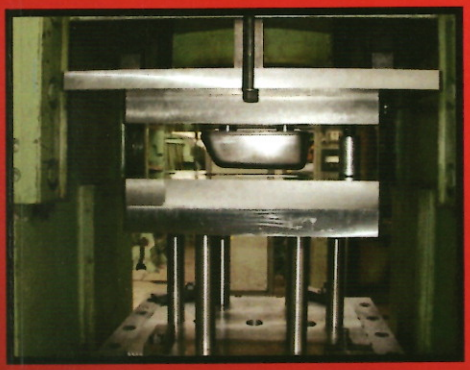
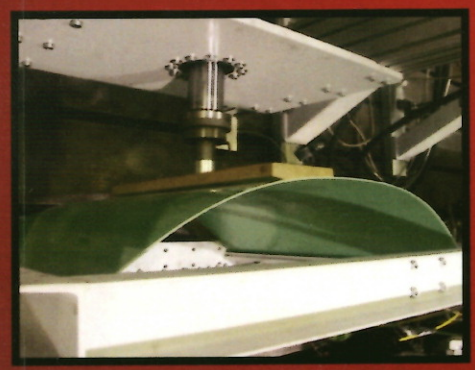
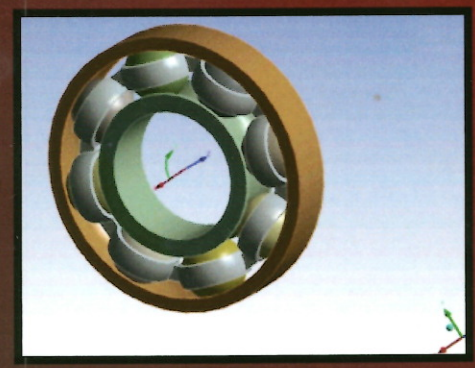




