bez vlnění. Komunikací se správcem vodních cest na Vltavě – Povodí Vltavy, státní podnik byly získány rychlostní mapy Vltavy v okolí pražské náplavky. Tyto mapy byly vyhodnoceny z povodně v roce 2002, která se označuje jako stoletá voda a na níž se v současnosti navrhuje protipovodňová opatření. Průtok ve Vltavě byl tehdy cca 4080 m³/s a rychlosti se pohybovaly okolo 1,6-1,8 m/s u břehu a 2,2-2,4 m/s uprostřed toku. Tyto rychlosti jsou měřené na hladině toku. Dále bylo zjištěno, že se na Vltavě zastavuje plavba při průtoku cca 850 m³/s. Při tomto průtoku se rychlosti v toku pohybují okolo 0,6-0,8 m/s u břehu a 0,8-1,0 m/s uprostřed toku.

Pro dynamické zkoušky při plavání zkušebních prvků na hladině byl uvažován stav podobný zastavení plavby na Vltavě. Nejprve bylo nutné provést převod rychlostí do měřítka zkoušek, tj. 1:10. Tabulka pro převod rychlostí mezi modelem v měřítku 1:10 a skutečností je součástí příloh této práce. Po tomto převodu je potřebná rychlost proudění na hladině rovna přibližně 0,3 m/s. Požadovaná hloubka při zkouškách byla přibližně 0,25 m, což přibližně odpovídá hloubce toku v místech náplavky v měřítku 1:10. Pro tyto podmínky byl nastaven vhodný průtok ve zkušebním žlabu, který tím byl připraven na zkoušení.

Druhým způsobem pohybu hladiny bylo její vlnění. Pro tvorbu vln bylo zkonstruováno zařízení popsané v kapitole 8.2.2. Generátor vln. V korytu byl pro tyto zkoušky nastaven velmi malý průtok, který pouze doplňoval ztráty netěsností. Rychlost proudění vodní hladiny tak lze považovat za nulovou. Maximální možná velikost a délka vln vyskytujících se v místech náplavky byla odhadnuta prof. Ing. Jaroslavem Pollertem, Ph.D. Výsledným odhadem jsou vlny vysoké cca 0,5 m s délkou cca 6 m. Maximální možné vlny nejsou způsobeny přirozeným vlněním hladiny ale lidskou činností, konkrétně je největším tvůrcem vlnění průjezd tlačného

remorkéru. V místech náplavky mají plavidla předepsané maximální povolené rychlosti právě kvůli možné tvorbě nebezpečných vln. I přesto musí být konstrukce navržena tak, aby při tomto stavu nedošlo k jejímu porušení. Vlnění pro hydraulické zkoušky bylo potřebné vytvořit v měřítku 1:10, takže s výškou vlny cca 50 mm a délkou cca 600 mm. Pro vytvoření těchto vln byly upravovány otáčky elektromotoru a umístění na hřídeli generátoru vln, dokud nebyly nalezeny optimální hodnoty.

Třetím zkoušeným způsobem pohybu hladiny je kombinace dvou předchozích, tedy vlnění vodní hladiny při jejím konstantním proudění. Rychlost proudění byla stejná jako při zkouškách s pouhým prouděním, tj. cca 0,3 m/s na hladině. Při proudění vodní hladiny dochází k unášení vln, a proto se zvětšuje jejich délka, ale naopak zmenšuje výška. Pro tento typ zkoušek byly tedy podmínky upraveny tak, aby výsledná výška vlny byla cca 30 mm a délka cca 1 m.

Výsledky těchto zkoušek jsou údaje z náklonoměrů ve dvou na sobě kolmých osách a hodnoty poměrného přetvoření z tyček s nalepenými tenzometry. Všechny tyto veličiny jsou měřeny v závislosti na čase a je možné pozorovat, jak jsou vzájemně ovlivněné. V následující tabulce jsou shrnuty zatěžovací stavy zkoumané při dynamických hydraulických zkouškách.

Tab. 37 Přehled zkoušených zatěžovacích stavů pro dynamické zkoušky

Označení	Uspořádání	Vodní hladina	Zatížení
X1	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění	Bez zatížení
X2	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy prvku
X3	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění	4000 g na celé ploše prvku
X4	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění	Bez zatížení
X5	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků
X6	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění	4000 g na celé ploše prostředního prvku

X7	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění	Bez zatížení
X8	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy krajních prvků
X9	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění	4000 g na celé ploše prostředního krajního prvku
Y1	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné proudění	Bez zatížení
Y2	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy prvku
Y3	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné proudění	4000 g na celé ploše prvku
Y4	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné proudění	Bez zatížení
Y5	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků
Y6	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné proudění	4000 g na celé ploše prostředního prvku
Y7	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné proudění	Bez zatížení
Y8	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy krajních prvků
Y9	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné proudění	4000 g na celé ploše prostředního krajního prvku
Z1	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	Bez zatížení
Z2	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy prvku

Z3	Osamělý prvek – 1x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	4000 g na celé ploše prvku
Z4	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	Bez zatížení
Z5	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků
Z6	Liniové spojení – 3x1	Rovnoměrné vlnění a proudění	4000 g na celé ploše prostředního prvku
Z7	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění a proudění	Bez zatížení
Z8	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění a proudění	400 g na jedné polovině a 800 g na druhé polovině plochy krajních prvků
Z9	Plošné spojení – 3x2	Rovnoměrné vlnění a proudění	4000 g na celé ploše prostředního krajního prvku
Poznámka: Při každém zatěžovacím stavu bylo umístěno zatížení simulující zábradlí po obvodu celé skupiny o hmotnosti 150 g			

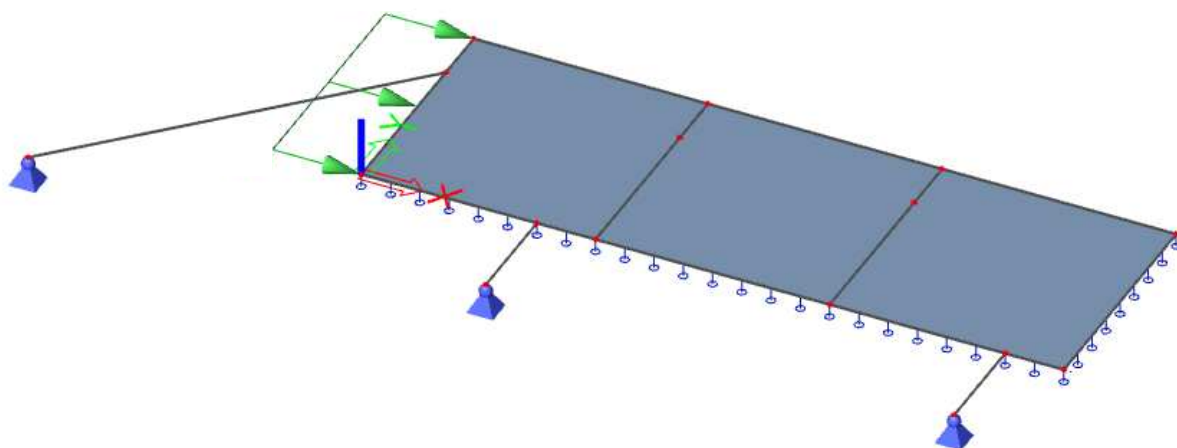
U dynamických zkoušek byla pro měření použita měřicí stanice, ke které byly připojeny tenzometry nalepené na měřicí plastové tyčky a dva náklonoměry. Údaje ze snímačů byly zaznamenávány v čase. Po jejich zpracování jsou výsledky naměřená síla v táhle, naměřená síla v tažené rozpěře, dopočítaná síla v tlačené rozpěře, příčný a podélný náklon (ve směru x a y). Výsledky byly zpracovány do grafu měřených veličin v závislosti na čase. Pro neměřenou rozpěru byla spočtena pouze maximální hodnota potřebná pro její návrh. Tyto výsledky a fotodokumentace jednotlivých zatěžovacích stavů budou zobrazeny v následujících kapitolách.

8.4.1. Dopočet síly v tlačené rozpěře

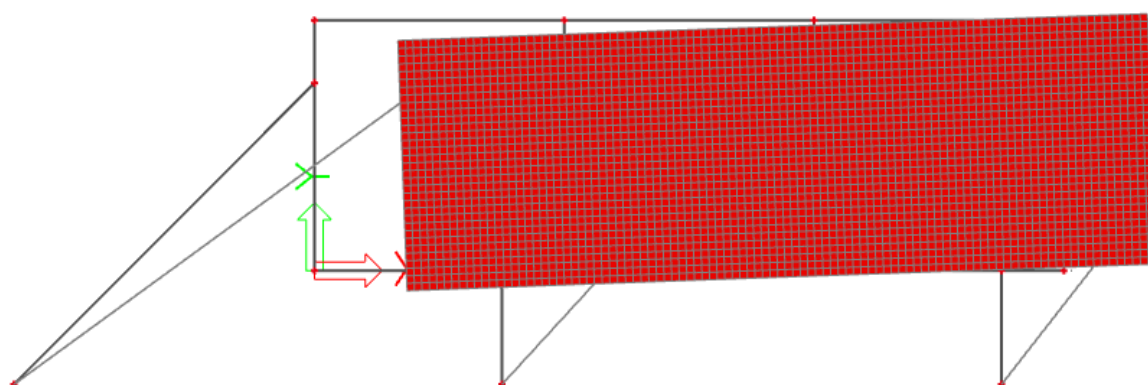
Při dynamických zkouškách byly měřeny poměrné deformace na měřicí plastové tyčce u táhla a jedné rozpěry. Původní myšlenka byla, že bude betonový prvek připevněn

ke zkušebnímu žlabu pouze pomocí těchto dvou kotevních prvků, přičemž v táhle vznikne tah a v rozpěře tlak. Při prvních zkouškách se však ukázalo, že není možné betonový prvek takto zachytit, protože vznikají velké posuny prvku do stran. Z toho důvodu byla přidána ještě jedna vzpěra tvořená pomocí tuhého svářecího měděného drátu o průměru 1 mm. Tím došlo ke změně chování systému oproti předpokladu. Před začátkem zkoušení byly vytvořeny pouze dvě plastové měřicí tyčky s tenzometry, a proto nebylo možné měřit poměrné přetvoření i v nově přidaném prvku. Pro vyhodnocení zkoušek se z podmínek rovnováhy sil na skupině prvků odvodila výsledná síla v tlačené neměřené rozpěře.

Na následujících obrázcích je zobrazen numerický deskostěnový model a jeho výsledky při zkoušce se skupinou prvků 3x1 při působení zatížení od vlnění vodní hladiny.

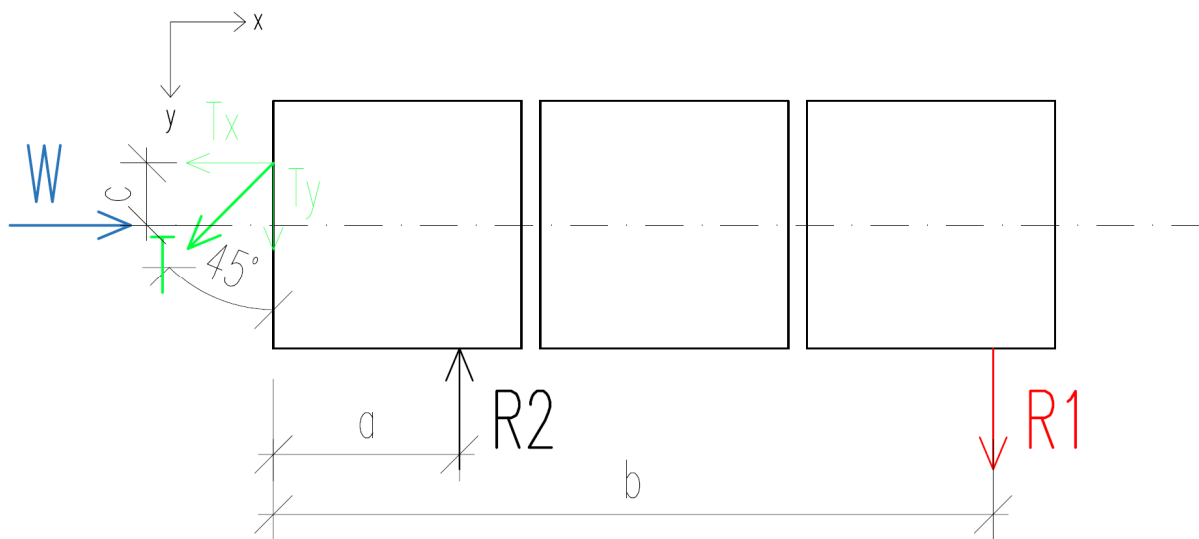


Obr. 189 Numerický model skupiny 3x1 prvků při zatížení od vlnění vodní hladiny



Obr. 190 Vykreslení deformací skupiny 3x1 prvků při zatížení od vlnění vodní hladiny

Ze spočtených deformací je jasně patrné, že měřená vzpěra (vzdálenější od táhla) se při novém uspořádání kotevních prvků stává taženou, neměřená vzpěra (bližší k táhlu) je tlačená. Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma pro výpočet síly v tlačené rozpěře.



Obr. 191 Schéma pro výpočet tlačené rozpěry

Síla W zde reprezentuje účinek zatížení od pohybující se vodní hladiny. Síla T zde reprezentuje naměřenou šikmou sílu v táhlu, kterou lze rozložit na její svislou a vodorovnou složku T_x a T_y . Síla $R1$ je naměřená síla v tažené rozpěře a síla $R2$ je síla v tlačené rozpěře, kterou je třeba dopočítat. Táhllo i obě rozpěry byly při zkouškách připevněny do svorkovnic na prvku ve vzdálenosti 82,5 mm od kraje prvku. Úhel α sevřený mezi měřícím táhlem a prvkem byl přibližně 45° .

Z podmínek rovnováhy na skupině prvků vychází následující vztahy:

Vodorovná podmínka rovnováhy:

$$\rightarrow : W = T \cdot \sin(\alpha) \quad (53)$$

Svislá podmínka rovnováhy:

$$\uparrow : R2 - R1 = T \cdot \cos(\alpha) \quad (54)$$

Momentová podmínka rovnováhy okolo působíště síly v táhle, tj. 82,5 mm od okraje prvku:

$$\sum : W \cdot c + R2 \cdot a = R1 \cdot b \quad (55)$$

- kde: W je síla vyvolaná účinkem pohybující se vodní hladiny,
 T je síla v měřeném táhle,
 a je úhel sevřený mezi táhlem a stěnou prvku,
 $R1$ je síla v měřené tažené rozpěře,
 $R2$ je síla v neměřené tlačené rozpěře,
 a je vzdálenost ve směru x od hrany prvku k tlačené rozpěře,
 b je vzdálenost ve směru x od hrany prvku k tažené rozpěře,
 c je vzdálenost ve směru y od osy skupiny prvků k připevněnému táhlu.

Podmínky rovnováhy jsou shodné pro všechny sestavy, pouze při sestavení prvků do plošné skupiny 3x2 je nutné brát vzdálenost ve směru y od osy skupiny prvků k připevněnému táhlu c s opačným znaménkem (kotevní bod táhla bude ležet na opačné straně od podélné osy skupiny prvků).

Dosazením a úpravou podmínek rovnováhy dostaneme následující rovnici pro výpočet síly působící v tlačené rozpěře (pro úhel 45° platí $\sin(45^\circ) = \cos(45^\circ)$):

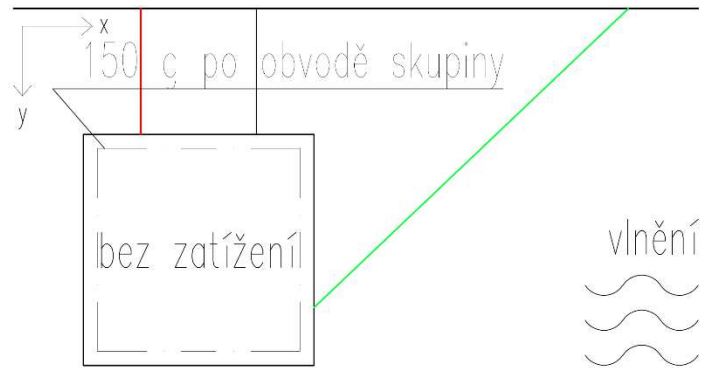
$$T \cdot \sin(45^\circ) \cdot c + R2 \cdot a = [R2 - T \cdot \sin(45^\circ)] \cdot b \quad (56)$$

$$R2 \cdot a - R2 \cdot b = -T \cdot \sin(45^\circ) \cdot (b + c) \quad (57)$$

$$R2 = \frac{T \cdot \sin(45^\circ) \cdot (b+c)}{b-a} \quad (58)$$

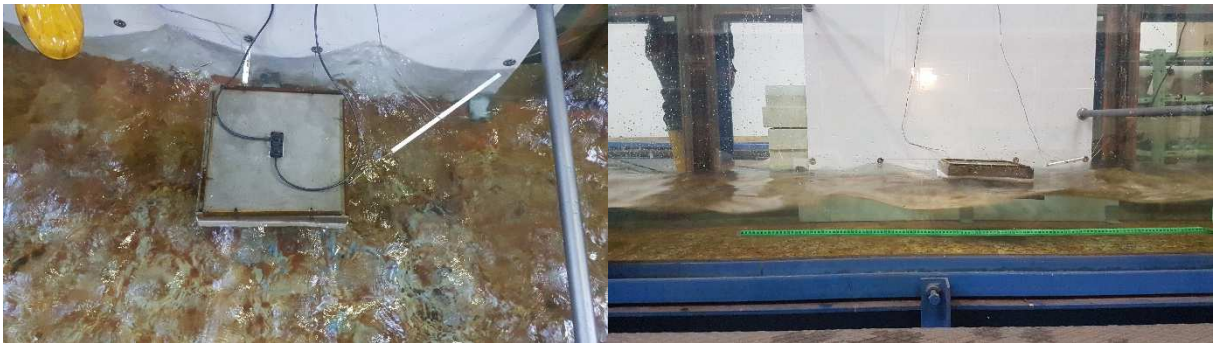
8.4.2. Zatěžovací stav X1

Osamělý prvek (1x1) zatížen pouze líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění. Na následujícím schématu jsou znázorněny prvky, ve kterých bylo

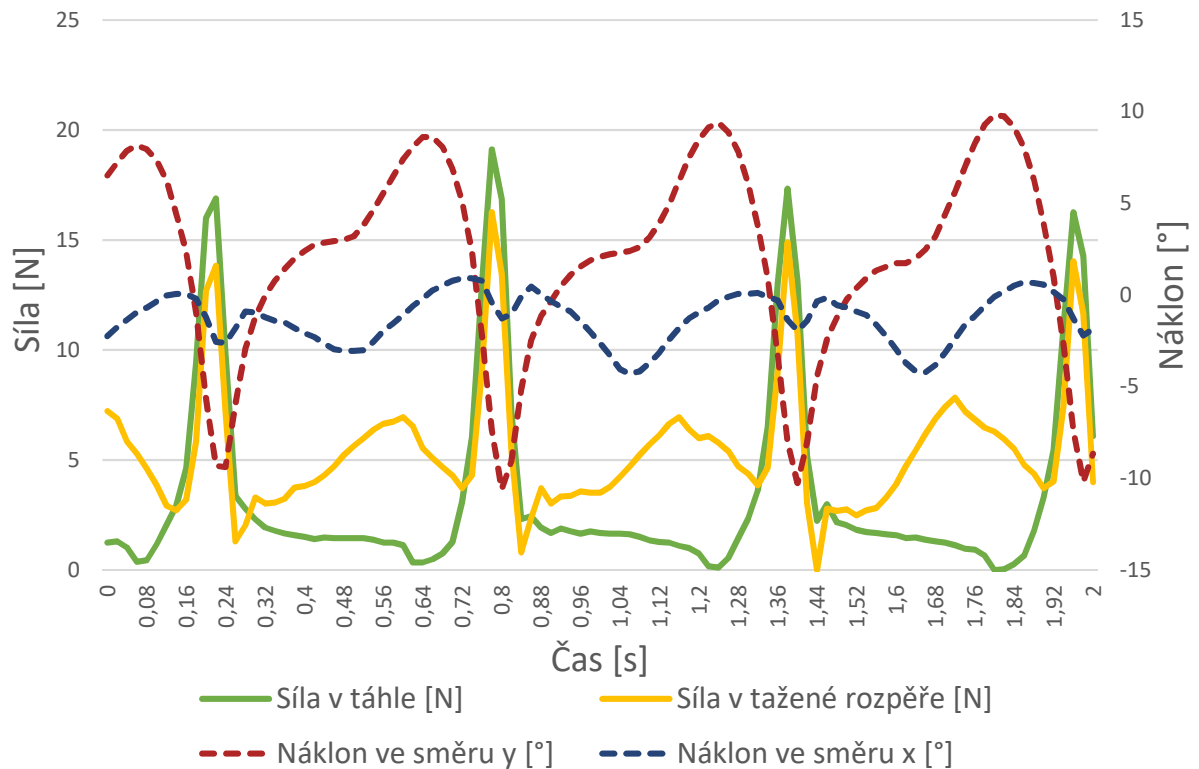


Obr. 192 Schéma zatěžovacího stavu X1

měřeno poměrné přetvoření. Táhlo je zde znázorněno zelenou barvou a měřená rozpěra červenou barvou. V druhé tlačené rozpěře nebylo měřeno poměrné přetvoření, ale maximální síla, která zde vzniká, byla dopočítána z rovnováhy sil. Na schématu je znázorněna černou barvou. Tatáž barevná konvence je použita u všech dalších schémat.



Obr. 193 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu X1



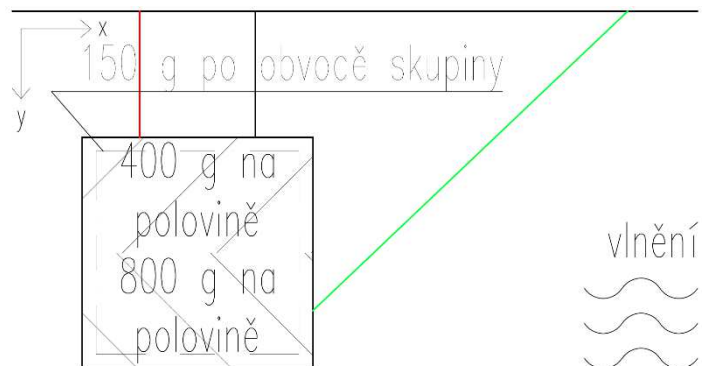
Obr. 194 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X1

Tab. 38 Výsledky zatěžovacího stavu X1

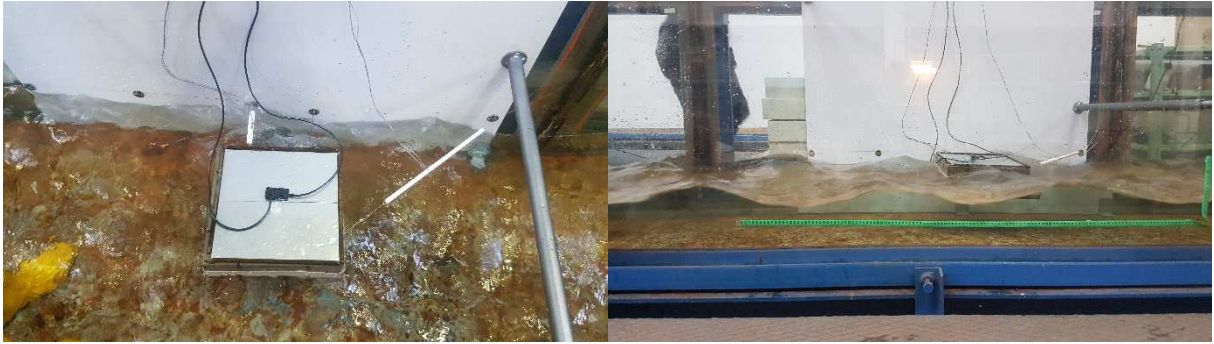
Zatěžovací stav	Sílа v táhle [N]	Sílа v tažené rozpěře [N]	Sílа v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X1	19,1	16,3	27,0	-4,3 až 0,9	-10,6 až 9,8

8.4.3. Zatěžovací stav X2

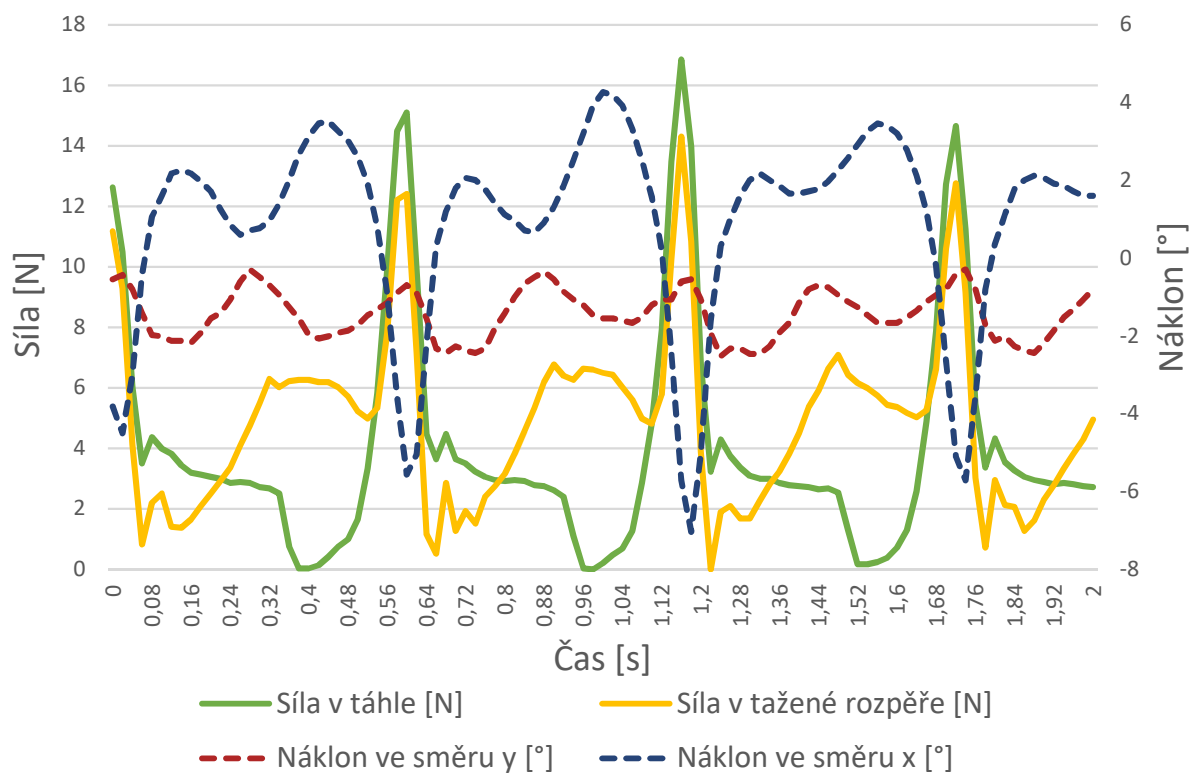
Osamělý prvek (1x1) zatížen 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvku a líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 195 Schéma zatěžovacího stavu X2



Obr. 196 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu X2



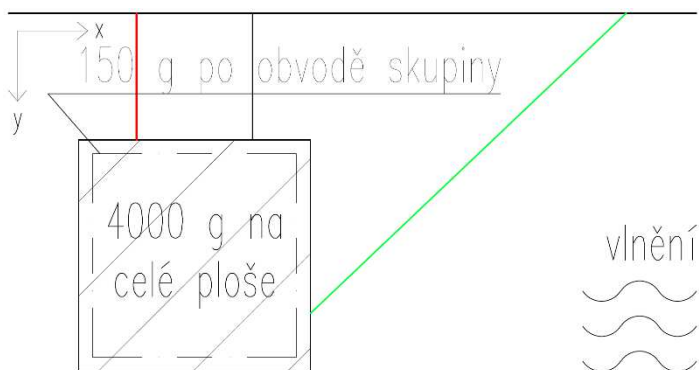
Obr. 197 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X2

Tab. 39 Výsledky zatěžovacího stavu X2

Zatěžovací stav	Sílka v táhle [N]	Sílka v tažené rozpěře [N]	Sílka v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X2	16,9	14,3	23,8	-7,0 až 4,3	-2,5 až -0,3

8.4.4. Zatěžovací stav X3

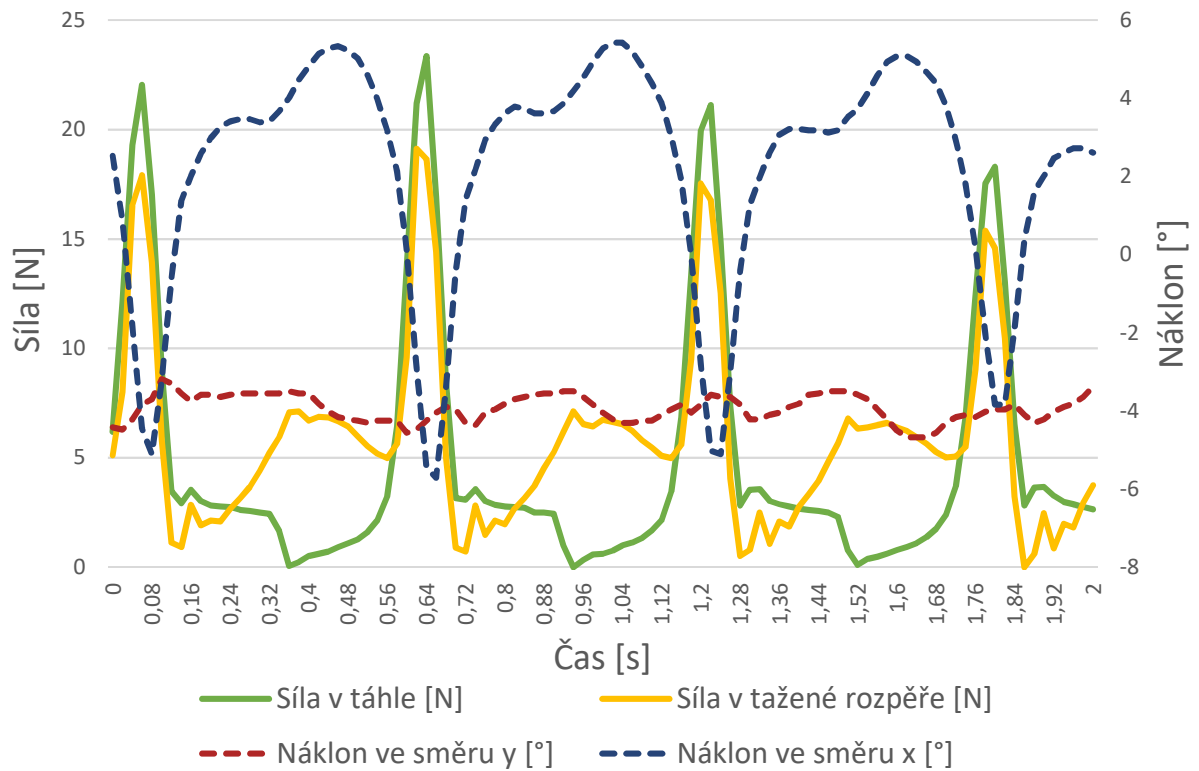
Osamělý prvek (1x1) zatížen 4000 g na celé ploše prvku a líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 198 Schéma zatěžovacího stavu X3



Obr. 199 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu X3



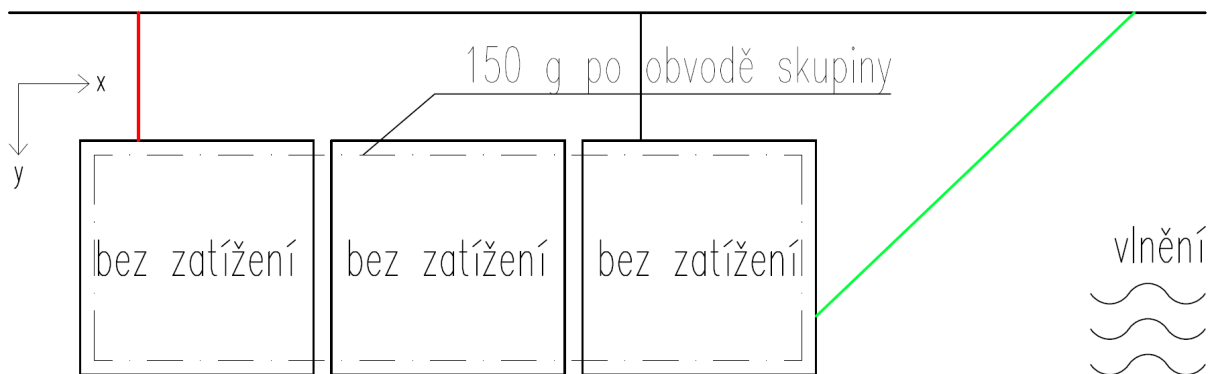
Obr. 200 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X3

Tab. 40 Výsledky zatěžovacího stavu X3

Zatěžovací stav	Síl á v t á hle [N]	Síl á v tažen é rozp ě ře [N]	Síl á v tlačen é rozp ě ře [N]	N á klon ve sm ě ru x [°]	N á klon ve sm ě ru y [°]
X3	23,4	19,1	33,0	-5,7 až 5,4	-4,7 až -3,2

8.4.5. Zatěžovací stav X4

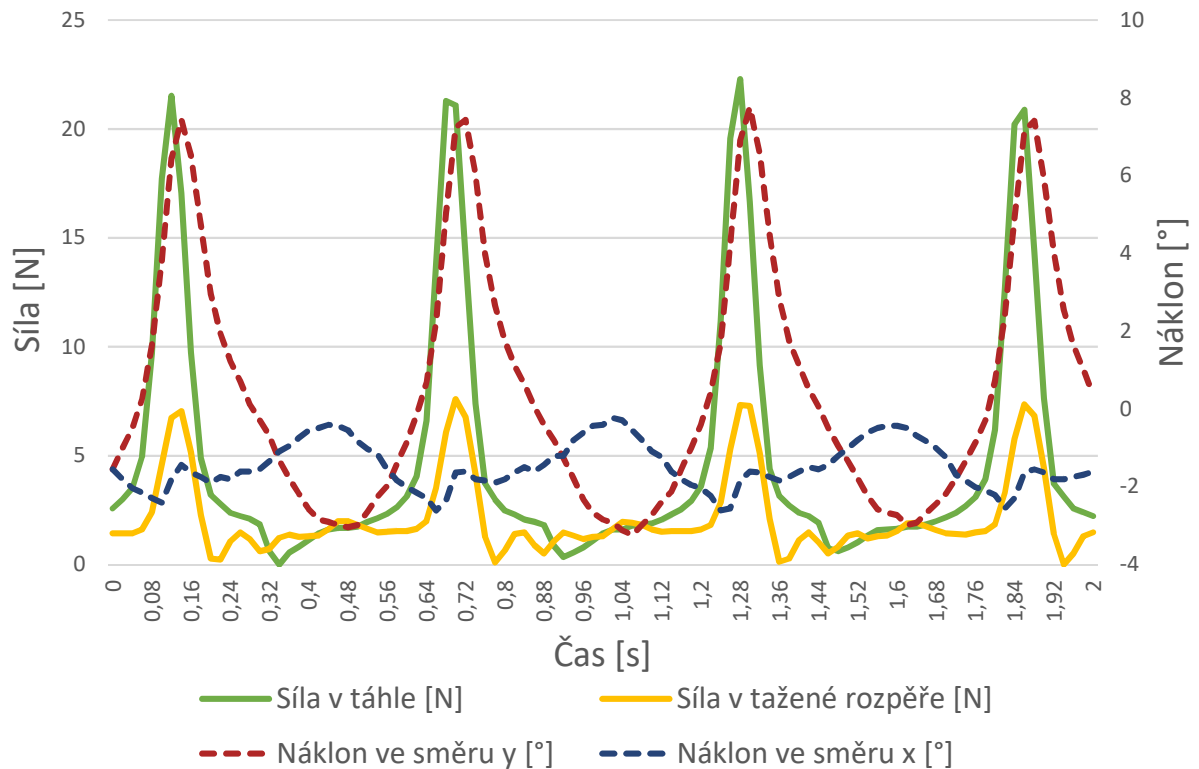
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 201 Schéma zatěžovacího stavu X4



Obr. 202 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu X4



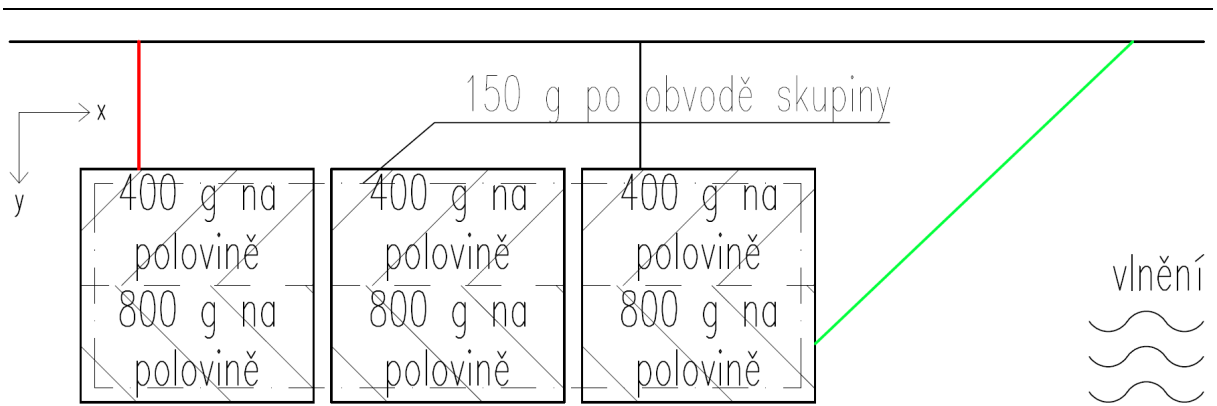
Obr. 203 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X4

Tab. 41 Výsledky zatěžovacího stavu X4

Zatěžovací stav	Síl á v t á hle [N]	Síl á v tažen é rozp ě ře [N]	Síl á v tlačen é rozp ě ře [N]	N á klon ve sm ě ru x [°]	N á klon ve sm ě ru y [°]
X4	22,3	7,6	18,9	-2,6 až -0,2	-3,2 až 7,8

8.4.6. Zatěžovací stav X5

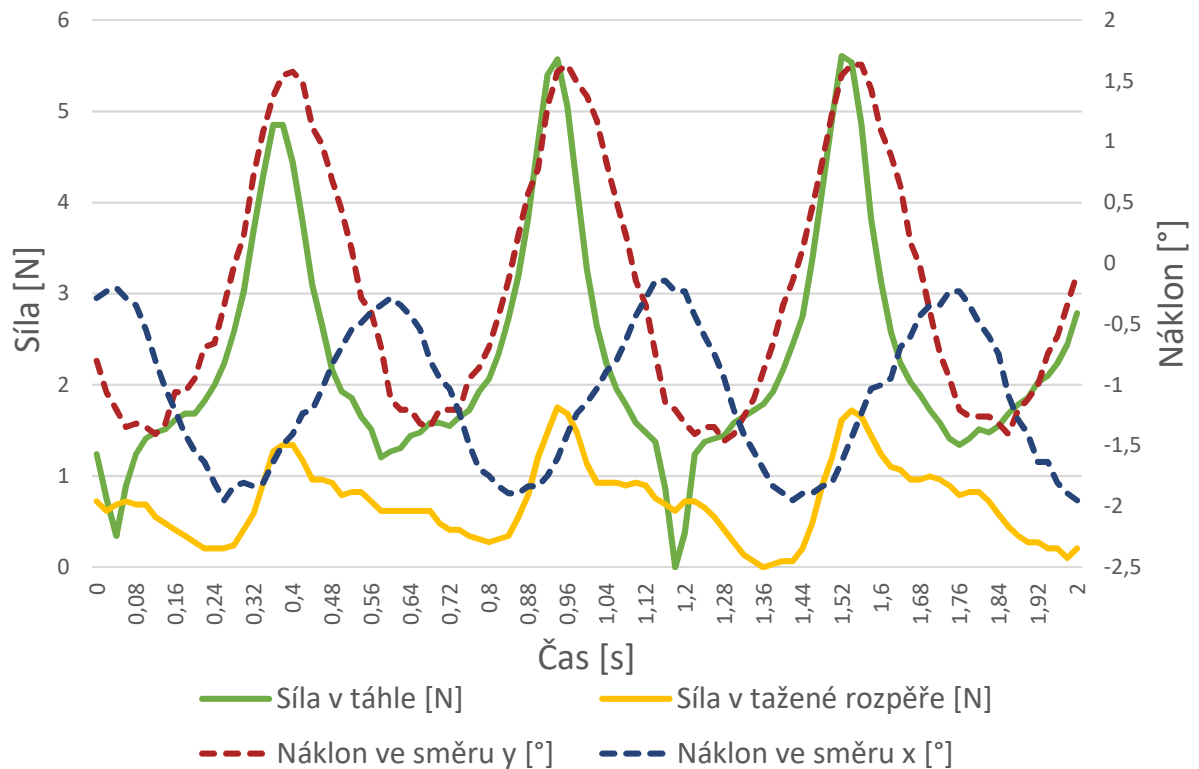
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 204 Schéma zatěžovacího stavu X5



Obr. 205 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu X5



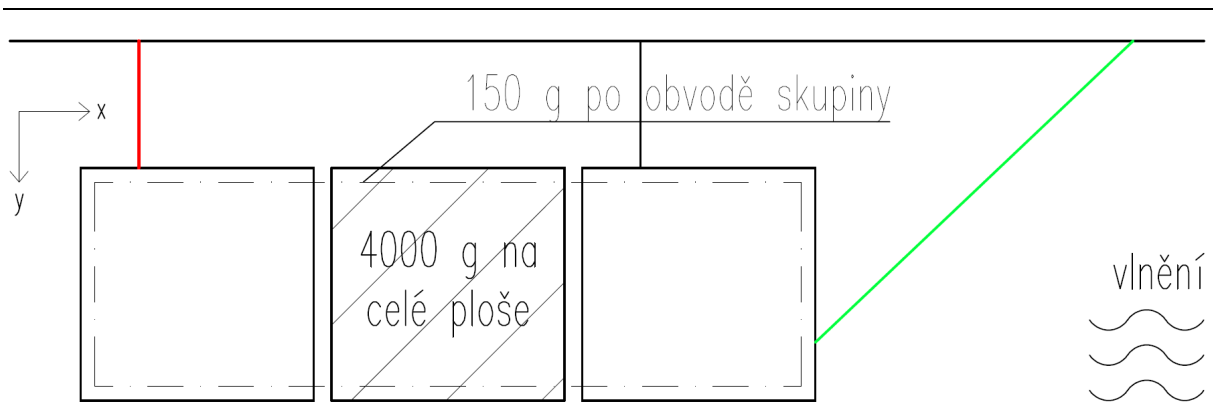
Obr. 206 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X5

Tab. 42 Výsledky zatěžovacího stavu X5

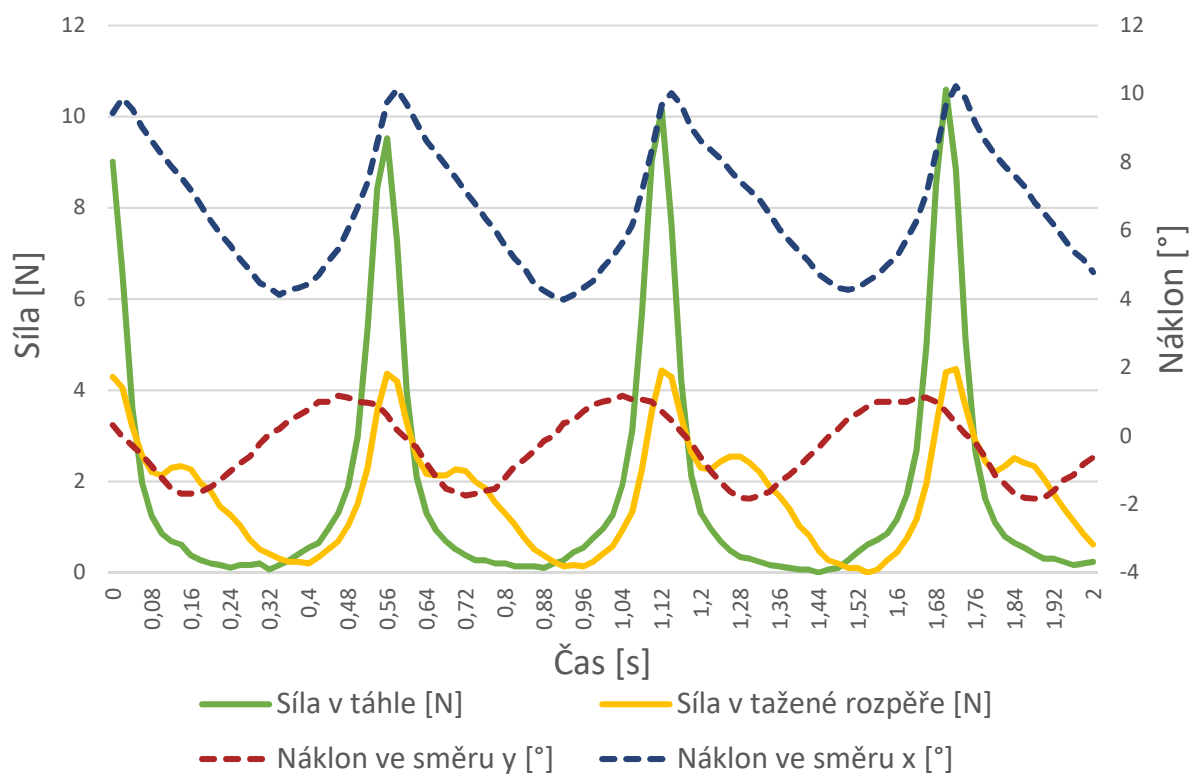
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X5	5,6	1,8	4,7	-1,9 až -0,1	-1,5 až 1,6

8.4.7. Zatěžovací stav X6

Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze prostřední prvek skupiny a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 207 Schéma zatěžovacího stavu X6



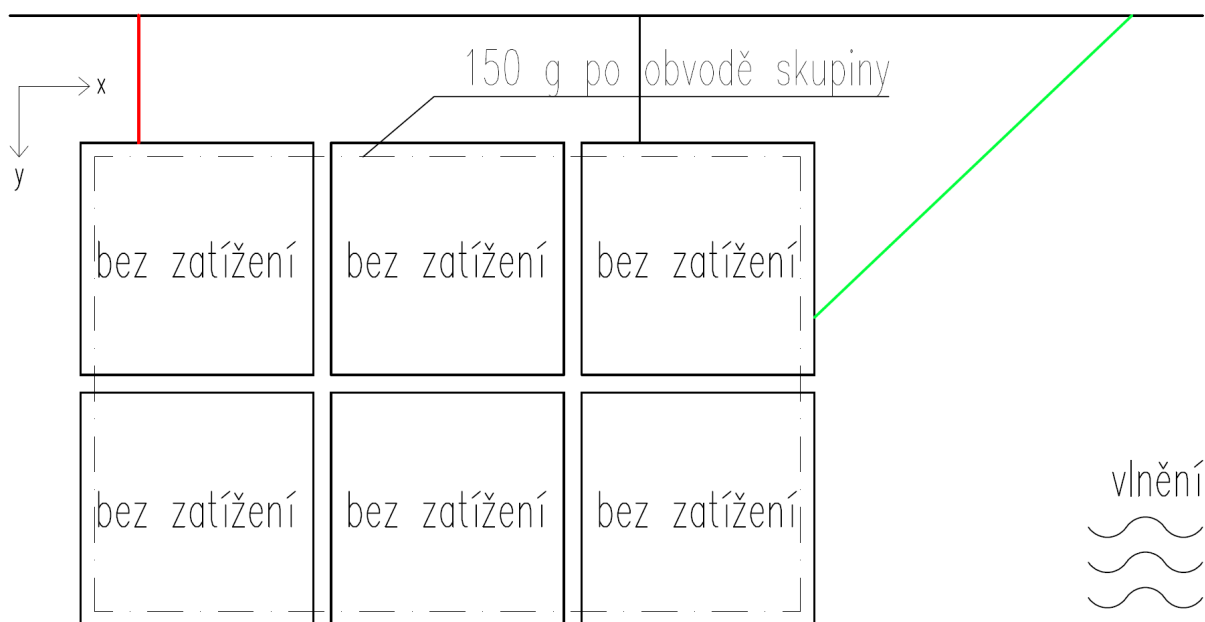
Obr. 208 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X6