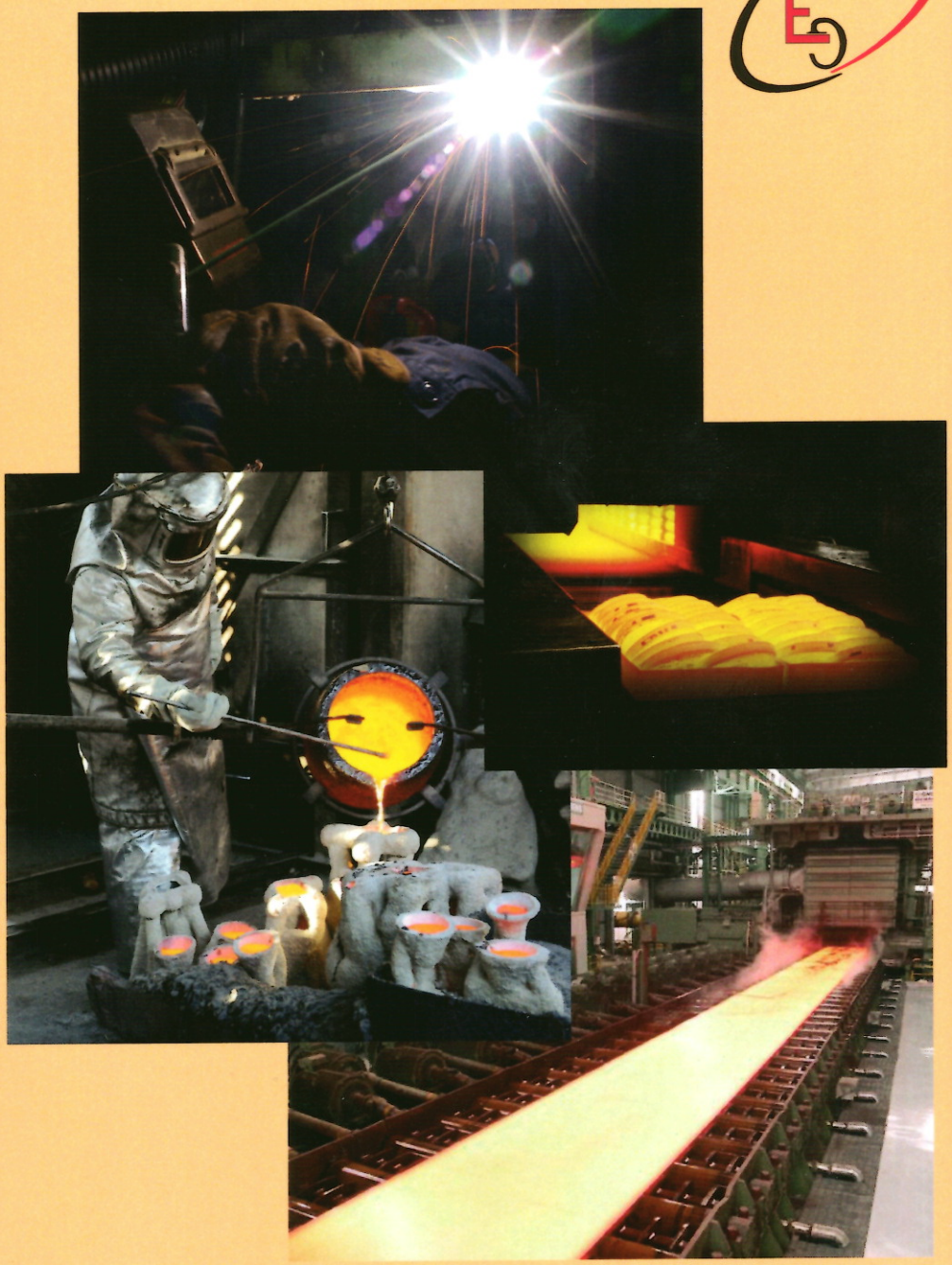


ŽILINSKÁ UNIVERZITA UNIVERSITAS SOLNENSIS

KTI

ŽILINSKÁ UNIVERZITA UNIVERSITAS SOLNENSIS

TECHNOLÓG



Ročník 10
jún 2018

2/2018

1953 – 2018

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

ISSN 1337-8996

Numerické modelování hydrodynamického zatížení pro optimalizace protipovodňové desky pro zvýšenou ochranu obyvatelstva a infrastruktury

Michal Petrů, doc. Ing., PhD. *
CXI, TUL Liberec,
Studentská 1402/2, 460 01 Liberec 1.
E-mail: michal.petru@tul.cz ,Tel.: + 420 485353833

Ladislav Ševčík, prof.Ing., CSc.
FT, TUL Liberec,
Studentská 1402/2, 460 01 Liberec 1.
E-mail: ladislav.sevcik@seznam.cz, Tel.: + 420 485353316

Pavel Srb, Ing.
CXI, TUL Liberec,
Studentská 1402/2, 460 01 Liberec 1.
E-mail: pavel.srb@tul.cz ,Tel.: + 420 485353321

Numerical modeling of hydrodynamic load to optimize mobile flood barrier for increased population and infrastructure protection

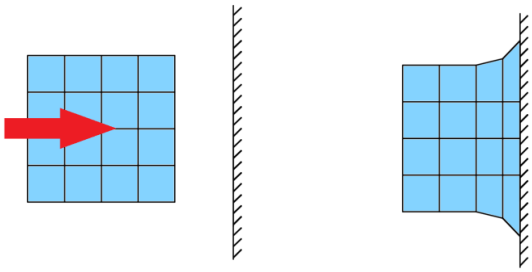
Abstract: Designing new products makes it necessary to perform a number of prototype tests, which are time consuming and costly. One approach to avoid these problems is using so-called virtual prototypes created using finite element method. This technique has been used as an auxiliary tool for the development of Mobile Flood Barrier. Based on the concepts, a suitable material was selected using simulations, which was then experimentally verified using the proposed test device and then directly in the test channel under realistic conditions. Thanks to this product could result in less than one year.