Tab. 43 Výsledky zatěžovacího stavu X6

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X6	10,6	4,5	9,0	4,0 až 10,2	-1,8 až 1,2

8.4.8. Zatěžovací stav X7

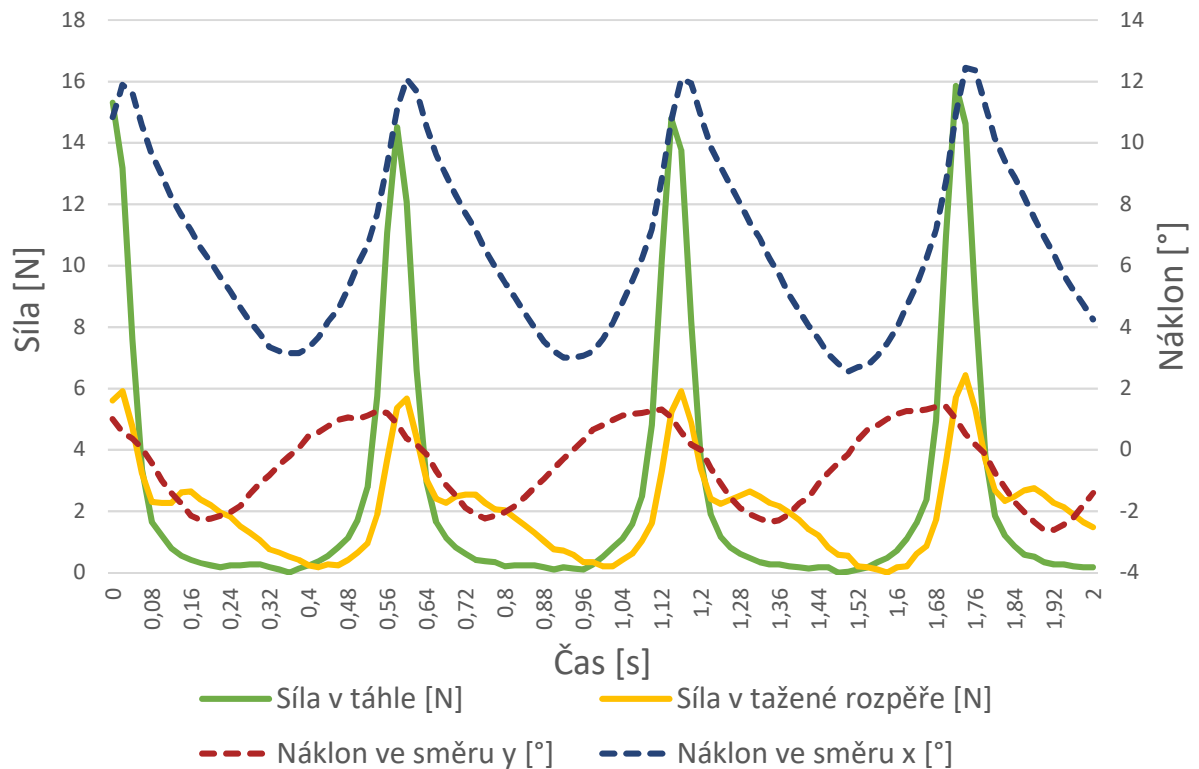
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 209 Schéma zatěžovacího stavu X7



Obr. 210 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu X7



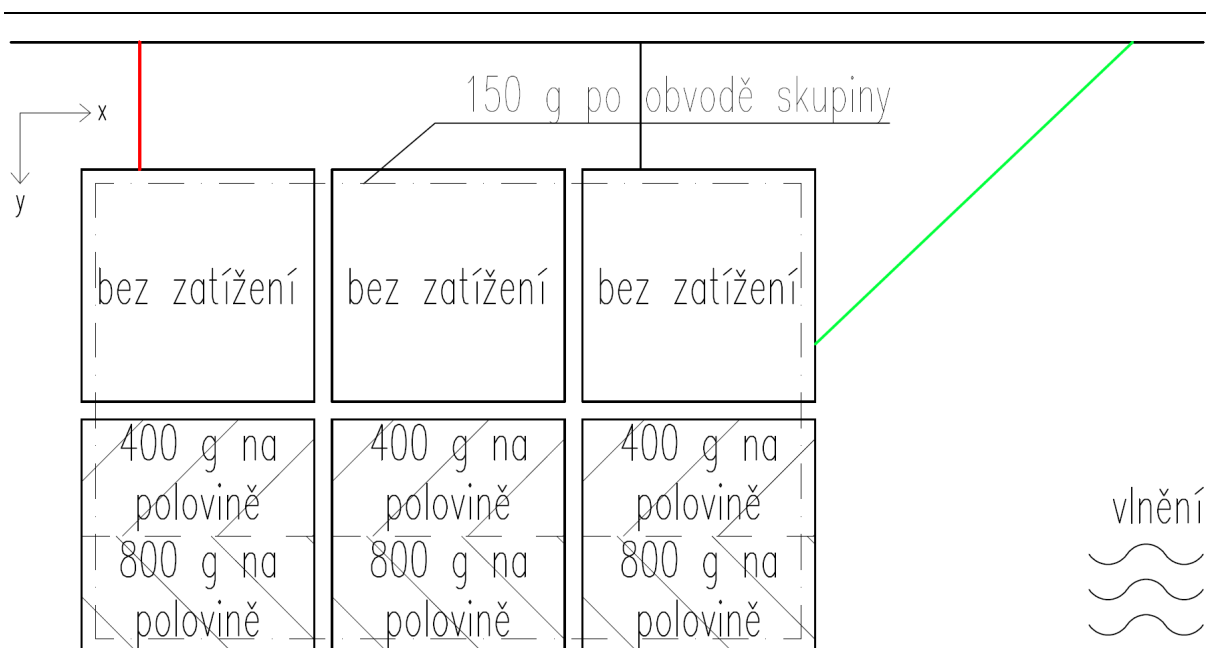
Obr. 211 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X7

Tab. 44 Výsledky zatěžovacího stavu X7

Zatěžovací stav	Sílta v táhle [N]	Sílta v tažené rozpěře [N]	Sílta v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X7	15,9	6,4	13,4	2,6 až 12,4	-2,6 až 1,4

8.4.9. Zatěžovací stav X8

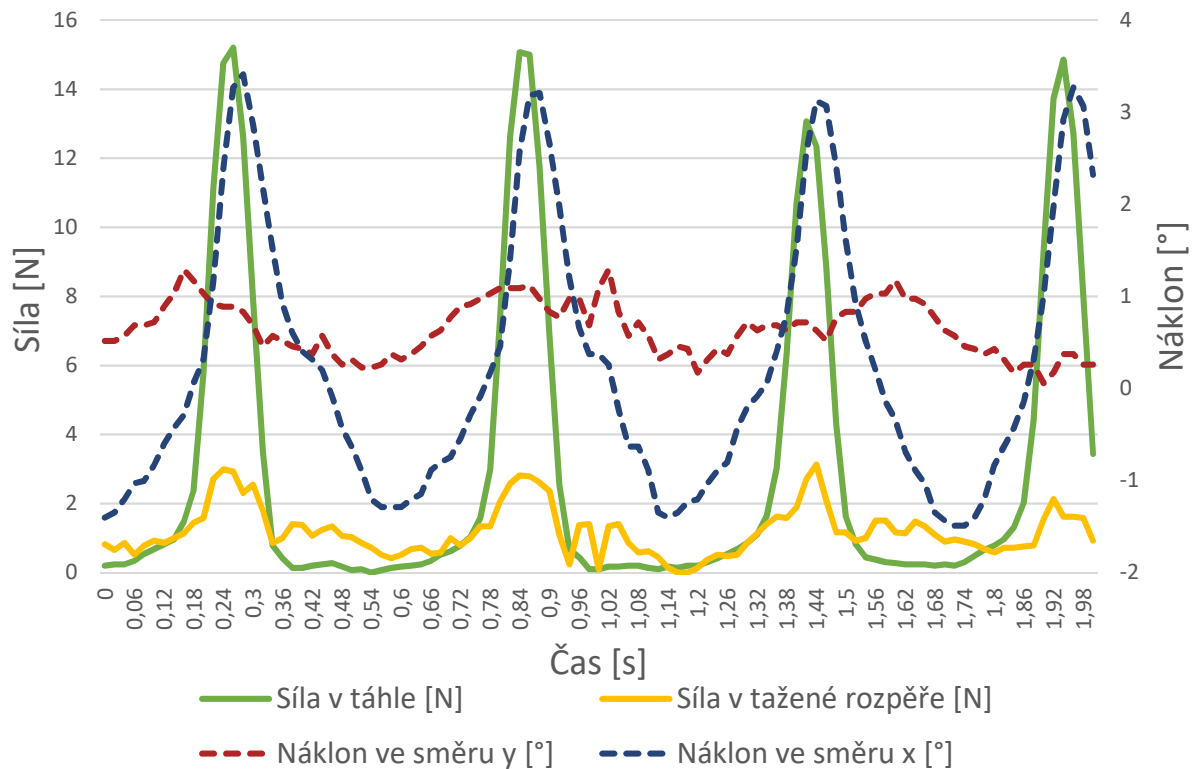
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvků, přičemž jsou zatíženy krajní 3 prvky skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 212 Schéma zatěžovacího stavu X8



Obr. 213 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu X8



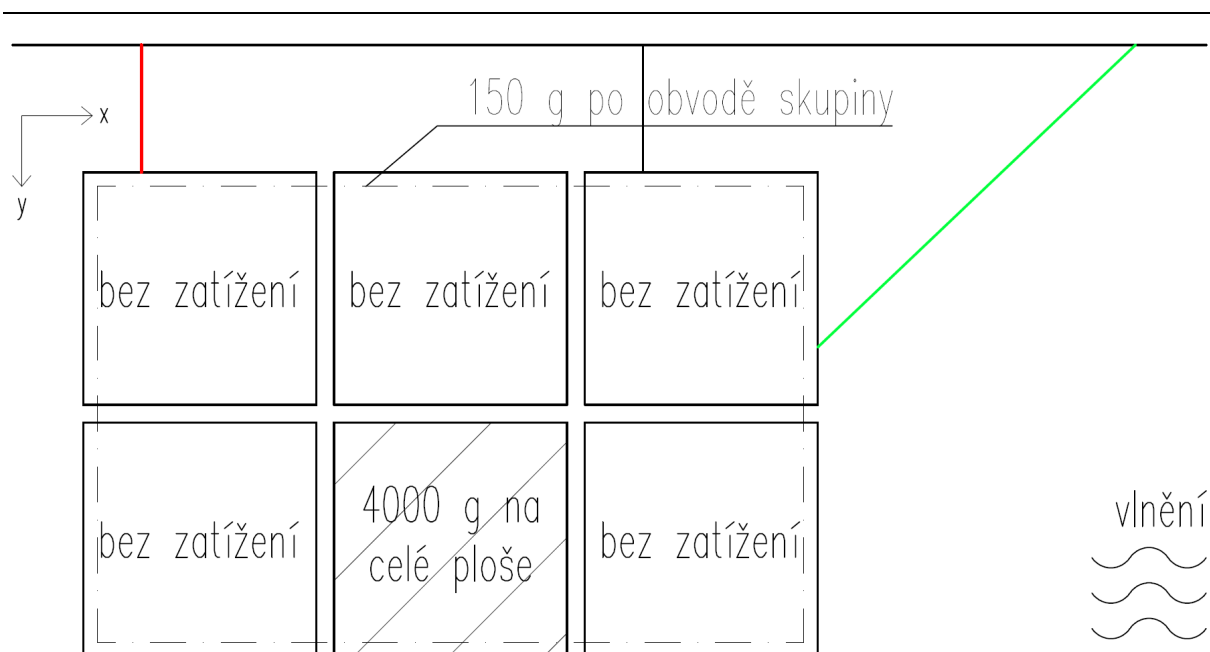
Obr. 214 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X8

Tab. 45 Výsledky zatěžovacího stavu X8

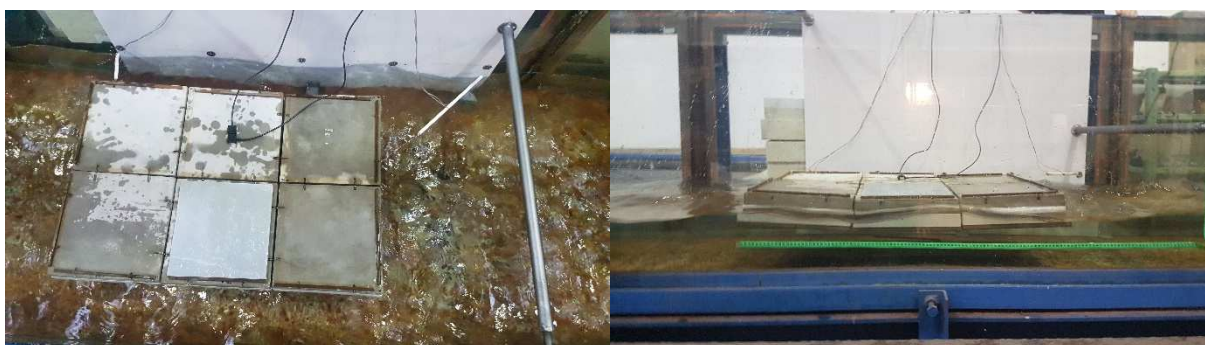
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X8	15,2	3,1	10,8	-1,5 až 3,4	0,1 až 1,3

8.4.10. Zatěžovací stav X9

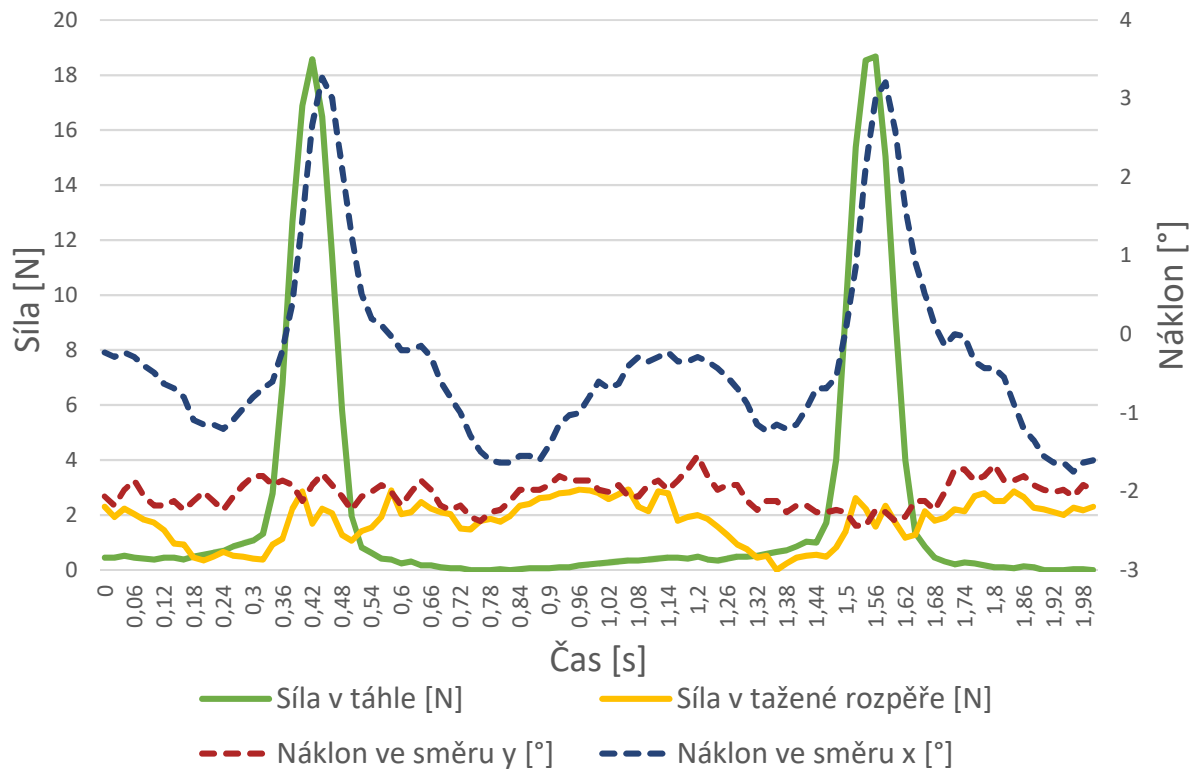
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen prostřední prvek krajní řady skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné vlnění.



Obr. 215 Schéma zatěžovacího stavu X9



Obr. 216 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu X9



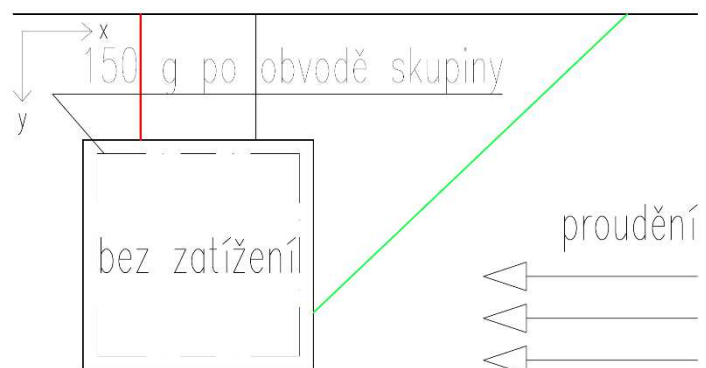
Obr. 217 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu X9

Tab. 46 Výsledky zatěžovacího stavu X9

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
X9	8,7	2,9	13,2	-1,7 až 3,3	-2,4 až -1,5

8.4.11. Zatěžovací stav Y1

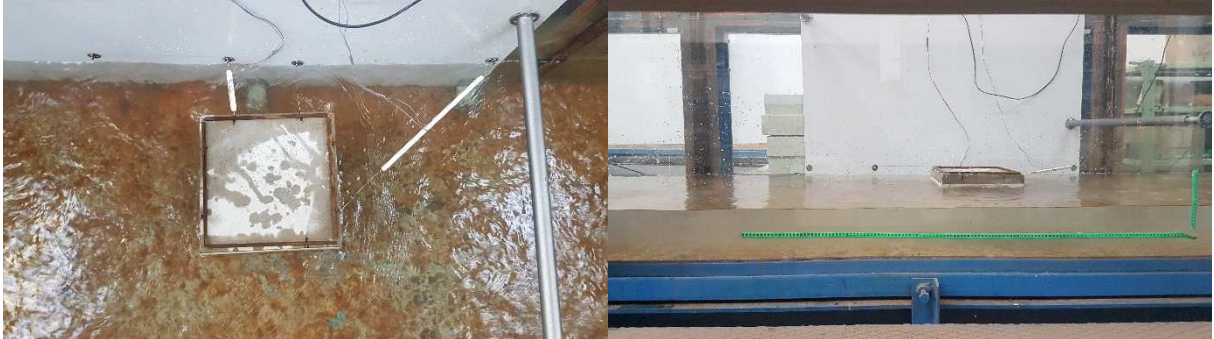
Osamělý prvek (1x1) zatížen pouze líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění. Z důvodu velmi malých hodnot a nepravidelného průběhu sil



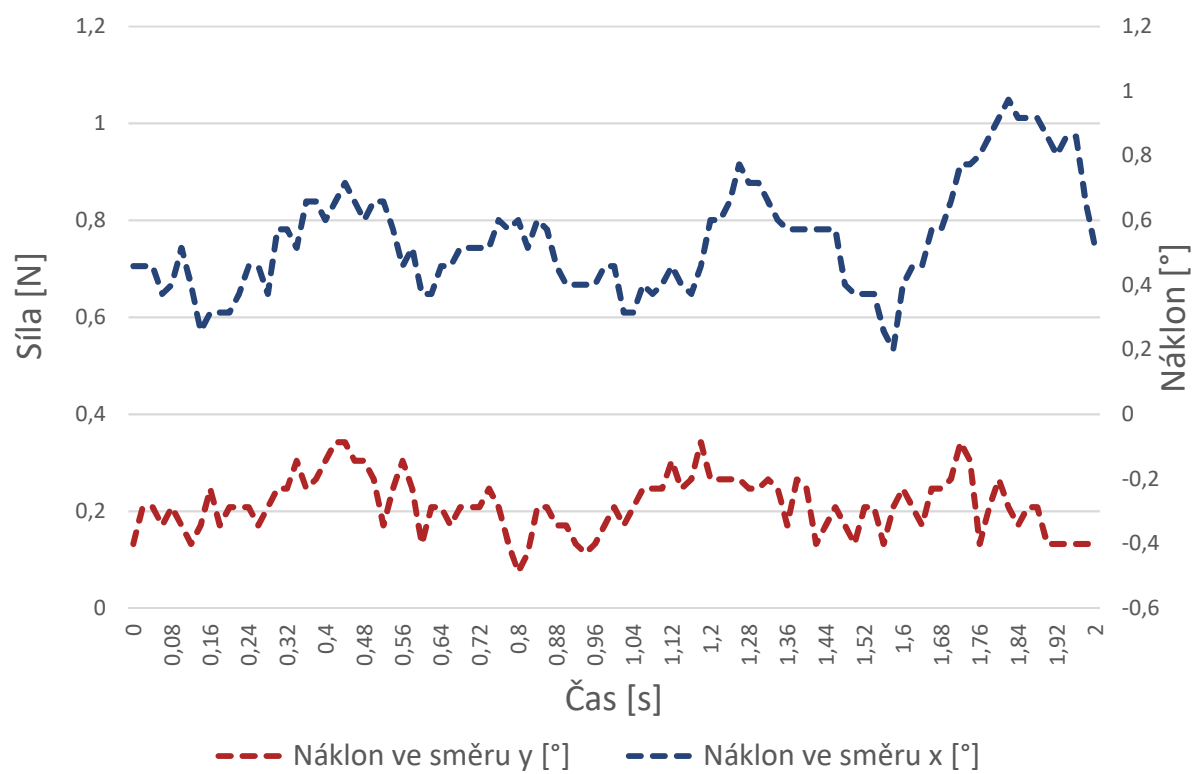
Obr. 218 Schéma zatěžovacího stavu Y1

vznikajících v měřeném táhlu a tažené rozpěře nebudou tyto síly vykresleny do grafu, ale jejich

maxima pouze zapsány do tabulky s výsledky. To platí pro všechny zatěžovací stavy Y, tedy stavy při rovnoměrném proudění vodní hladiny.



Obr. 219 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu Y1



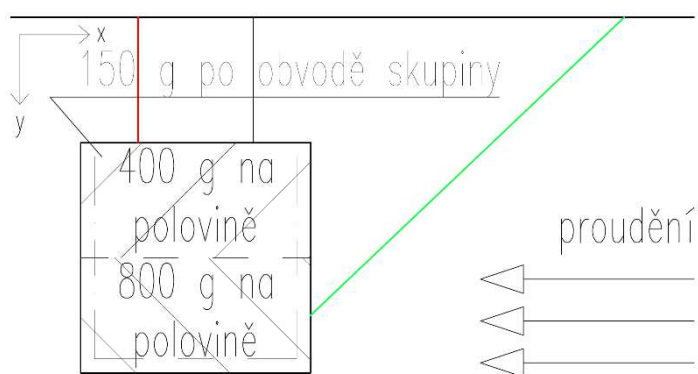
Obr. 220 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y1

Tab. 47 Výsledky zatěžovacího stavu Y1

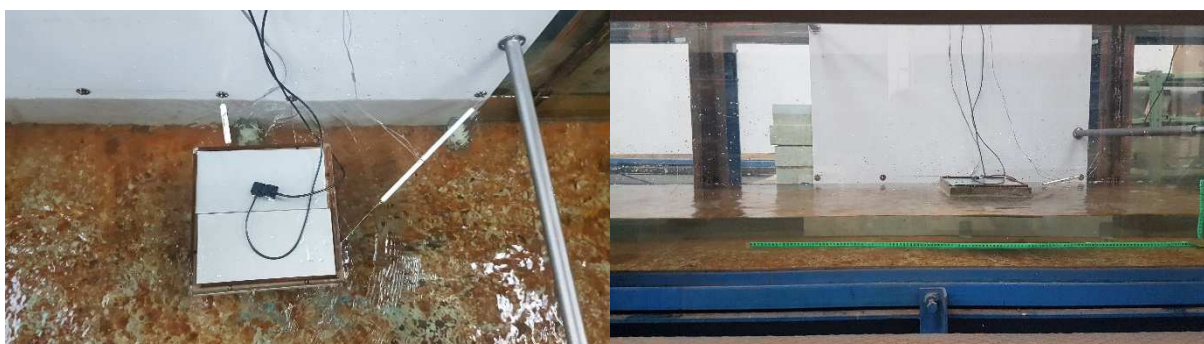
Zatěžovací stav	Síla v tahu [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y1	0,8	0,8	1,2	0,2 až 1,0	-0,4 až -0,1

8.4.12. Zatěžovací stav Y2

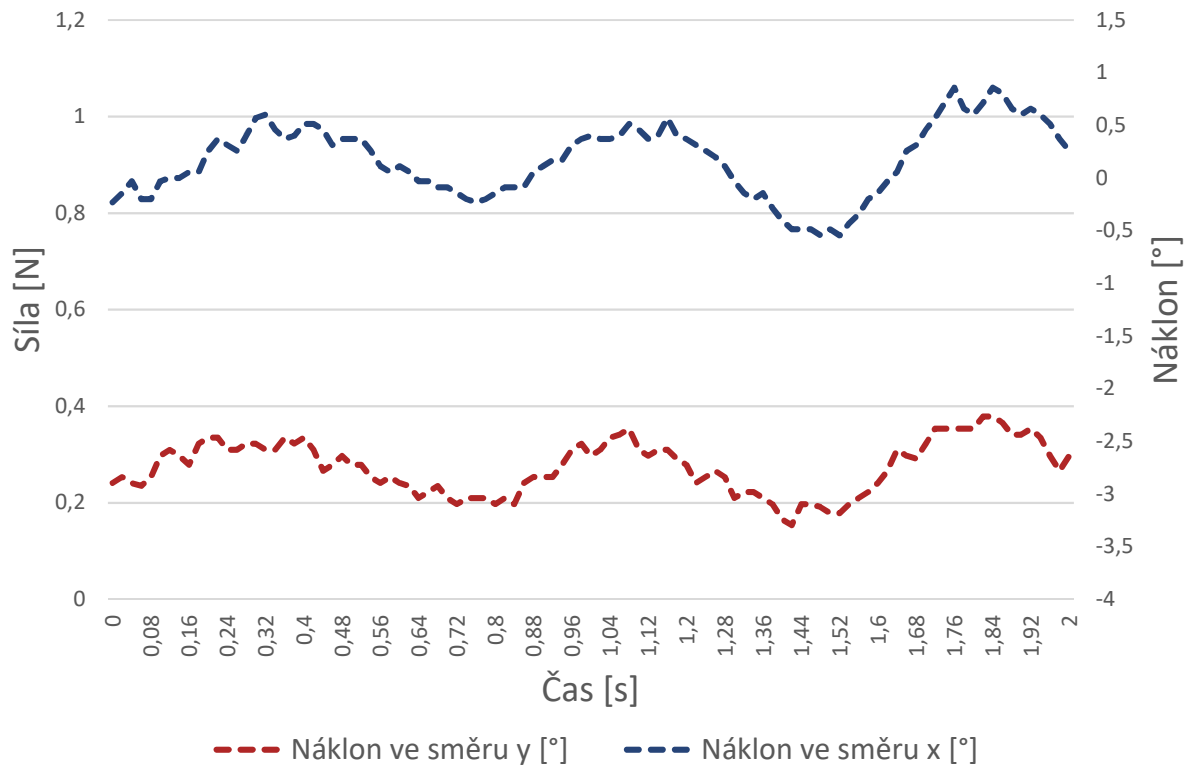
Osamělý prvek (1x1) zatížen 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvku a líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 221 Schéma zatěžovacího stavu X2



Obr. 222 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu Y2



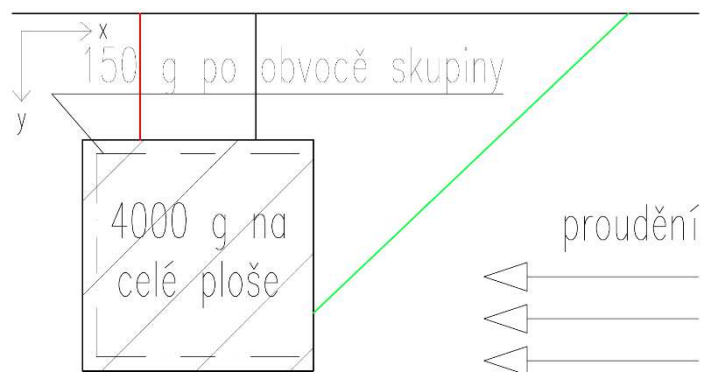
Obr. 223 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y2

Tab. 48 Výsledky zatěžovacího stavu Y2

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y2	0,6	0,7	0,8	-0,5 až 0,9	-3,3 až -2,3

8.4.13. Zatěžovací stav Y3

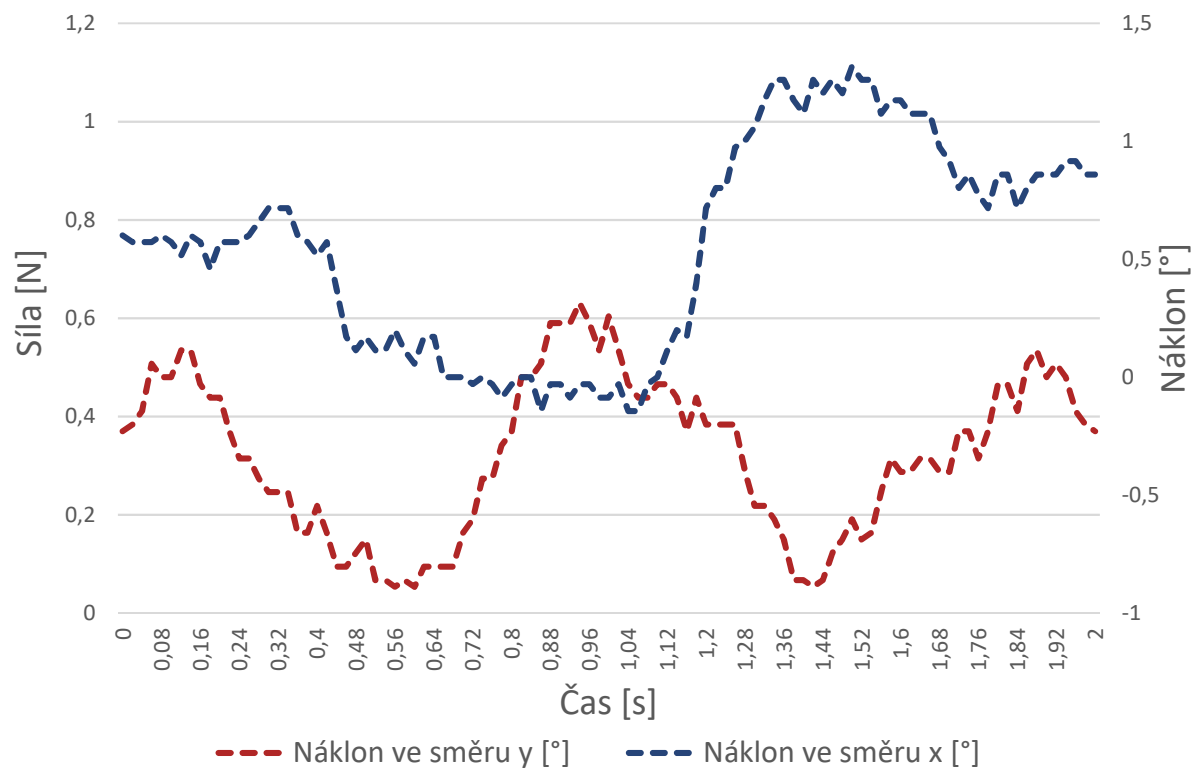
Osamělý prvek (1x1) zatížen 4000 g na celé ploše prvku a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 224 Schéma zatěžovacího stavu Y3



Obr. 225 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu Y3



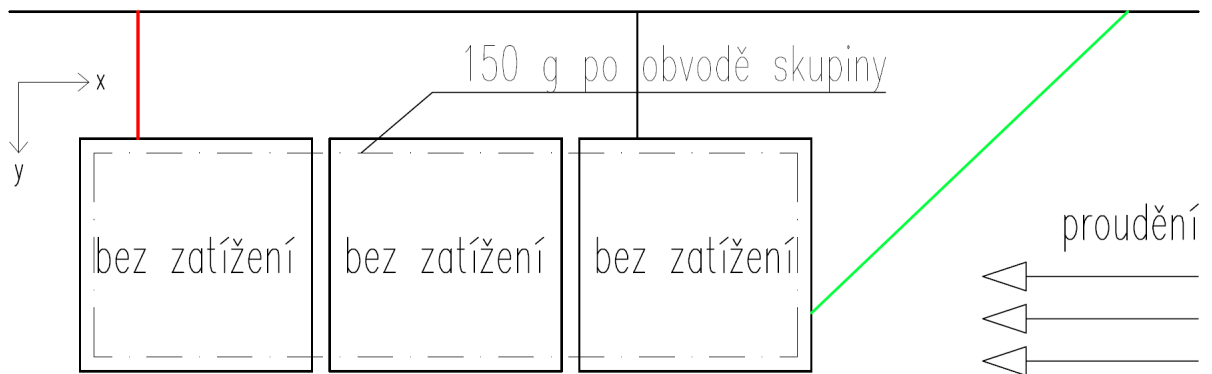
Obr. 226 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y3

Tab.

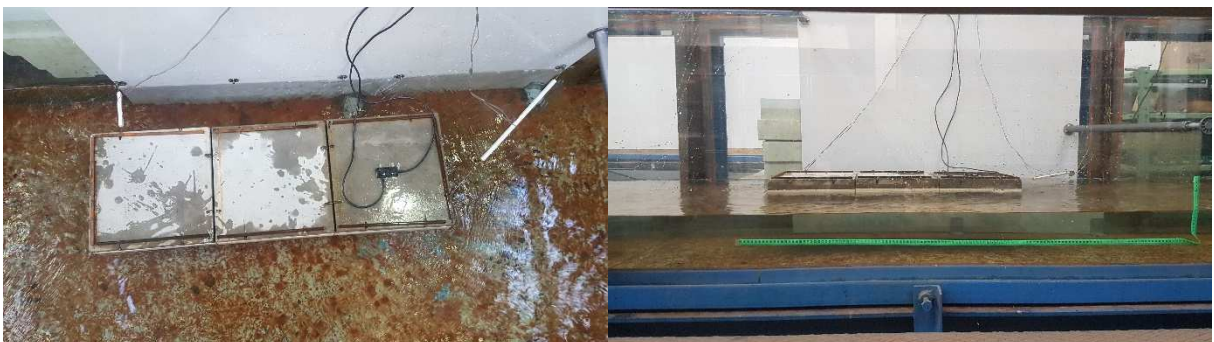
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y3	1,9	1,4	2,7	-0,1 až 1,3	-0,9 až 0,3

8.4.14. Zatěžovací stav Y4

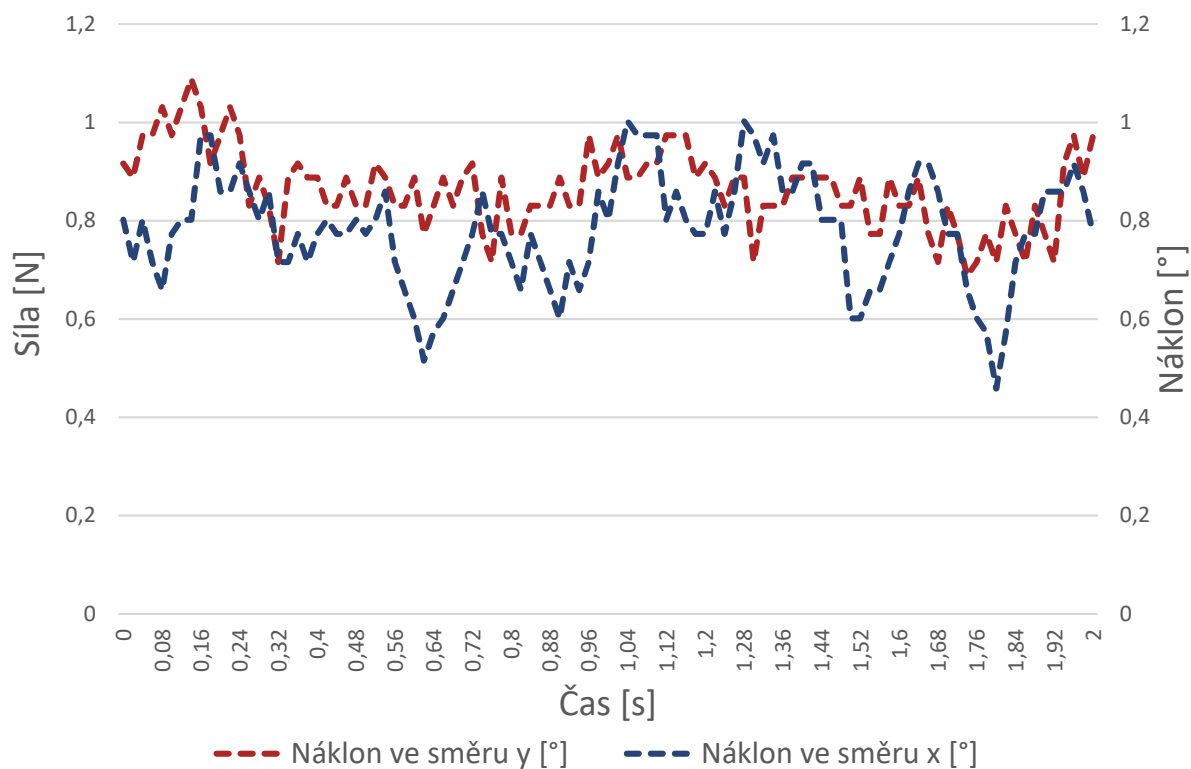
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 227 Schéma zatěžovacího stavu Y4



Obr. 228 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y4



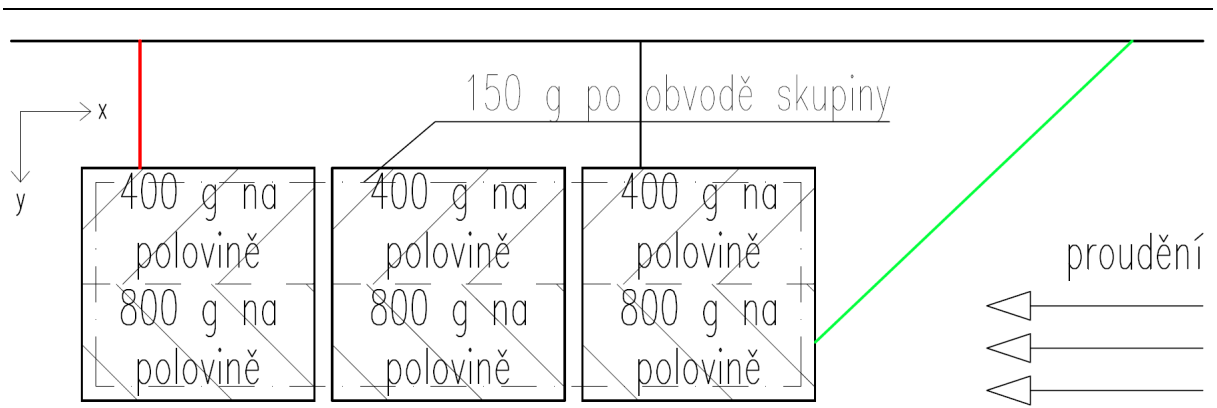
Obr. 229 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y4

Tab. 50 Výsledky zatěžovacího stavu Y4

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y4	1,135	0,5	1,0	0,5 až 1,0	0,7 až 1,1

8.4.15. Zatěžovací stav Y5

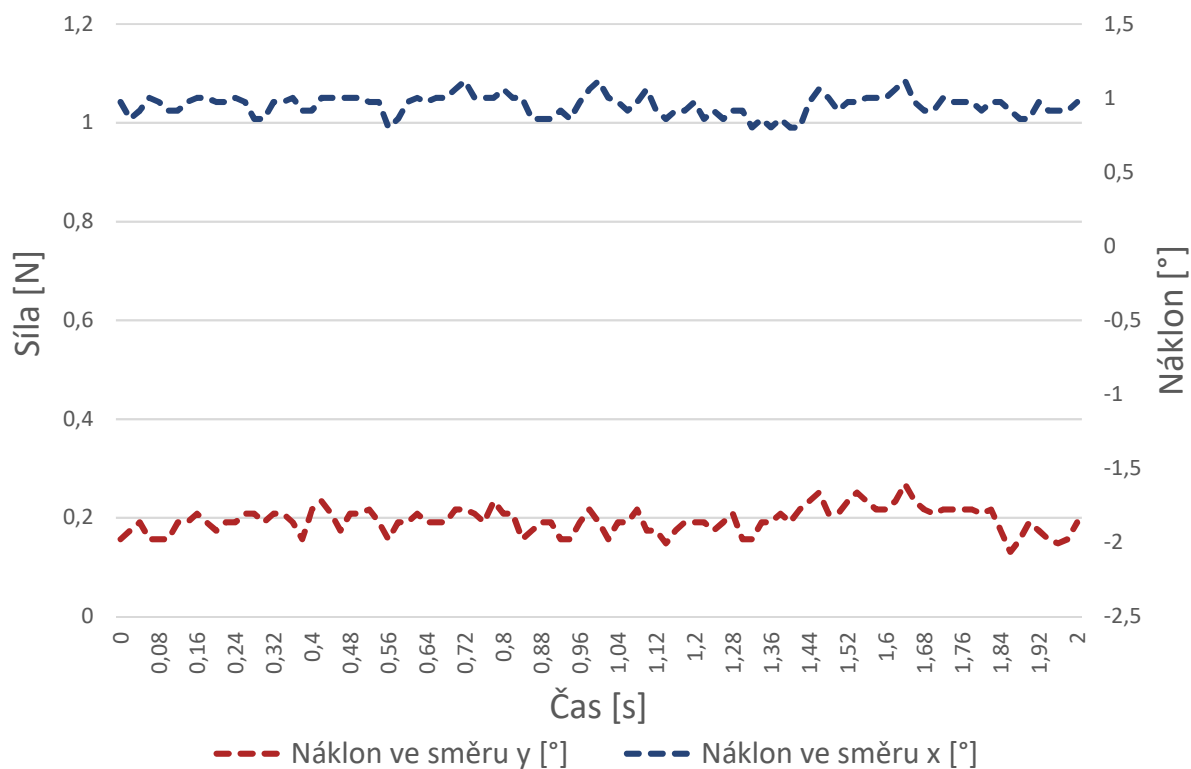
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 230 Schéma zatěžovacího stavu Y5



Obr. 231 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y5



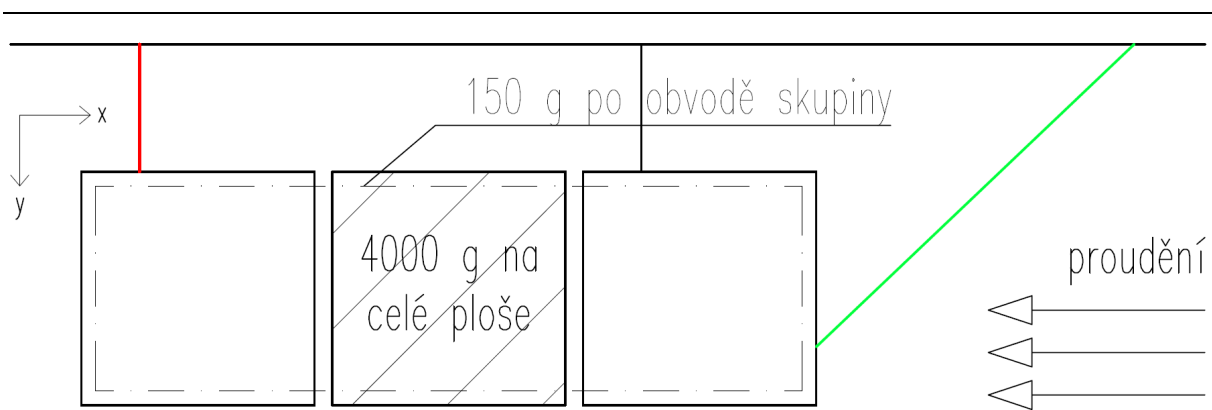
Obr. 232 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y5

Tab. 51 Výsledky zatěžovacího stavu Y5

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y5	0,7	0,5	0,6	0,8 až 1,1	-2,1 až -1,6

8.4.16. Zatěžovací stav Y6

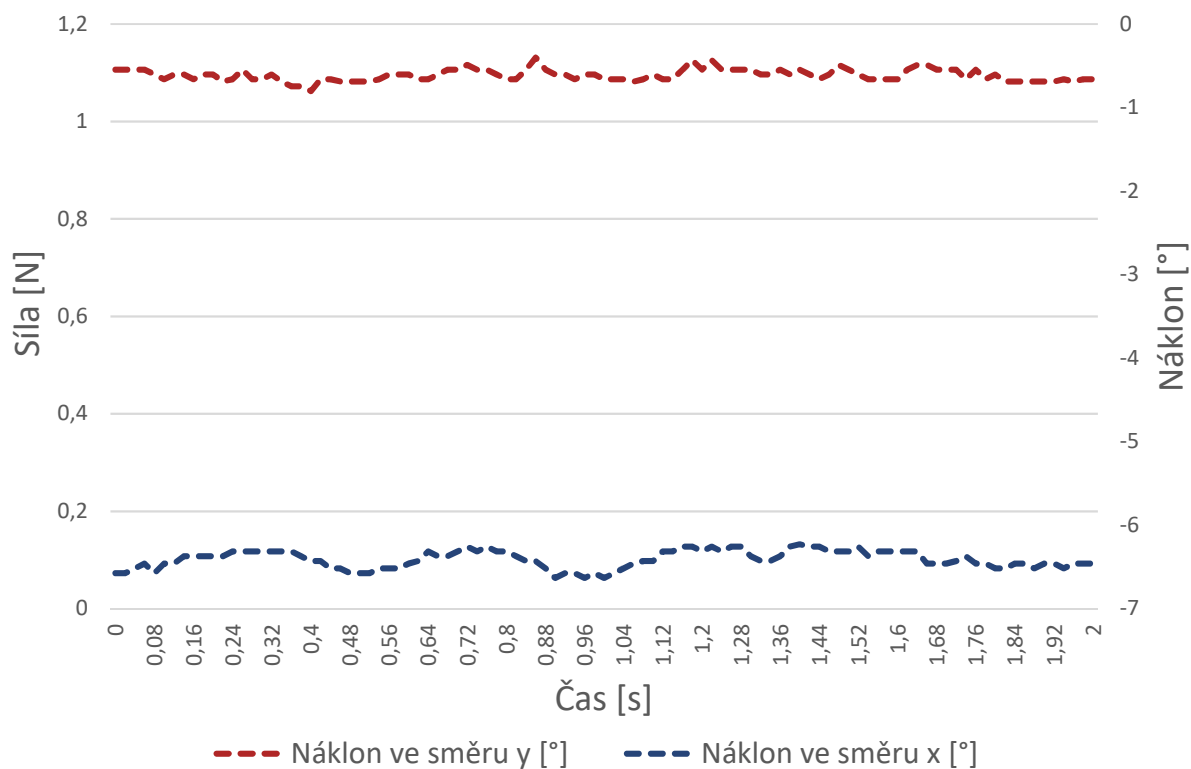
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze prostřední prvek skupiny a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 233 Schéma zatěžovacího stavu Y6



Obr. 234 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y6



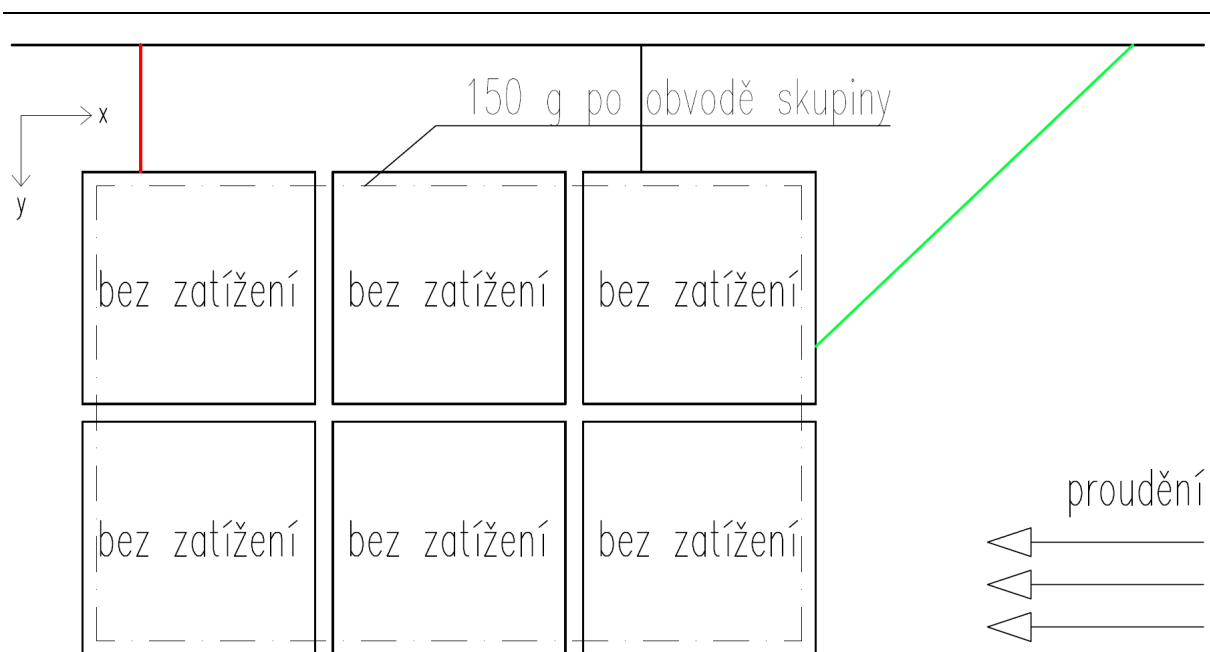
Obr. 235 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y6

Tab. 52 Výsledky zatěžovacího stavu Y6

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y6	0,6	0,7	0,5	-6,6 až -6,2	-0,8 až -0,4

8.4.17. Zatěžovací stav Y7

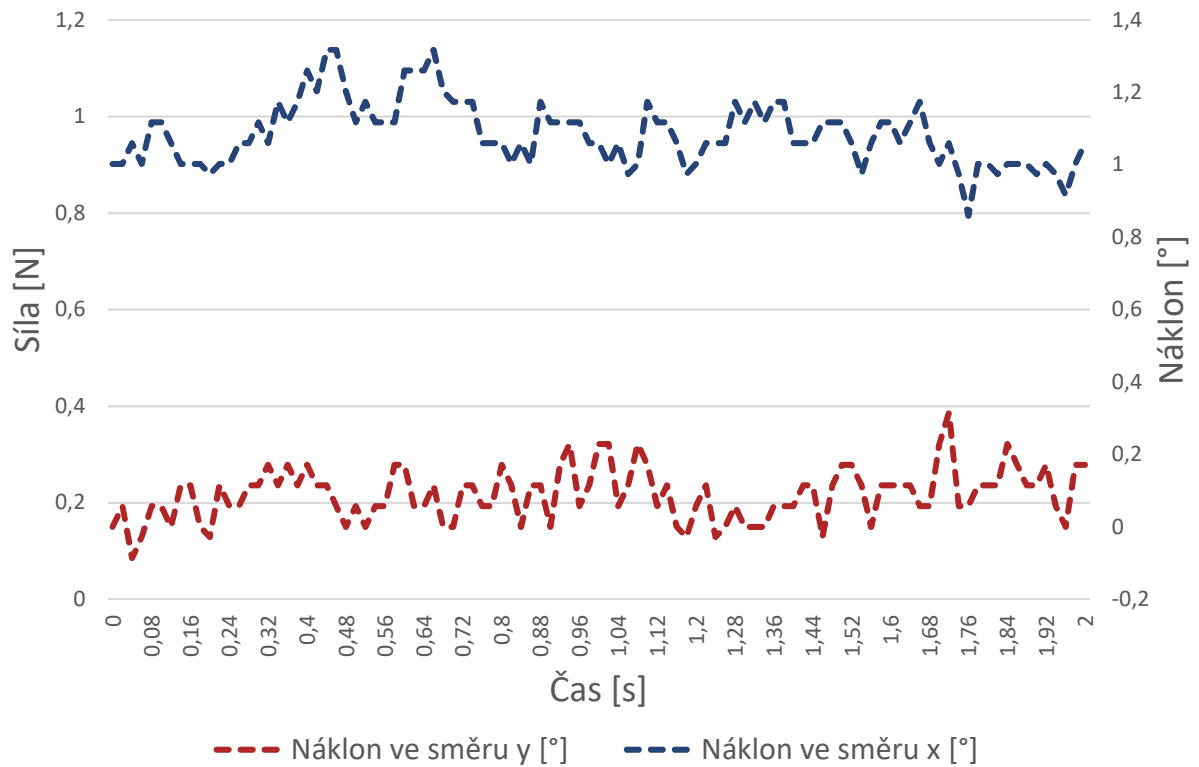
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena pouze líniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 236 Schéma zatěžovacího stavu Y7



Obr. 237 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y7



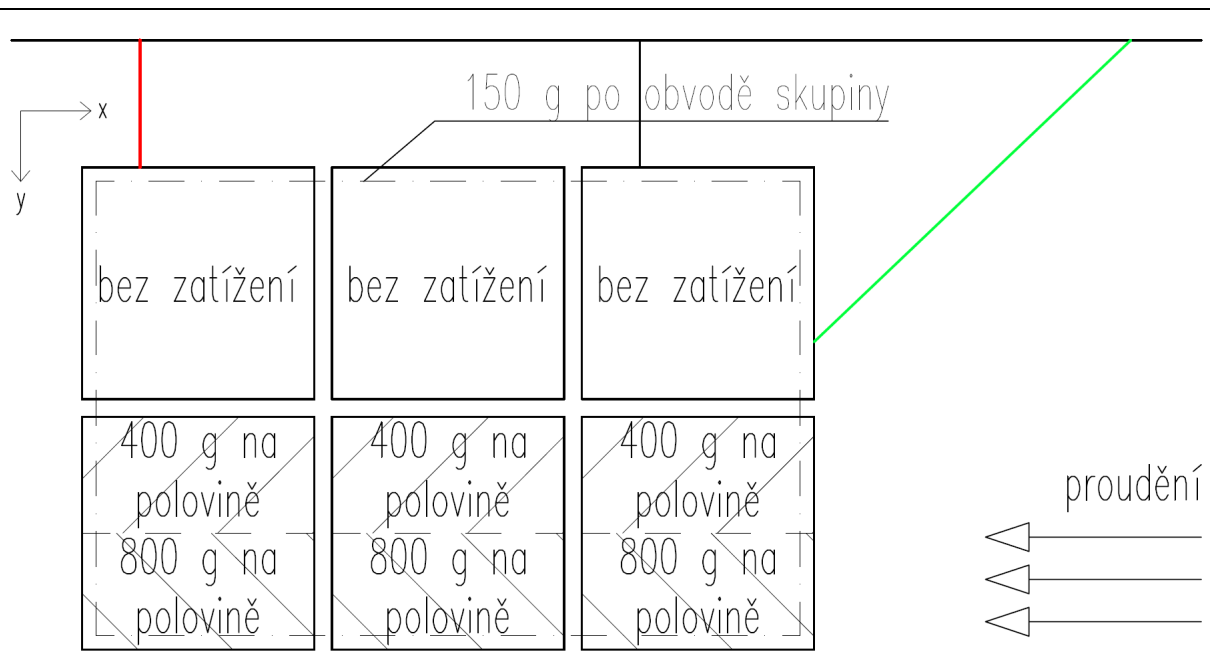
Obr. 238 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y7

Tab. 53 Výsledky zatěžovacího stavu Y7

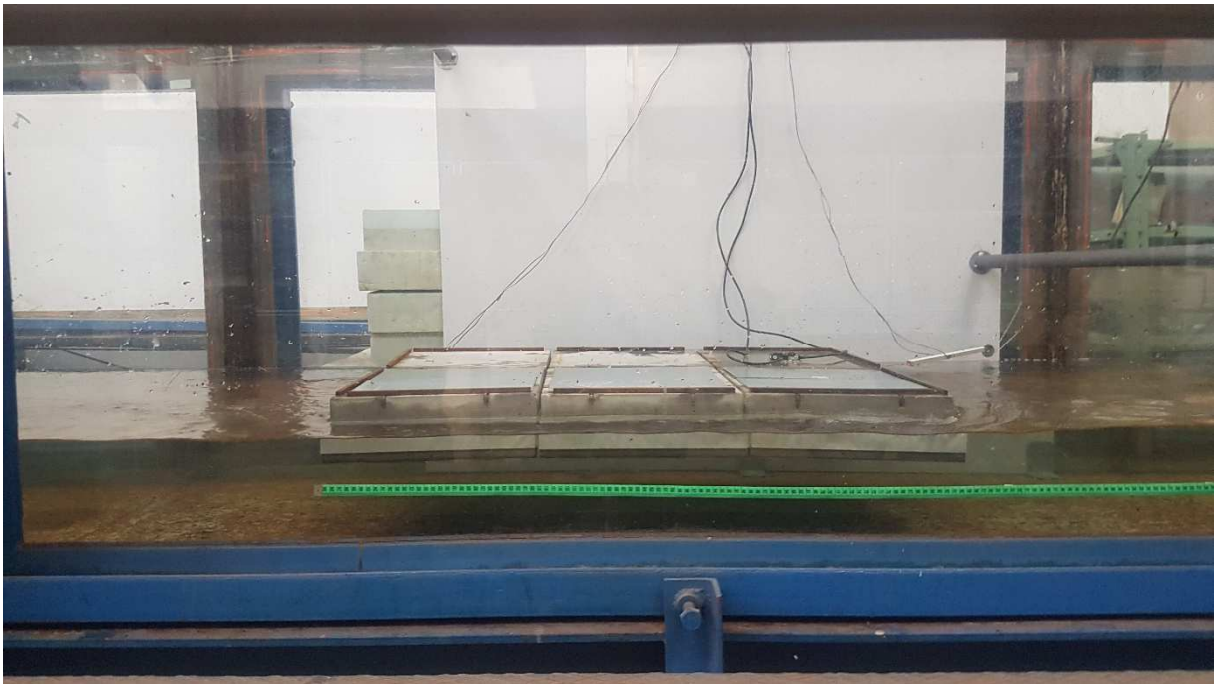
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y7	1,9	0,5	1,6	0,9 až 1,3	-0,1 až 0,3

8.4.18. Zatěžovací stav Y8

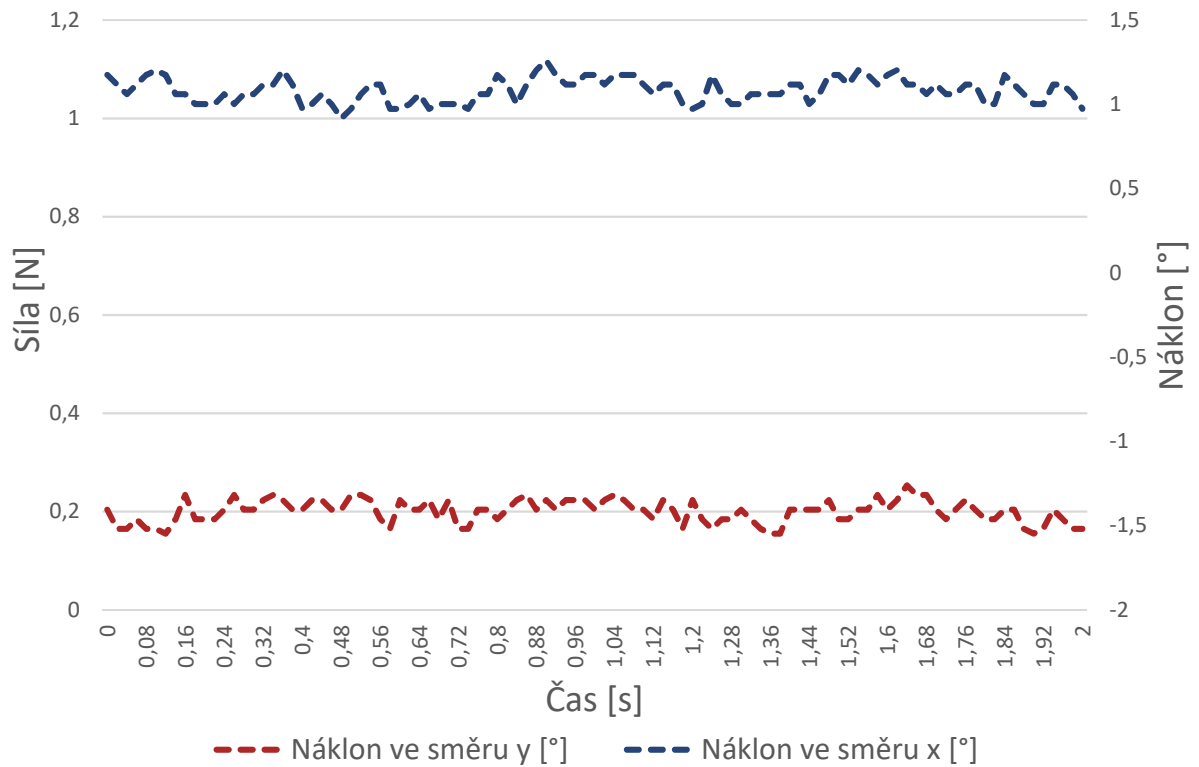
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvků, přičemž jsou zatíženy krajní 3 prvky skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 239 Schéma zatěžovacího stavu Y8



Obr. 240 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y8



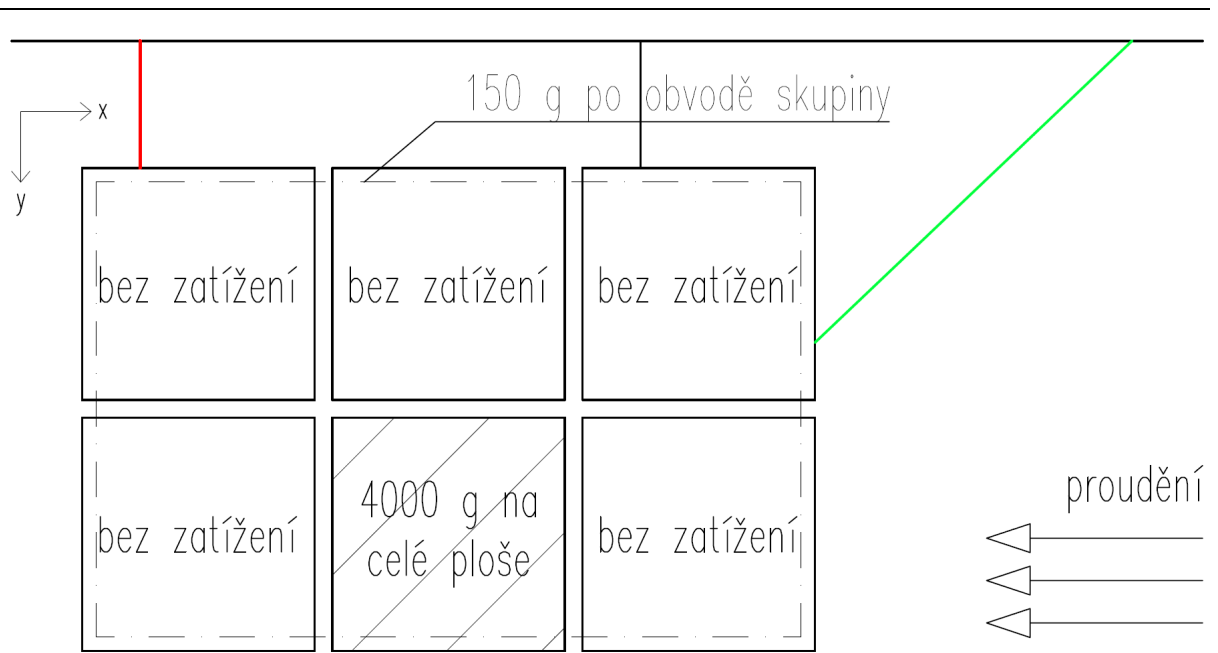
Obr. 241 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y8

Tab. 54 Výsledky zatěžovacího stavu Y8

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y8	1,1	0,5	0,8	0,9 až 1,3	-1,5 až -1,3

8.4.19. Zatěžovací stav Y9

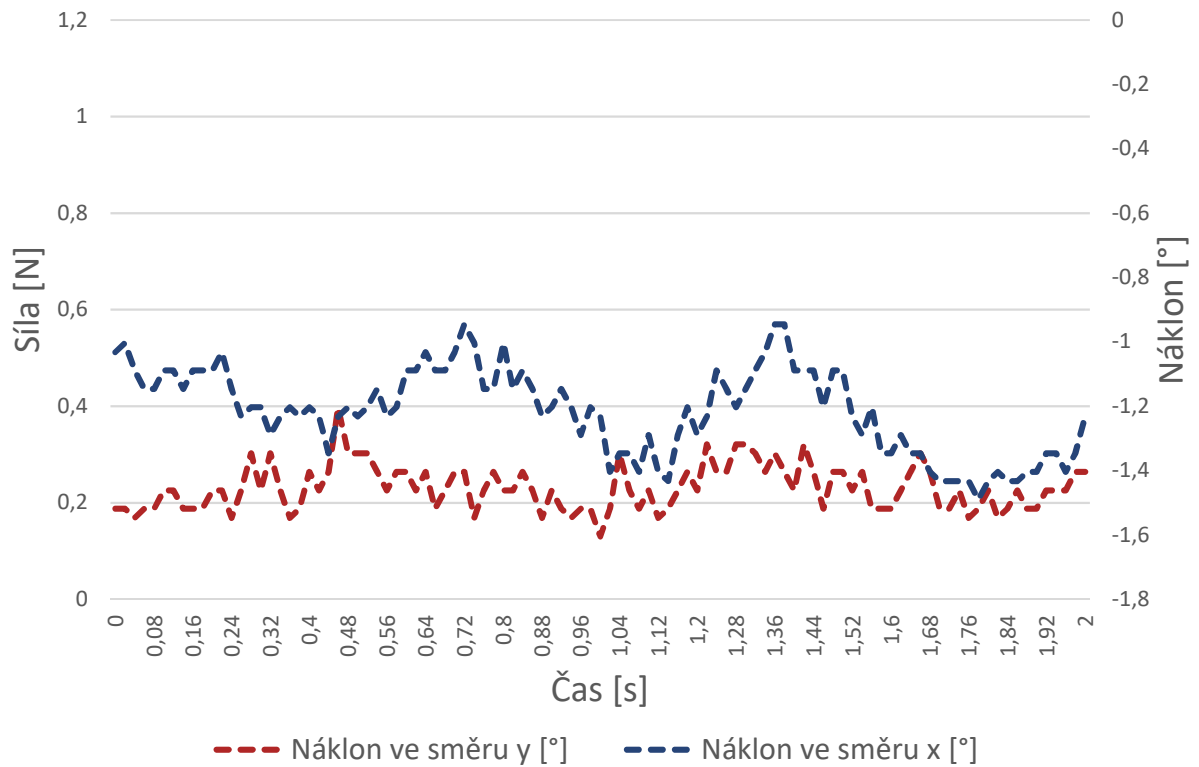
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen prostřední prvek krajní řady skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno pouze rovnoměrné proudění.



Obr. 242 Schéma zatěžovacího stavu Y9



Obr. 243 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Y9



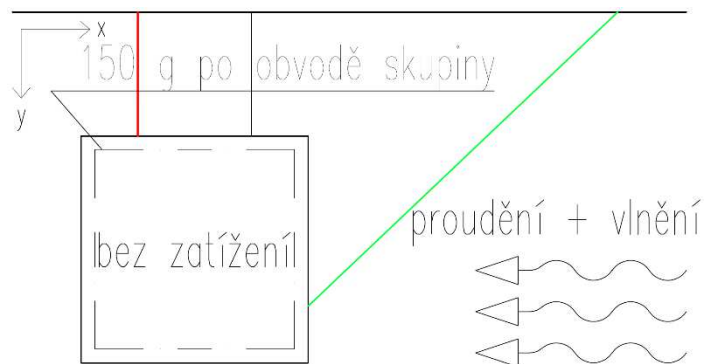
Obr. 244 Výsledné náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Y9

Tab. 55 Výsledky zatěžovacího stavu Y9

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Y9	1,4	0,6	1,0	-1,5 až -0,9	-1,6 až -1,2

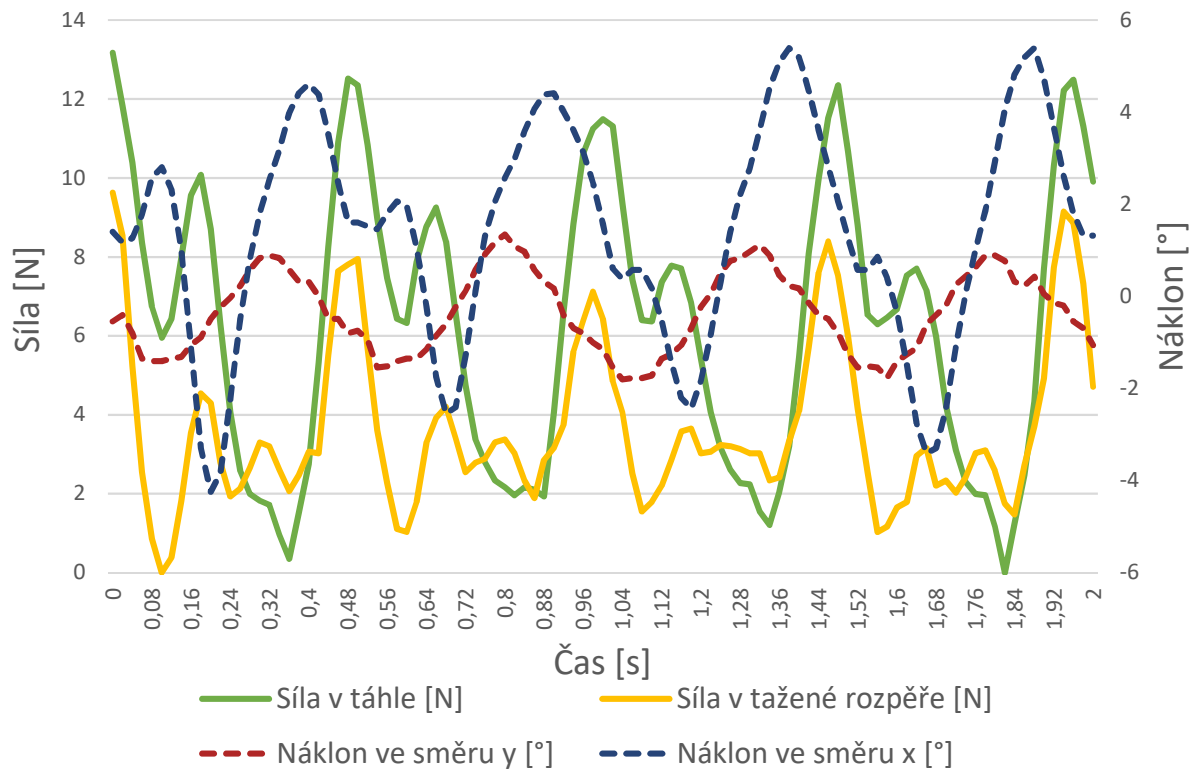
8.4.20. Zatěžovací stav Z1

Osamělý prvek (1x1) zatížen pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 245 Schéma zatěžovacího stavu Z1

Z tohoto zatěžovacího stavu nebyly při zkouškách omylem pořízeny fotografie.



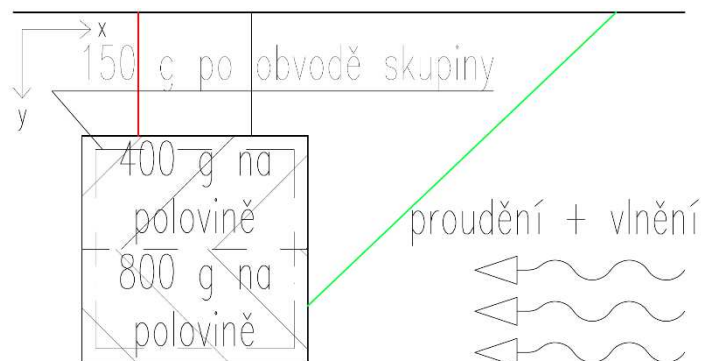
Obr. 246 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z1

Tab. 56 Výsledky zatěžovacího stavu Z1

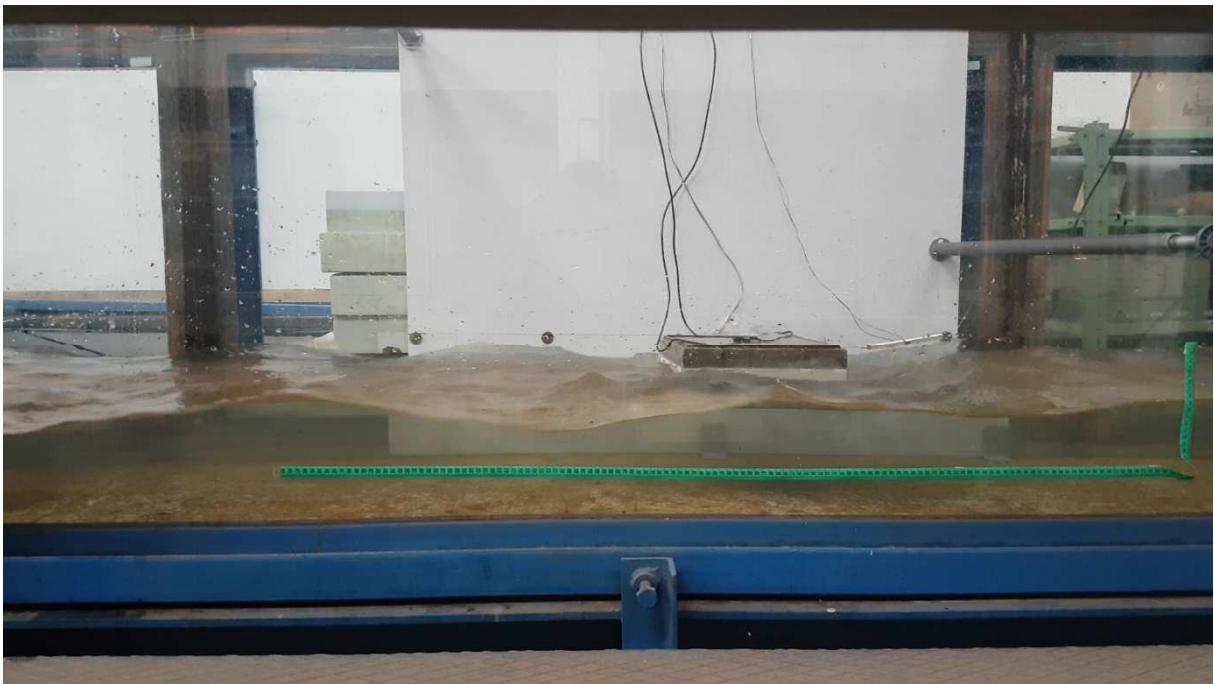
Zatěžovací stav	Sílta v táhle [N]	Sílta v tažené rozpěře [N]	Sílta v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z1	13,7	9,6	18,6	-4,2 až 5,4	-1,8 až 1,3

8.4.21. Zatěžovací stav Z2

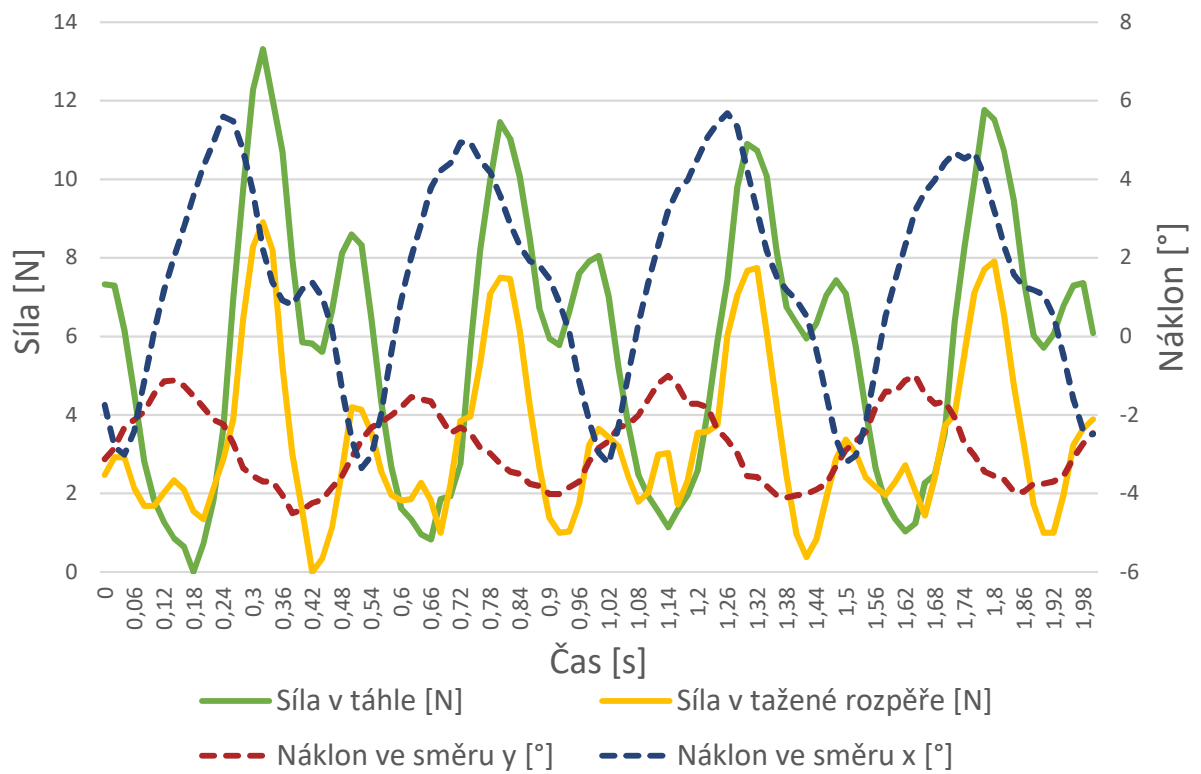
Osamělý prvek (1x1) zatížen 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvku a liovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 247 Schéma zatěžovacího stavu Z2



Obr. 248 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu Z2



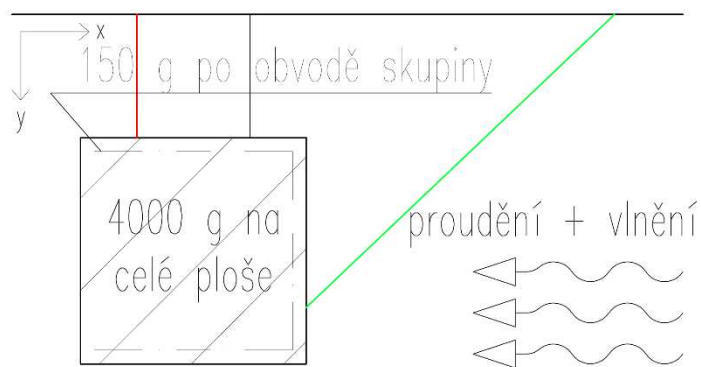
Obr. 249 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z2

Tab. 57 Výsledky zatěžovacího stavu Z2

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z2	13,3	8,9	18,8	-3,4 až 5,7	-4,5 až -1,0

8.4.22. Zatěžovací stav Z3

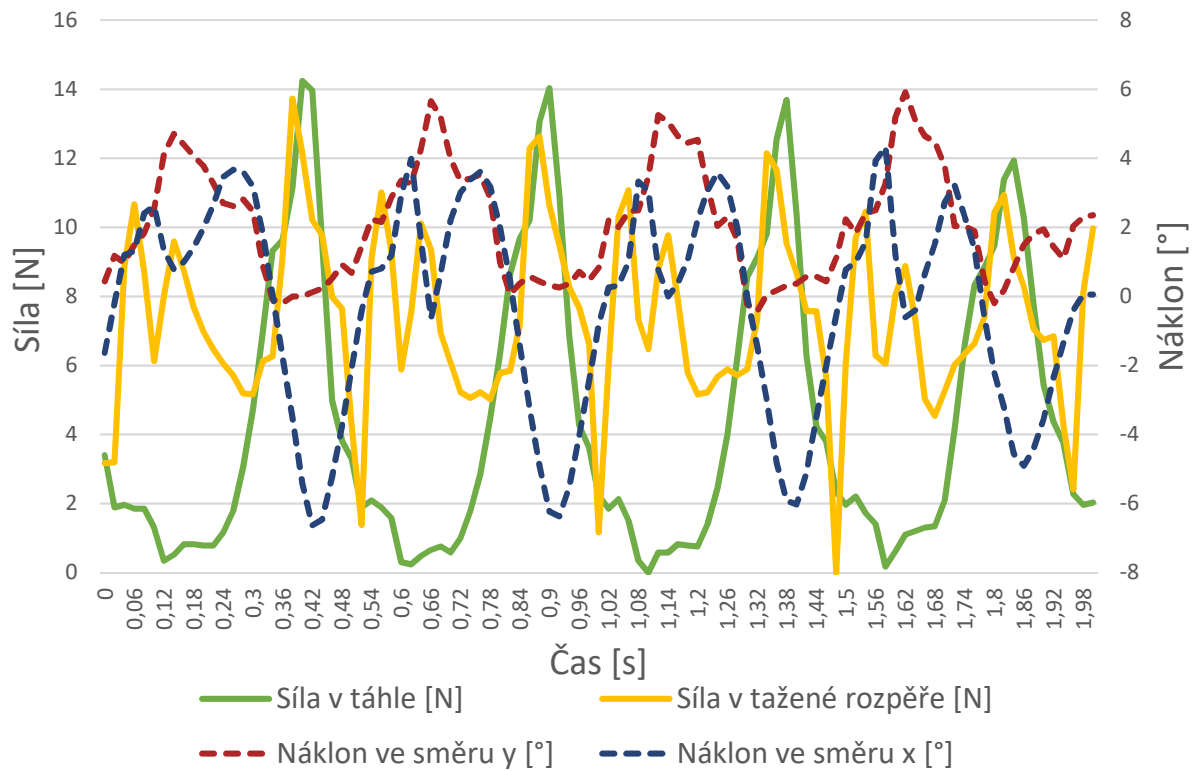
Osamělý prvek (1x1) zatížen 4000 g na celé ploše prvku a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jeho obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 250 Schéma zatěžovacího stavu Z3



Obr. 251 Fotografie zkušebního prvku při zatěžovacím stavu Z3



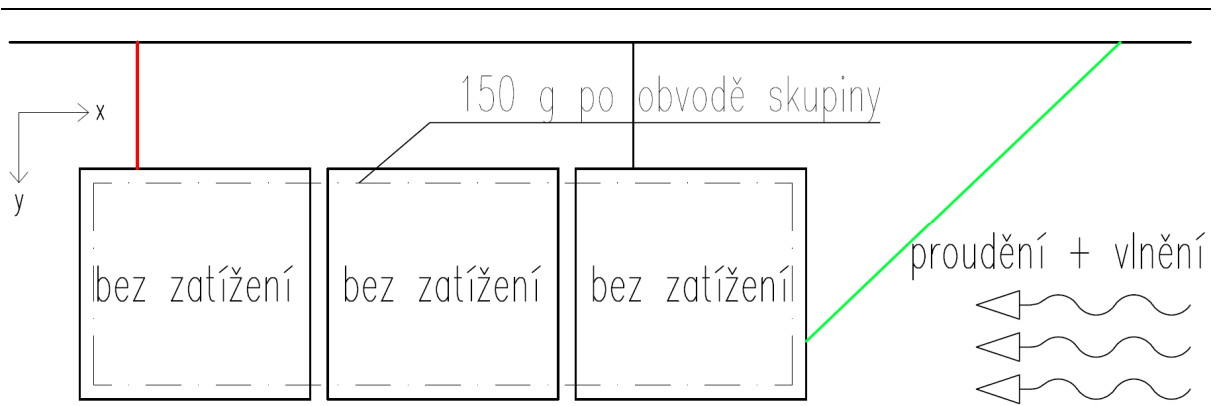
Obr. 252 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z3

Tab. 58 Výsledky zatěžovacího stavu Z3

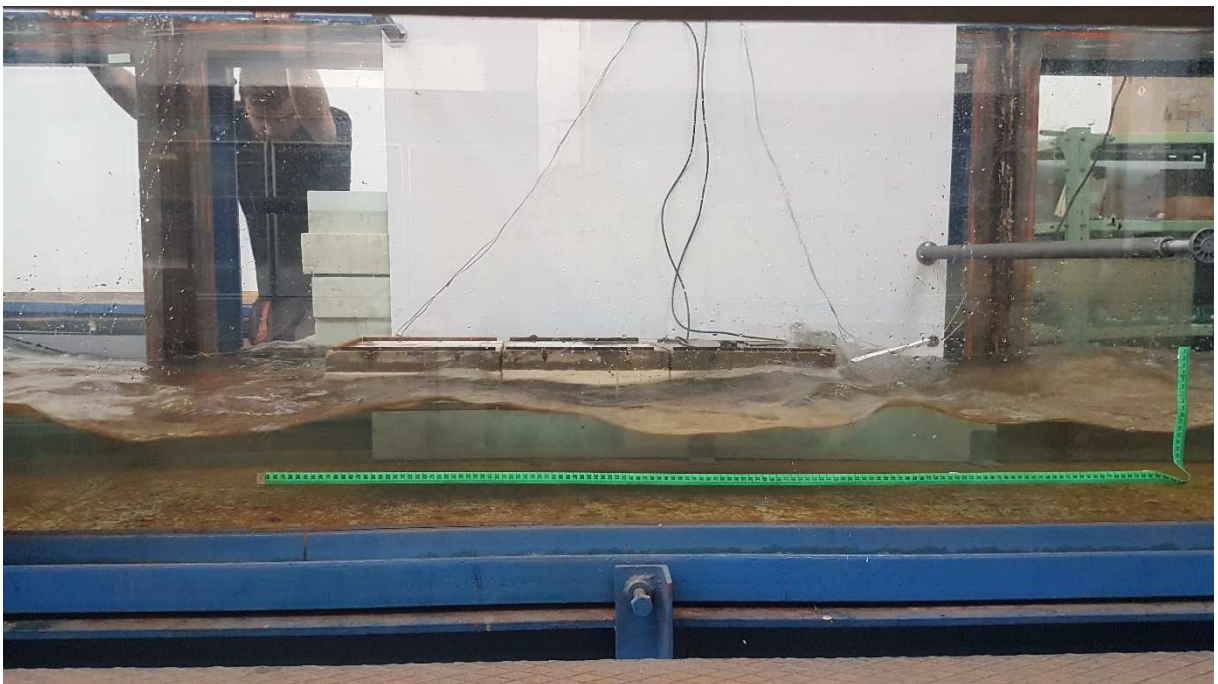
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z3	14,2	13,7	20,1	-6,6 až 4,3	-0,4 až 5,9

8.4.23. Zatěžovací stav Z4

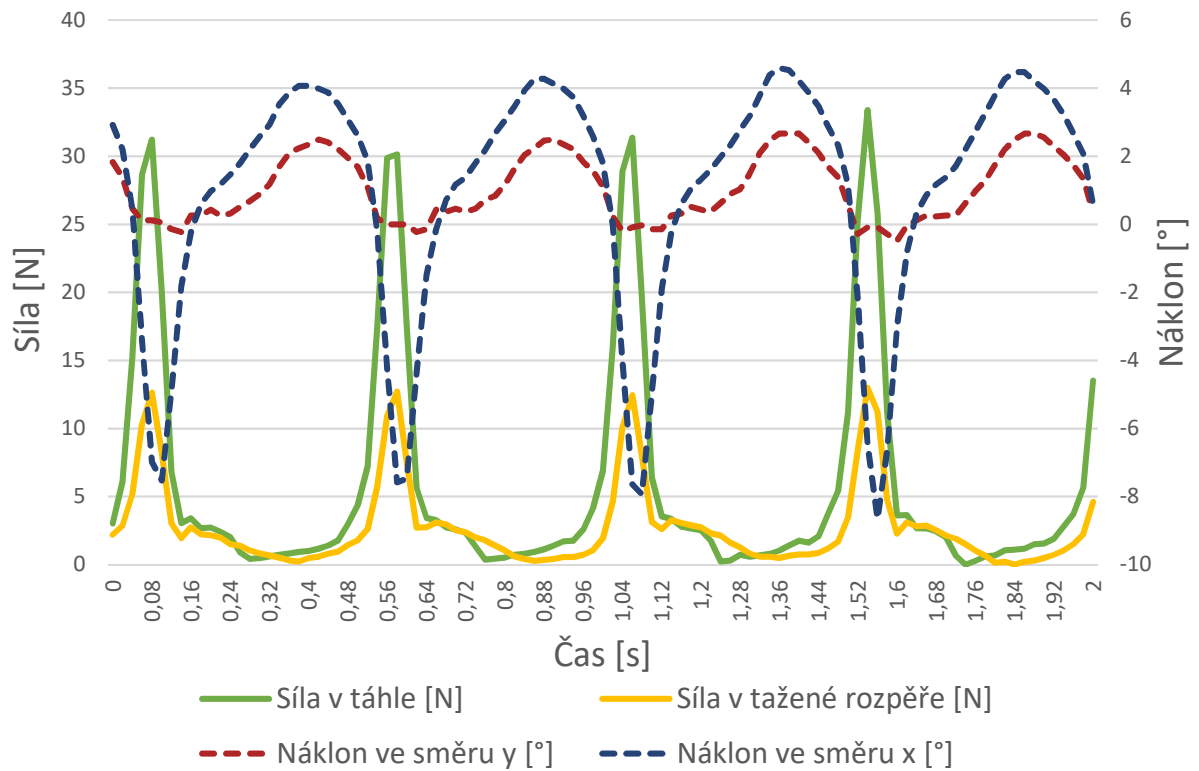
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 253 Schéma zatěžovacího stavu Z4



Obr. 254 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z4



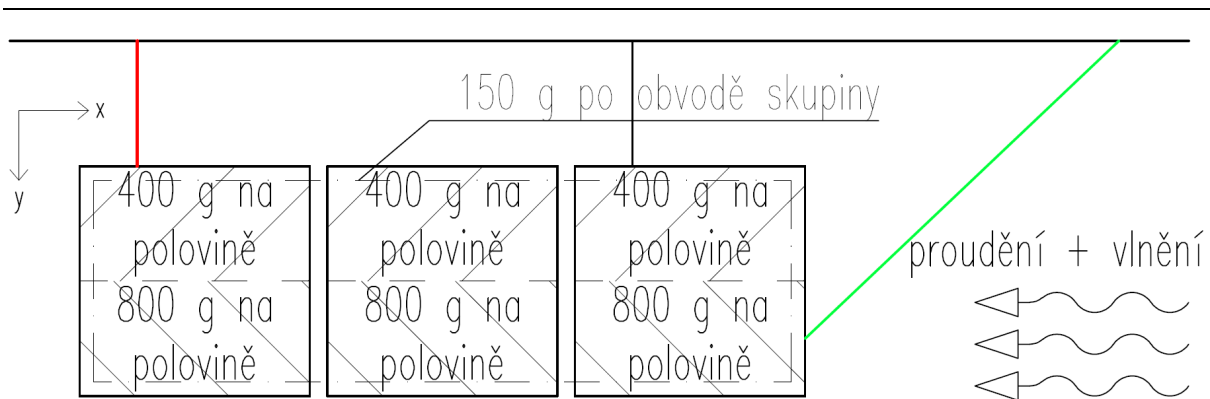
Obr. 255 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z4

Tab. 59 Výsledky zatěžovacího stavu Z4

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z4	33,4	13,0	28,3	-8,7 až 4,5	-0,4 až 2,7

8.4.24. Zatěžovací stav Z5

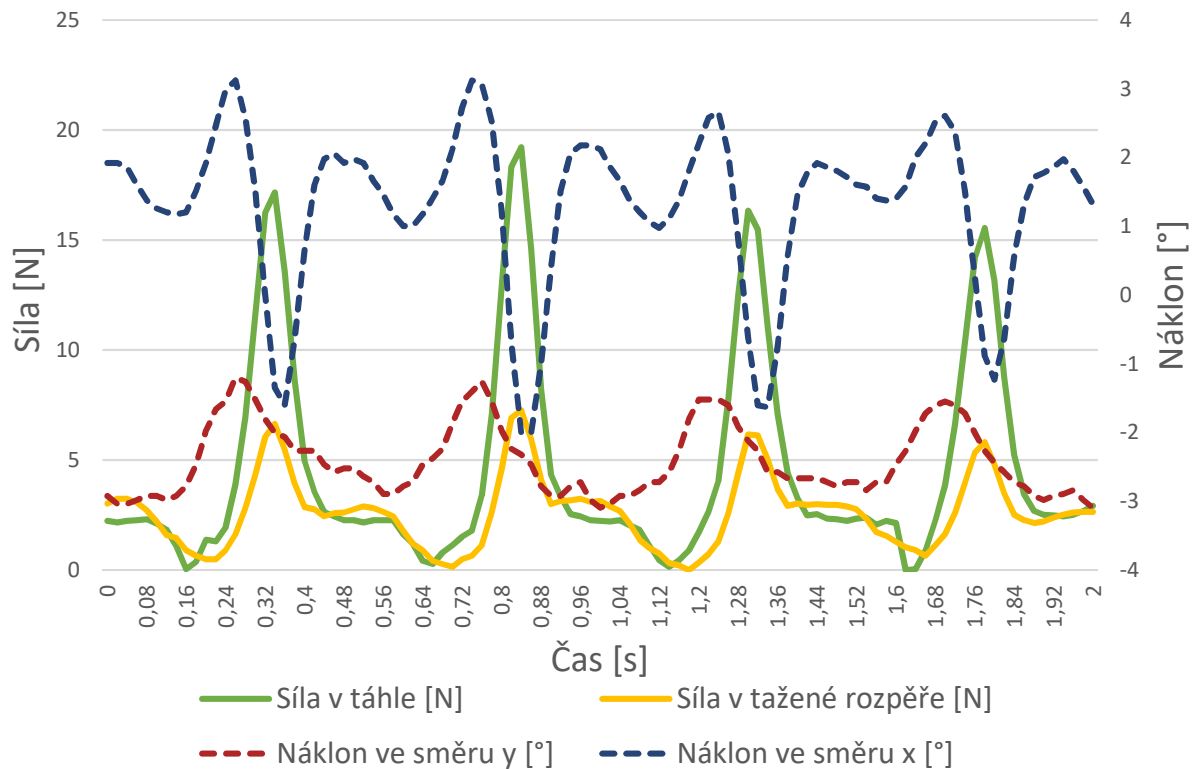
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy všech prvků a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 256 Schéma zatěžovacího stavu Z5



Obr. 257 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z5



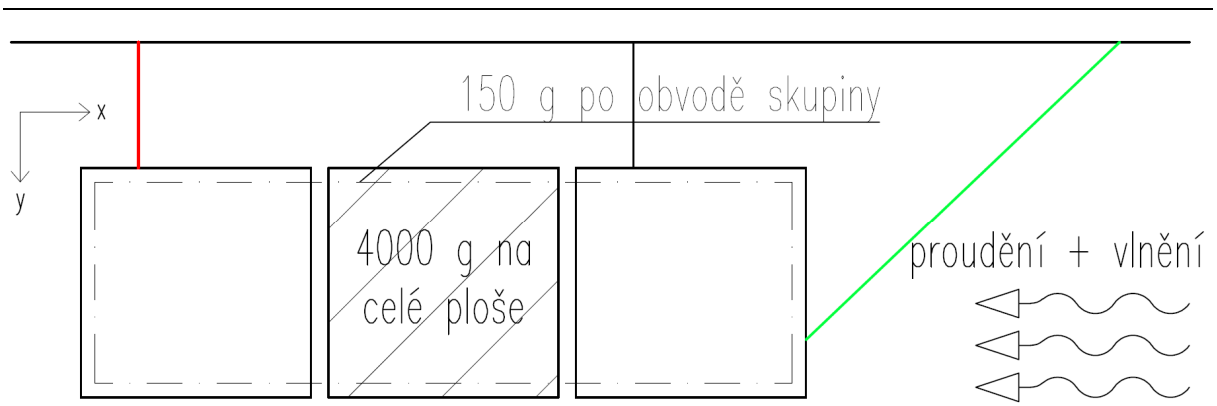
Obr. 258 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z5

Tab. 60 Výsledky zatěžovacího stavu Z5

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z5	19,2	7,3	16,3	-2,0 až 3,1	-3,1 až -1,2

8.4.25. Zatěžovací stav Z6

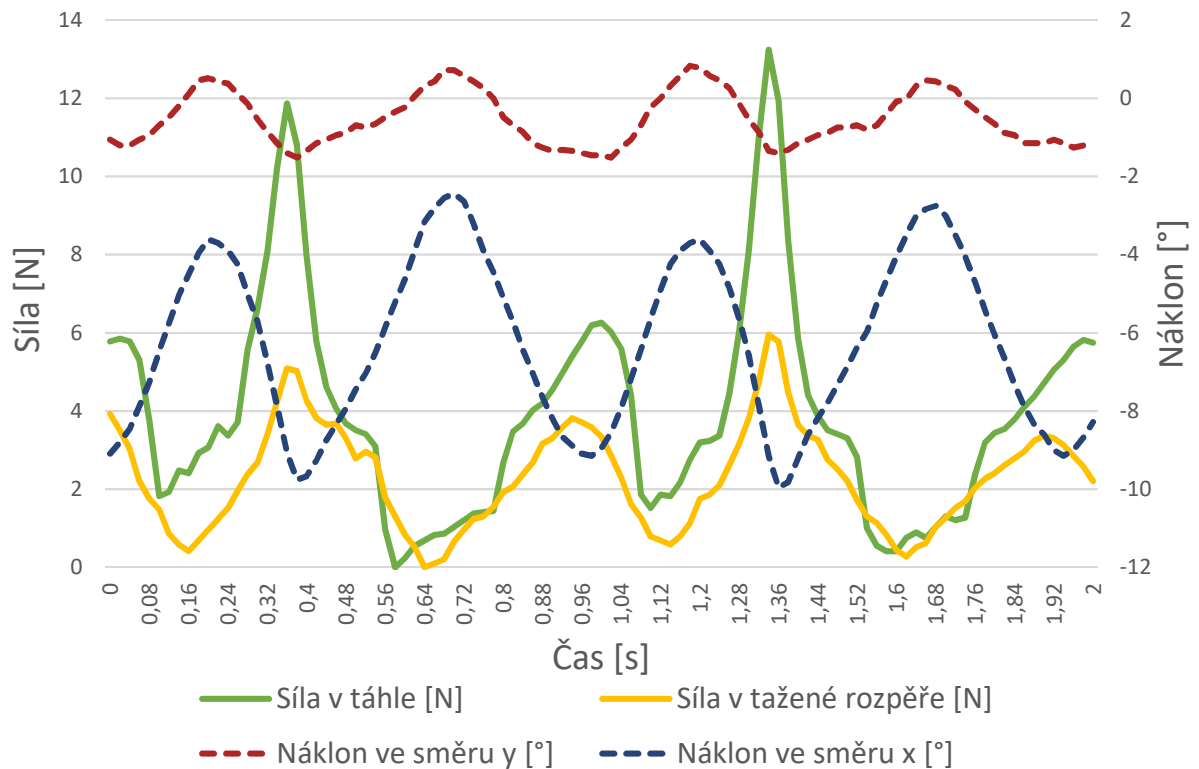
Liniově spojená skupina prvků (3x1) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen pouze prostřední prvek skupiny a liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 259 Schéma zatěžovacího stavu Z6



Obr. 260 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z6



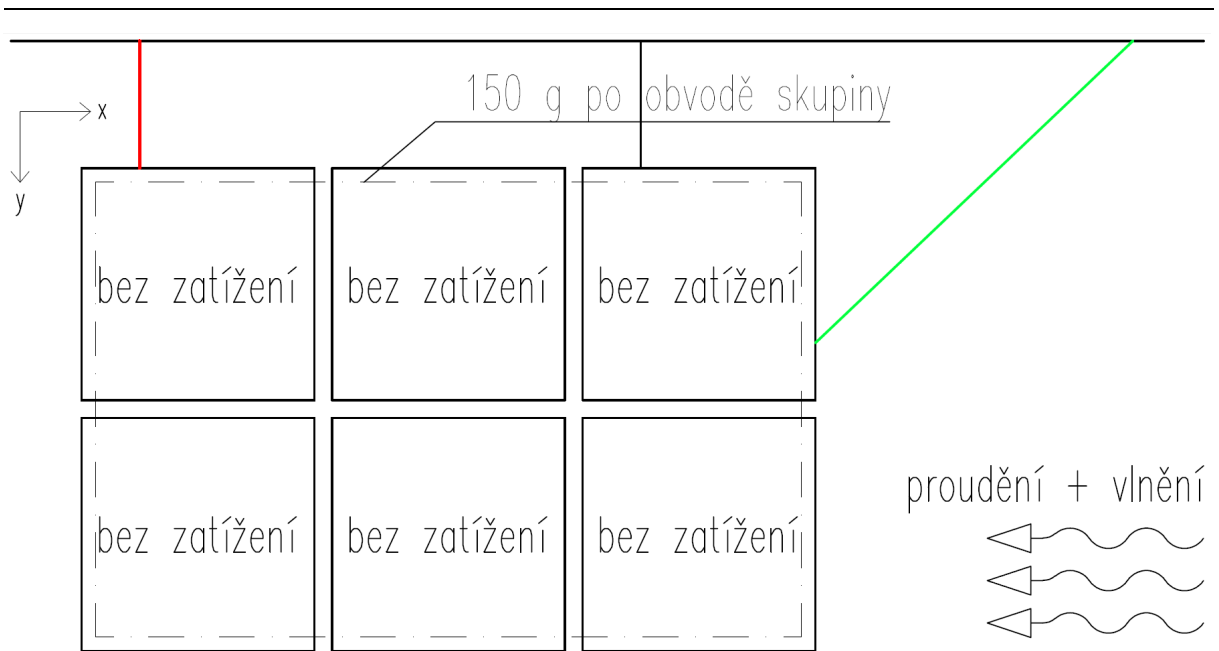
Obr. 261 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z6

Tab. 61 Výsledky zatěžovacího stavu Z6

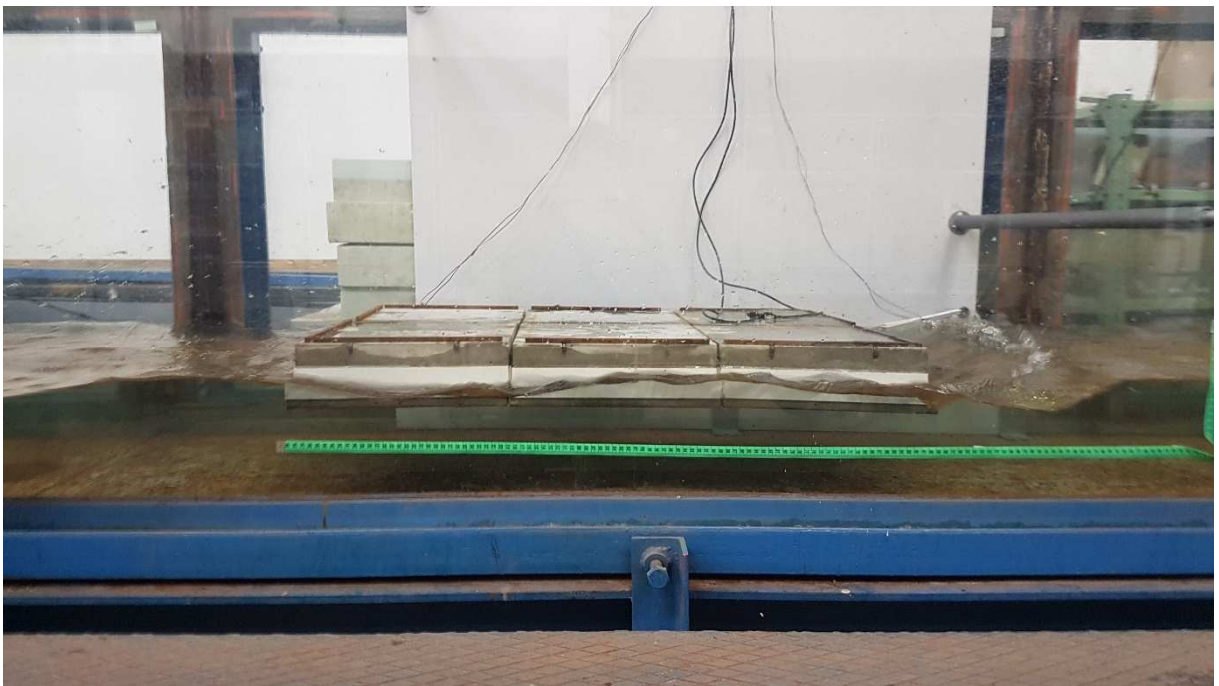
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z6	13,2	6,0	11,2	-10,0 až -2,4	-1,5 až 0,8

8.4.26. Zatěžovací stav Z7

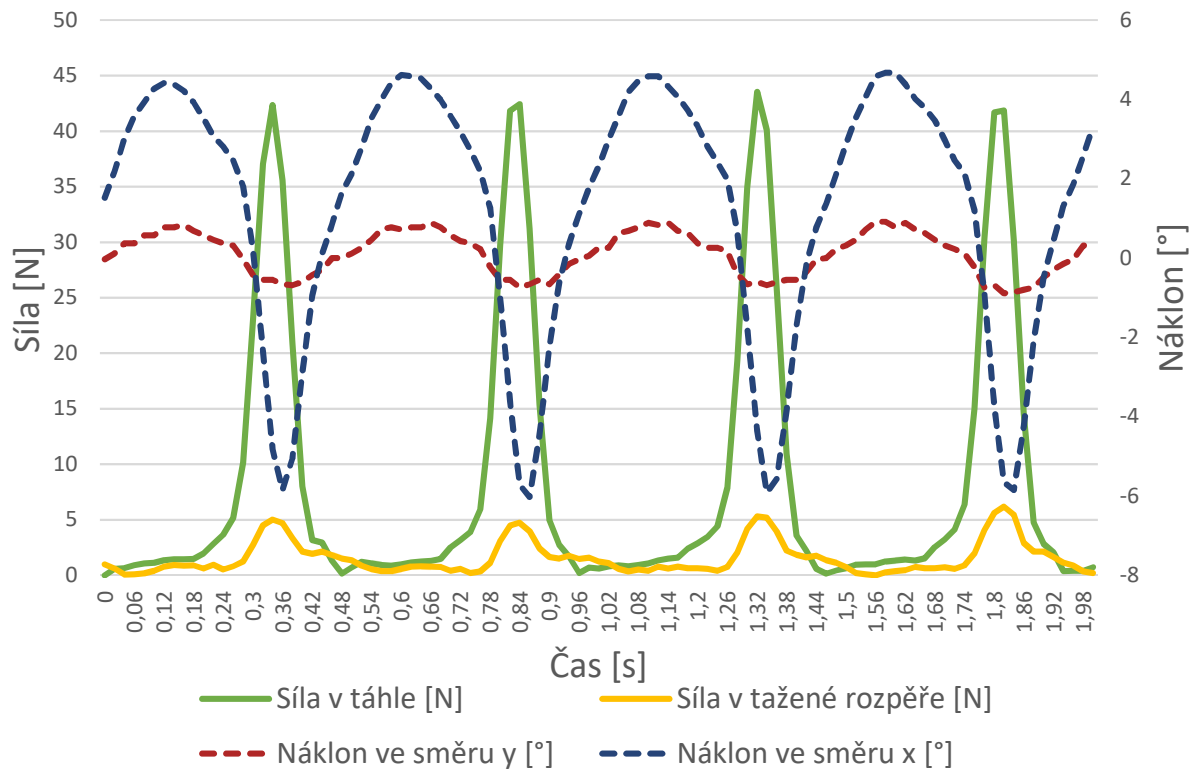
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena pouze liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 262 Schéma zatěžovacího stavu Z7



Obr. 263 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z7



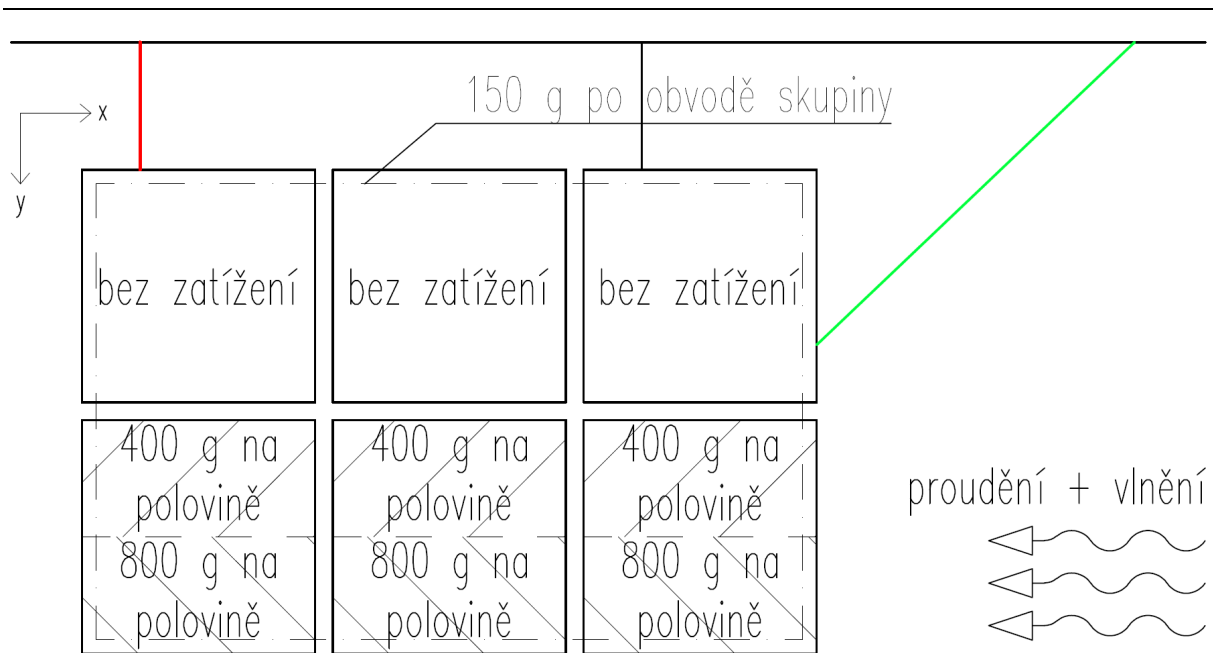
Obr. 264 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z7

Tab. 62 Výsledky zatěžovacího stavu Z7

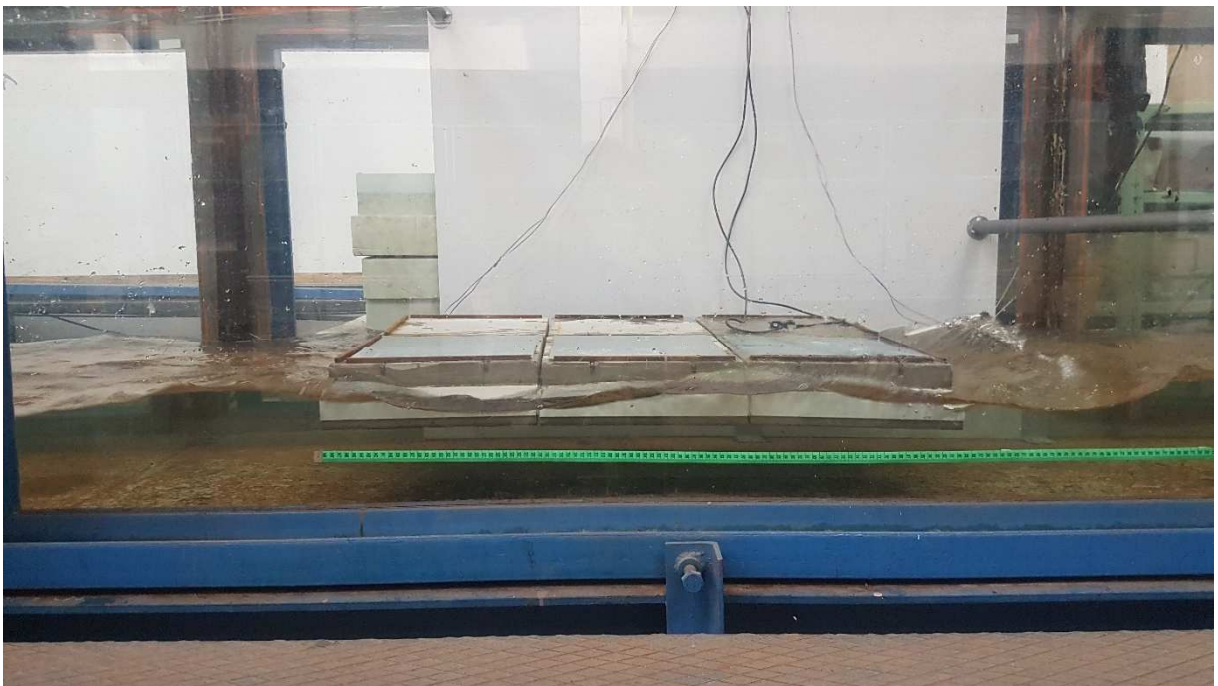
Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z7	43,5	6,2	36,9	-6,0 až 4,7	-0,9 až 0,9

8.4.27. Zatěžovací stav Z8

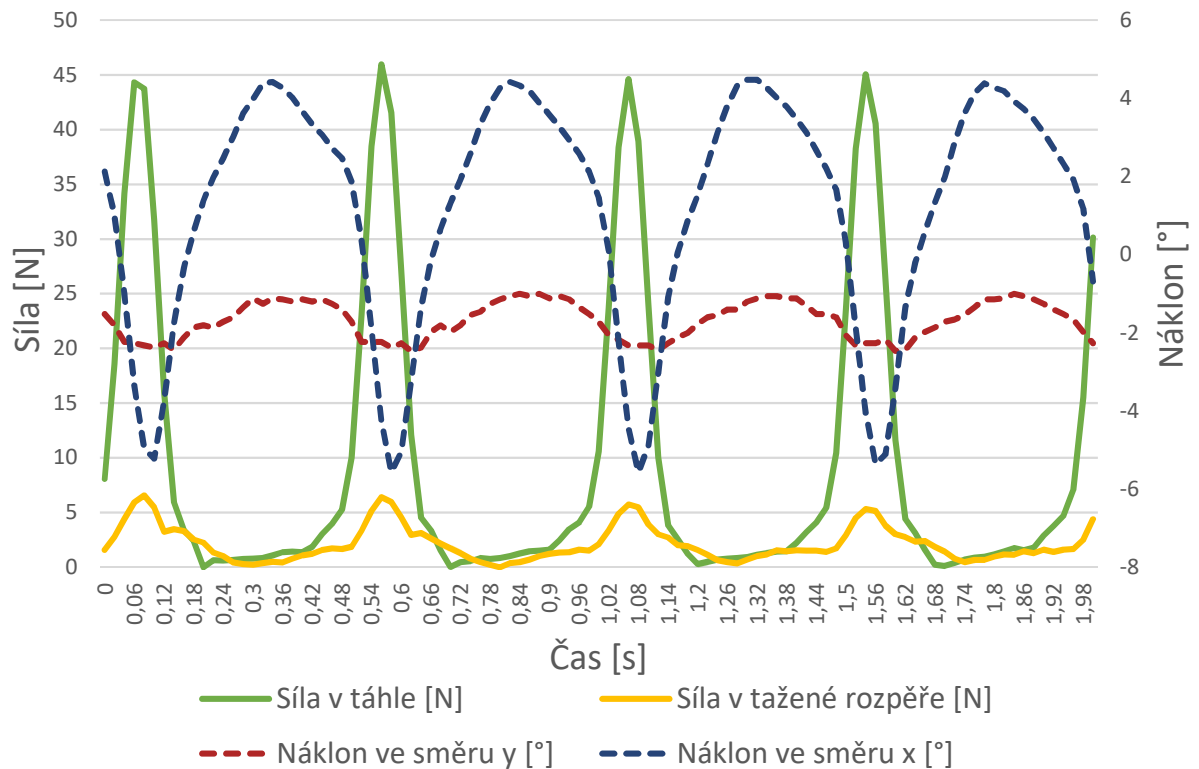
Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 400 g na jedné polovině plochy a 800 g na druhé polovině plochy prvků, přičemž jsou zatíženy krajní 3 prvky skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 265 Schéma zatěžovacího stavu Z8



Obr. 266 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z8



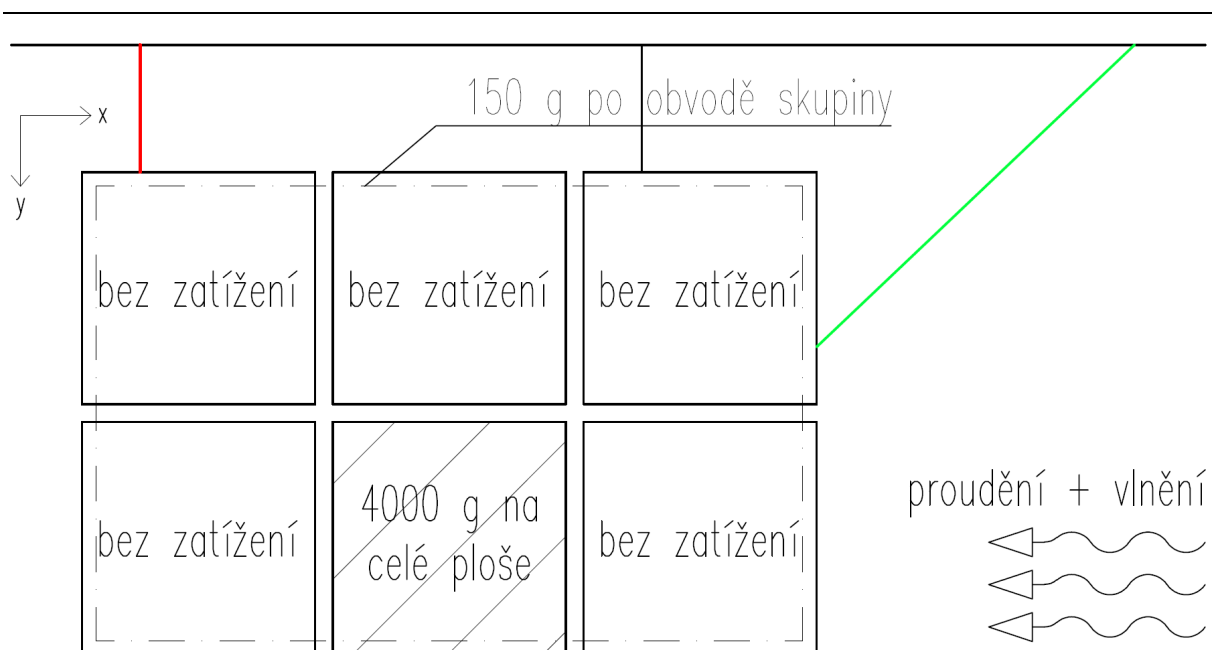
Obr. 267 Výsledné síly a náklony v časovém intervalu 2 s při zatěžovacím stavu Z8

Tab. 63 Výsledky zatěžovacího stavu Z8

Zatěžovací stav	Síla v táhle [N]	Síla v tažené rozpěře [N]	Síla v tlačené rozpěře [N]	Náklon ve směru x [°]	Náklon ve směru y [°]
Z8	46,0	6,6	32,5	-5,6 až 4,5	-2,5 až -1,0

8.4.28. Zatěžovací stav Z9

Plošně spojená skupina prvků (3x2) zatížena 4000 g na celé ploše prvku, přičemž je zatížen prostřední prvek krajní řady skupiny. Dále je skupina zatížena liniovým zatížením 150 g reprezentujícím zábradlí po jejím obvodě. Na vodní hladině bylo vytvořeno rovnoměrné vlnění a proudění.



Obr. 268 Schéma zatěžovacího stavu Z9



Obr. 269 Fotografie skupiny zkušebních prvků při zatěžovacím stavu Z9

Při provádění této zkoušky se bohužel zapomnělo zapnout měření poměrného přetvoření a náklonů.

8.4.29. Vyhodnocení dynamických zkoušek

V následující tabulce jsou uvedeny všechny výsledky jednotlivých zatěžovacích stavů. Červeně označené výsledky jsou maxima pro danou veličinu. Hodnoty sil pro reálně prvky ve skutečném měřítku by byly stejné, pouze jednotka by byla tisíckrát větší (kN).

Tab. 64 Celkové výsledky dynamických hydraulických zkoušek

Zatěžovací stav	Maximální síly [N]			Náklony [°]			
	Táhlo	Tažená rozpěra	Tlačená rozpěra	Směr x	Rozdíl	Směr y	Rozdíl
X1	19,1	16,3	27,0	-4,3 až 0,9	5,2	-10,6 až 9,8	20,4
X2	16,9	14,3	23,8	-7,0 až 4,3	11,3	-2,5 až -0,3	2,2
X3	23,4	19,1	33,0	-5,7 až 5,4	11,1	-4,7 až -3,2	1,5
X4	22,3	7,6	18,9	-2,6 až -0,2	2,4	-3,2 až 7,8	11
X5	5,6	1,8	4,7	-1,9 až -0,1	1,8	-1,5 až 1,6	3,1
X6	10,6	4,5	9,0	4 až 10,2	6,2	-1,8 až 1,2	3
X7	15,9	6,4	13,4	2,6 až 12,4	9,8	-2,6 až 1,4	4
X8	15,2	3,1	10,8	-1,5 až 3,4	4,9	0,1 až 1,3	1,2
X9	18,7	2,9	13,2	-1,7 až 3,3	5	-2,4 až -1,5	0,9
Y1	0,8	0,8	1,2	0,2 až 1,0	0,8	-0,4 až -0,1	0,3
Y2	0,6	0,7	0,8	-0,5 až 0,9	1,4	-3,3 až -2,3	1
Y3	1,9	1,4	2,7	-0,1 až 1,3	1,4	-0,9 až 0,3	1,2
Y4	1,1	0,5	1,0	0,5 až 1,0	0,5	0,7 až 1,1	0,4
Y5	0,7	0,5	0,6	0,8 až 1,1	0,3	-2,1 až -1,6	0,5
Y6	0,6	0,7	0,5	-6,6 až -6,2	0,4	-0,8 až -0,4	0,4
Y7	1,9	0,5	1,6	0,9 až 1,3	0,4	-0,1 až 0,3	0,4
Y8	1,1	0,5	0,8	0,9 až 1,3	0,4	-1,5 až -1,3	0,2

Y9	1,4	0,6	1,0	-1,5 až -0,9	0,6	-1,6 až -1,2	0,4
Z1	13,2	9,4	18,6	-4,2 až 5,4	9,6	-1,8 až 1,3	3,1
Z2	13,3	8,9	18,8	-3,4 až 5,7	9,1	-4,5 až -1,0	3,5
Z3	14,2	13,7	20,1	-6,6 až 4,3	10,9	-0,4 až 5,9	6,3
Z4	33,4	13,0	28,3	-8,7 až 4,5	13,2	-0,4 až 2,7	3,1
Z5	19,2	7,3	16,3	-2,0 až 3,1	5,1	-3,1 až -1,2	1,9
Z6	13,2	6,0	11,2	-10,0 až -2,4	7,6	-1,5 až 0,8	2,3
Z7	43,5	6,2	36,9	-6,0 až 4,7	10,7	-0,9 až 0,9	1,8
Z8	46,0	6,6	32,5	-5,6 až 4,5	10,1	-2,5 až -1,0	1,5
Z9	Z důvodu zapomenutí nebyl tento stav změřen						

Z výsledků je patrné, že největší stabilitní problém má osamělý prvek. Zejména při vlnění vodní hladiny vychází velmi velké náklony prvku. Je důležité zmínit, že podmínky ve zkušebním korytu byly pro dynamické zkoušky nastaveny jako nejnepríznivější možné. Zároveň se nepředpokládá s užíváním pouze jednoho prvku, prvky budou spojovány do skupin.

Ve výsledcích lze pozorovat, že po spojení do skupiny si prvky navzájem pomáhají a vzájemně se stabilizují. Také je patrné, že zatížené prvky mají větší stabilitu než nezatížené. Nejlépe je tato vlastnost patrná u zkoušek X, tedy při zkouškách s rovnoměrným vlněním vodní hladiny. Při zkoušce X1, tedy nezatížený osamělý prvek, byl naměřen největší rozdíl náklonů při zkouškách vůbec a to 20,4°. Po zatížení osamělého prvku při zkoušce X3 maximálním možným zatížením 4000 g byl změřen maximální rozdíl náklonů už pouze jako 11,1°, což je téměř poloviční hodnota oproti nezatíženému prvku. Při zkoušce X8, tedy spojení prvků do plošné skupiny (3x2) se zatížením 800 g na jedné polovině prvku a 400 g na druhé polovině prvku, které je rozmístěno na krajní prvky skupiny, je maximální rozdíl náklonů již pouze 4,9°.

Co se týče naměřených sil v jednotlivých konstrukcích, tak lze říci, že jsou do jisté míry závislé na rozdílu náklonů, kdy čím větší rozdíl náklonu vzniká, tím větší tento stav vyvozuje síly v táhle a rozpěrách. Největší výsledná síla v táhle byla změřena jako 46 N při zatěžovacím stavu Z8. Největší síla v tažené rozpěře byla změřena jako 19,1 N při zatěžovacím stavu X3 a největší síla v tlačené rozpěře byla doložena jako 36,9 N při zatěžovacím stavu Z7. Výsledné

síly mají poměrně malou velikost a návrh kotevních táhel a vzpěr u reálného prvku by tak neměl být větší problém. Obtížné může být pouze přenesení tahové síly z táhla do betonového prvku, kdy by mohlo dojít k vytržení kotvení. Tento fakt bude nutné při dalším vývoji zvážit a patřičně nadimenzovat zakotvení přípoje.

8.5. Určení maximální rychlosti, při které nedojde k odplavání ponořeného prvku

Tato zkouška byla provedena tak, že byl do zkušebního prvku vyvrtán otvor o průměru 10 mm přibližně do jeho středu. Dále byla odstraněna fólie tvořící vak zkušebního prvku. Takto upravený zkušební prvek byl položen na dno zkušebního žlabu a byl k němu připevněn pomocí úvazného táhla. Délka táhla byla pro tyto zkoušky upravena na cca 730 mm. Táhl bylo na počátku zkoušky napnuté, k jeho napnutí došlo až v okamžiku, kdy rychlost vodního proudu byla tak velká, že proud začal prvek unášet.

Do takto připraveného zkušebního žlabu byl vpuštěno rovnoměrný proud vody. Průtok a s ním i rychlost ve zkušebním žlabu se postupně navyšovala a zároveň byla měřena rychlost v okolí prvku. Po dosažení limitní rychlosti dojde k tomu, že gravitační síla přitlačující prvek ke dnu je přetlačena silou proudu a tím dojde nejprve k posouvání prvku po dnu a poté k jeho zvednutí a plavání v proudu toku. Na průběh této zkoušky má vliv zejména geometrie úvazu. Pokud je úhel sevřený mezi dnem a úvazem příliš tupý, dojde k nadzvednutí prvku mnohem dříve, než pokud je tento úhel ostrý.

Rychlost v okolí prvku těsně před začátkem posouváním zkušebního prvku byla naměřena cca 0,6 m/s, což u skutečného prvku odpovídá rychlosti cca 1,9 m/s.



Obr. 270 Fotografie zkušebního prvku při zkoušce maximální rychlosti před jeho odplaváním

9. Příprava podkladů pro ochranu vynálezu

Jedním z požadavků grantu, v rámci kterého byla tato práce zpracována, bylo vynález ponorného mola právně ochránit. Jednotlivé přihlášky pro ochranu vynálezu byly připravovány autorem práce za pomoci vedoucího práce. Na formální správnost zpracování dohlížela Ing. Lenka Bobková, která je zaměstnána jako patentová zástupkyně na Fakultě stavební ČVUT. V rámci zpracování jednotlivých přihlášek proběhlo několik jednání s patentovou zástupkyní. První jednání proběhlo 28. 2. 2018 a přihlášky byly podány 5. 10. 2018. Bez jednoho týdne tedy příprava podkladů pro všechny přihlášky trvala 7 měsíců.

9.1. Způsob ochrany

Pro vynález betonového ponorného mola byly vytvořeny přihlášky k jeho právní ochraně. Přihlášky jsou na patent, užitný vzor a průmyslový vzor. Tyto přihlášky byly podány na Úřad průmyslového vlastnictví ČR. Právní ochrana je proto také na úrovni pro ČR. Patentová přihláška představuje nejvyšší právní ochranu, kterou jde u vynálezu dosáhnout. Na její vyřízení je však poměrně dlouhá lhůta cca 1 rok. Úřad průmyslového vlastnictví uvádí na svých stránkách o přihlášce vynálezu 0 následující: „*Patent udělený v České republice platí 20 let od*

podání přihlášky a jeho základní účinek spočívá v tom, že bez souhlasu jeho majitele jej nikdo nesmí využívat. Souhlas k využití patentu se uděluje licenční smlouvou. Patent lze rovněž prodat. V případě porušení patentu je založena plná občanskoprávní a trestní odpovědnost.“

Z důvodu velké lhůty pro rozhodnutí o udělení patentu byla podána také přihláška užitého vzoru, který představuje oproti patentu vynálezu nižší stupeň právní ochrany, avšak lhůta pro jeho vyřízení je v řádu měsíců (typicky kolem tří měsíců). O užitém vzoru Úřad průmyslového vlastnictví [30] uvádí: *„Na rozdíl od patentové ochrany k zápisu užitého vzoru může dojít velmi rychle, zpravidla v řádu měsíců po podání přihlášky. Za určitých podmínek je možné dokonce z původní přihlášky vynálezu odbočit na přihlášku užitého vzoru při zachování původní priority. Doba ochrany užitého vzoru trvá jen čtyři roky, ale na žádost jeho majitele může být prodloužena dvakrát o tři roky. Maximální doba platnosti užitého vzoru je tedy 10 let.“*

Posledním způsobem ochrany je průmyslovým vzorem. Tato ochrana je pouze jako doplňková. Průmyslový vzor chrání design (vzhled) výrobku. Úřad průmyslového vlastnictví popisuje průmyslový vzor [31] následovně: *„Ochrana průmyslového vzoru zápisem do rejstříku je určena pro řešení designérská. Průmyslovým vzorem se rozumí vzhled výrobku, spočívající zejména ve znacích linií, obrysů, barev, tvaru, struktury nebo materiálů výrobku samotného, nebo jeho zdobení. Jde o vizuálně vnímatelnou vlastnost výrobku, nikoliv např. o jeho technickou nebo konstrukční podstatu. Výrobkem je průmyslově nebo řemeslně vyrobený prostorový nebo plošný předmět. Grafika sama o sobě, bez spojení s konkrétním výrobkem, průmyslovým vzorem není.“* Podklady pro zpracování přihlášky průmyslového vzoru byly ve velkém měřítku shodné s podklady pro přihlášku vynálezu. Z toho důvodu bylo vytvoření přihlášky průmyslového vzoru velmi jednoduché.

V době odevzdání této práce není k podaným přihláškám vyjádřeno patentovým úřadem žádné stanovisko. Všechny podané přihlášky jsou součástí příloh této práce. Na následujících obrázcích jsou zobrazena potvrzení o podání jednotlivých přihlášek.

PŘIHLÁŠKA UŽITNÉHO VZORU
se žádostí o zápis užitného vzoru do rejstříku průmyslového vlastnictví

(Vyplní Úřad)

Pořadové číslo: _____

Spisová značka přihlášky: _____

Potvrzení o přijetí
vydáno dne: _____

MPT _____

Vyřizuje _____

Kód _____

PUV 2018 – 35429
05.10.2018 08:42:34

Úřad průmyslového vlastnictví
- 5 - 10 - 2018
Antonína Čermáka 2a
160 68 Praha 6



ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ
Antonína Čermáka 2a 160 68 Praha 6

WWW.UPV.CZ

Tel.: 220 383 111

Fax: 224 324 718

E-mail: posta@upv.cz

Datová schránka: ix6aa38

PŘIHLÁŠKA PRŮMYSLOVÉHO VZORU
se žádostí o zápis průmyslového vzoru do rejstříku průmyslového vlastnictví

(Vyplní Úřad)

Pořadové číslo: _____

Spisová značka přihlášky: _____

Potvrzení o přijetí
vydáno dne: _____

Vyřizuje _____

Kód _____

PVZ 2018 – 41288
05.10.2018 08:40:32

Úřad průmyslového vlastnictví
- 5 - 10 - 2018
Antonína Čermáka 2a
160 68 Praha 6

DRUH PŘIHLÁŠKY (Vybrané možnosti a označte křížkem.)



ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ
Antonína Čermáka 2a 160 68 Praha 6

WWW.UPV.CZ

Tel.: 220 383 111

Fax: 224 324 718

E-mail: posta@upv.cz

Datová schránka: ix6aa38

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU
se žádostí o udělení patentu

(Vyplní Úřad)

Pořadové číslo: _____

Spisová značka přihlášky: _____

Potvrzení o přijetí
vydáno dne: _____

MPT _____

Vyřizuje _____

Kód _____

PV 2018 – 530
05.10.2018 08:41:35

Úřad průmyslového vlastnictví
- 5 - 10 - 2018
Antonína Čermáka 2a
160 68 Praha 6

Obr. 271 Potvrzení o podání přihlášek

10. Závěr a další výzkum

Tato práce dokázala, že myšlenka ponorného betonového mola je reálná. Hlavní stanovené cíle práce byly při zpracovávání naplněny. Hydraulickými zkouškami byly potvrzeny závěry z numerických modelů, ale také byly zjištěny kritické stavy, při kterých má konstrukce největší problémy. Ze závěrů zkoušek je nutné nyní vyvodit závěry pro použitelnost navrženého systému a případně provést úpravu tvaru prvku nebo stanovit podmínky pro jeho používání tak, aby mohl zcela bezpečně plnit svoji funkci. Pokud budou provedené úpravy prvku velkého rozsahu, tak bude nutné opakovat kritické zkoušky.

V době odevzdání této práce je odsouhlaseno pokračování práce na tomto projektu v roce 2019. Hlavním cílem prací řešitelského týmu v tomto roce bude vyrobení prototypu jednoho či dvou prvků mola v měřítku 1:1. Dále bude proveden návrh veškerého doplňkového vybavení a také přesný návrh ostatních konstrukcí, jako jsou bajonetový přípoj pro vybavení a zábradlí, samotné sklopné zábradlí, konstrukce rozpěry a konstrukce nástupní lávky.

Pokud se podaří realizovat prototypní prvek, který bude vykazovat požadované vlastnosti a kvalitu, tak bude dále udržován kontakt se správcem pražské náplavky, který o celý systém projevil zájem. Dále bude zahájen úředně schvalovací proces, který v současné době představuje jednu z největších hrozeb celého projektu. Pokud příslušné orgány vydají souhlasné stanovisko s umístěním prvků v oblasti pražské náplavky, tak nebude již nic bránit jejich použití.

11. Literatura

- [1] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, Praha 2006.
- [2] ČSN 73 413. *Schodiště a šikmé rampy. Základní ustanovení*. ČNI, Praha 1987.
- [3] KOLÁŘ, Václav, PATOČKA, Cyril, BÉM, Jiří: *Hydraulika*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1983.
- [4] PATOČKA, Cyril, MACURA, Lukáš: *Úpravy toků*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1989.
- [5] RAPLÍK, Milan, VÝBORA, Pavel, MAREŠ, Karel: *Úprava tokov*. Alfa – Vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1989.
- [6] GABRIEL, Pavel, GRANDTNER, Teodor, PRŮCHA, Miroslav, VÝBORA, Pavel: *Jezy*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1989.
- [7] MILERSKI, Rudolf, MIČÍN, Jan, VESELÝ, Jaroslav: *Vodohospodářské stavby*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2004.
- [8] NALLURI, C., FEATHERSTONE, R. E.: *Civil Engineering Hydraulics: Essential Theory with Worked Examples*. WILEY – BLACKWELL, Londýn 2009.
- [9] PYTLÍK, Petr: *Technologie betonu*. Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, Brno 2000.
- [10] ŠMERDA, Zdeněk: *Životnost betonových staveb*. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Praha 1999.
- [11] AÏTCIN, Pierre – Claude: *Vysokohodnotný beton*. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Praha 2005.
- [12] SOUTSOS, Marios: *Concrete durability*. Thomas Telford Limited, Liverpool 2010.
- [13] PROCHÁZKA, Jaroslav, ŠTĚPÁNEK, Petr, KRÁTKÝ, Jiří, KOHOUTKOVÁ, Alena, VAŠKOVÁ, Jitka: *Navrhování betonových konstrukcí 1*. ČBS – Česká betonářská společnost ČSSI, Praha 2005.
- [14] AFGC/SETRA. *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes, Recommendations*. CEDEX, Paříž 2013.
- [15] FABEL, Jakub, BERÁNEK, Ondřej: *Architektonická studie zpracovaná firmou C&Com Advertising. Cyklostezka*.
- [16] Kolektiv autorů: *Ottův slovník naučný, devatenáctý díl*. Vydavatel a nakladatel J. Otto, Praha 1902.

-
- [17] BUCHLÁK, Jan, Ponorné molo z vláknobetonu, Bakalářská práce, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2017
- [18] MATĚJKA, Jan, Plovoucí molo z vláknobetonu, Diplomová práce, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2019
- [19] VODIČKA, Jan, VESELÝ, Vladimír, BROUKALOVÁ, Iva, LOREK, Karel: časopis BETON TKS, *Plovoucí ostrůvek*. Praha, 2010, 10(2), 22-25. ISSN 1213-3116.
- [20] COUFAL, Robert: časopis Materiály pro stavbu, *Odolnost betonu v prostředí s mrazovými cykly*. Praha, 2013, 4, 32-37.
- [21] TIPKA, Martin, ČECH, Jindřich, NOVÁK, Josef: časopis Stavební obzor, *Vlastnosti vysokopevnostního betonu s příměsí ocelových vláken*. Praha, 2011, 9, 267-270.
- [22] www.incradifloat.com, *Incradifloat modular pontoons* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.incradifloat.com/>
- [23] www.worldwide.espacenet.com, *SUBMERGING TYPE FLOATING PIER HAVING BRIDGE, KR101550453* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20150908&CC=KR&NR=101550453B1&KC=B1
- [24] www.worldwide.espacenet.com, *Floatable and sinkable wharf structure, US4938629* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19900703&CC=US&NR=4938629A&KC=A
- [25] www.ebeton.cz, *Polymerová vlákna do betonu, Vláknobeton, Drátkobeton* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.ebeton.cz/pojmy/>
- [26] www.rvccr.cz, *Ředitelství vodních cest České republiky – Přístaviště pro osobní lodní dopravu a malá plavidla Purkarec* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.rvccr.cz/vodni-cesty/purkarec>
- [27] www.pristavhluboka.cz, *Sportovní přístav Hluboká nad Vltavou* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.pristavhluboka.cz/>
- [28] www.myc-au.at, *Motor Yacht Club Au an der Donau* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.myc-au.at/>
-

-
- [29] www.upv.cz, *Úřad průmyslového vlastnictví – vynálezy/patenty* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.upv.cz/cs/prumyslova-prava/vynalezypatenty.html>
- [30] www.upv.cz, *Úřad průmyslového vlastnictví – užité vzory* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.upv.cz/cs/prumyslova-prava/uzitnevzory.html>
- [31] www.upv.cz, *Úřad průmyslového vlastnictví – průmyslové vzory* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.upv.cz/cs/prumyslova-prava/prumyslove-vzory.html>
- [32] www.wikipedia.org, *Monoxyl* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Monoxyl>
- [33] www.wikipedia.org, *Archimédés* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Archim%C3%A9d%C3%A9s>
- [34] www.novinky.cz, *Našli jsme vrak Kolumbovy lodi Santa Maria, hlásí archeolog* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.novinky.cz/veda-skoly/336145-naslijsme-vrak-kolumbovy-lodi-santa-maria-hlasi-archeolog.html>
- [35] www.prazsky.denik.cz, *Policejní lodě se vody už bát nemusí* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://prazsky.denik.cz/nehody/policejni-lode-se-vody-uz-bat-nemusi-20160407.html>
- [36] www.ceskepristavy.cz, *Přístav Praha Smíchov* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.ceskepristavy.cz/index.php?typ=CBA&showid=69>
- [37] www.zpravy.idnes.cz, *Obrazem lodě se před velkou vodou schovaly do ochranného přístavu* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/obrazem-lode-se-pred-velkou-vodou-schovaly-do-ochranneho-pristavu.A130607_161825_praha-zpravy_bur
- [38] www.river-marina.cz, *River Marina – výroba a prodej mol* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.river-marina.cz/vyroba-vystavba-mol/>
- [39] www.crodock.cz, *Plovoucí mola Crodock* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.crodock.cz/>

-
- [40] [www.eshop.plastovky.cz](http://eshop.plastovky.cz), *NOE – Plovoucí mola* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://eshop.plastovky.cz/www-plastovky-cz/eshop/10-1-Plovouci-mola>
- [41] www.varimarine.cz, *CLEMENT – Přístavní systém* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.varimarine.cz/clement-pristavni-system.html>
- [42] www.prefa.cz, *Prefa Brno – Pontony* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://www.prefa.cz/pozemni-stavby/ostatni-a-atypicke-dilce/pontony/>
- [43] www.mapabezbarier.cz, *Bezbariérové rampy* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <http://www.mapabarier.cz/index.php/praxe/priloha-c-3/2-bezbarierove-rampy>
- [44] www.wikipedia.org, *Vláknové kompozity* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vl%C3%A1knov%C3%A9_kompozity
- [45] www.abcpolymerindustries.com, *abcpolymer – Fibreforce fibers* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: <https://abcpolymerindustries.com/our-products/fiberforce-fibers/>
- [46] www.wikipedia.org, *Odpor prostředí* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupný z webu: https://cs.wikipedia.org/wiki/Odpor_prost%C5%99ed%C3%AD
- [47] Katalog HALFEN. *DEHA systém úchytů s kulovou hlavou – Informace o výrobku*. HALFEN – DEHA, Praha 2019
Dostupný z webu: https://downloads.halfen.com/catalogues/cz/media/catalogues/reinforcementsystems/KKT08_CZ.pdf
- [48] Technický list Den Braven. *MAMUT GLUE TOTAL*. Den Braven Czech and Slovak a. s., Úvalno 2017
Dostupný z webu: <https://www.denbraven.cz/download/mamut-glu-total-technicky-list/?wpdmdl=17454>
- [49] Technický list SIKA. *Sikaflex® -11 FC+*. SIKA CZ, Brno 2016
Dostupný z webu: https://cze.sika.com/content/czech_republic/main/cs/solutions_products/document_download/PDS/PDS_G_Sikaflex.html
-

Seznam příloh:

Příloha č. 1 – Tabulka pro přepočítání modelových rychlostí v měřítku 1:10 na skutečné rychlosti

Příloha č. 2 – Přihláška vynálezu

Příloha č. 3 – Přihláška užitého vzoru

Příloha č. 4 – Přihláška průmyslového vzoru

Příloha č. 5 – Výkresová dokumentace

Příloha č. 1 – Tabulka pro přepočítání modelových rychlostí v měřítku 1:10 na skutečné rychlosti

Rychlost	
m/s	m/s
Skutečná rychlost	Modelová rychlost
0,2	0,063
0,4	0,126
0,6	0,190
0,8	0,253
1,0	0,316
1,2	0,379
1,4	0,443
1,6	0,506
1,8	0,569
2,0	0,632
2,2	0,696
2,4	0,759
2,6	0,822
2,8	0,885
3,0	0,949

Rychlost	
m/s	m/s
Skutečná rychlost	Modelová rychlost
3,2	1,012
3,4	1,075
3,6	1,138
3,8	1,202
4,0	1,265
4,2	1,328
4,4	1,391
4,6	1,455
4,8	1,518
5,0	1,581
5,2	1,644
5,4	1,708
5,6	1,771
5,8	1,834
6,0	1,897
6,2	1,961