ÚVOD

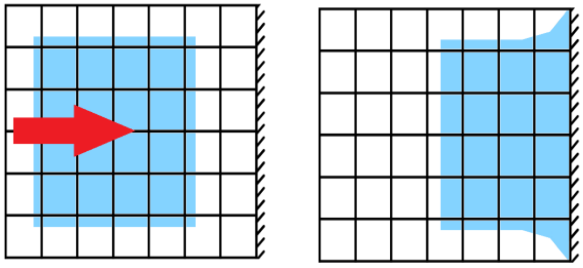
Protipovodňové mobilní desky jsou důležitým zařízením pro ochranu staveb a objektů proti zaplavení vodou. Správně navržená deska by kromě dokonalé těsnící funkce měla splňovat i celou řadu dalších požadavků, zejména na nízkou hmotnost, snadnou manipulaci, instalaci jednou osobou (ideálně ženou) a také přiměřenou cenu, aby byla dostupná pro co nejširší okruh potencionálních uživatelů, včetně běžných domácností. V současné době jsou na trhu řešení, která jsou spolehlivá, avšak instalace nemusí být úplně jednoduchá a vyžaduje přídavná zařízení. Běžné typy desek jsou vybaveny nafukovacím těsněním. Je tedy nutné po instalaci provést nafouknutí, které se realizuje hustilkou, kompresorem nebo tlakovou nádobou se stlačeným vzduchem. V časové tísni, která při hrozbě zaplavení a působícím stresu nemusí být snadné potřebné příslušenství včas nalézt a protipovodňová zábrana pak nebude plnit svou funkci. Tento příspěvek se zabývá řešením této problematiky a snahou navrhnout optimalizované řešení bez nutnosti dodatečně zajistit těsnící funkci po instalaci zábrany do otvoru. Koncept řešení je založen na využití působícího hydrostatického tlaku jako pozitivně působícího zatížení, které zvyšuje těsnící funkci. Navržené zařízení se skládá z desky, která je je pružně deformována tak, aby vytvořila klenutý prvek, který je na svých okrajích přes těsnění umístěn do dvou svislých sloupků, které jsou pomocí vhodného mechanismu rozpírány do stavebního otvoru. Za účelem nalezení optimálních materiálových a geometrických parametrů desky bylo provedeno modelování dynamického působení vody, experimentální ověření vybraných desek na zařízení simulujícím tlak vytvářený vodou a také ověřovací testy ve vodním zkušebním kanále.

MODELOVÁNÍ HYDRODYNAMICKÉHO ZATÍŽENÍ PROTIPOVODŇOVÉ DESKY

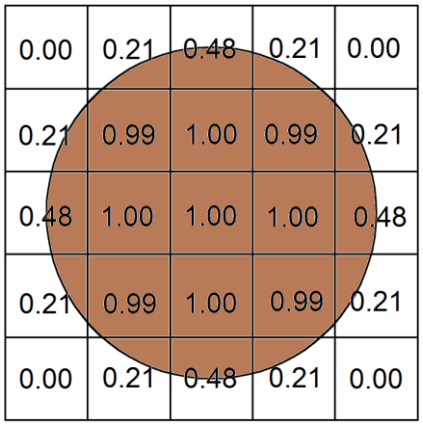
Pro virtuální modelování vody pro studie kritických míst, materiálových vlastností a konstrukčních optimalizací protipovodňových zábran bylo využito spojené Eulerovské a Lagrangeovské techniky (CEL), která kombinuje oba přístupy v jedné analýze. Tato metoda byla původně vyvinuta pro simulaci nafukování airbagů, později k řešení problémů jako kolize letadla s ptáky, aquaplaning, náraz do nádrže. Metoda spočívá v úpravě sítě, rekonstrukci povrchu a řešení rovnic kapalin a struktur. Účelem této techniky je vyhnout se problémům se sítí při simulacích kde dochází k extrémním deformacím. V simulacích se běžně používá Lagrangeovský přístup, který ale není vhodný pro případy nadměrných deformací, pro ty je vhodnější Eulerovský přístup. Technika CEL zachycuje silné stránky Lagrangeovské a Eulerovské metody. Metoda CEL umožňuje uživateli selektivně síťovat jednotlivé komponenty analýzy. Proto tělesa dosahující velkých deformací (kapaliny, plyny, atd.) mohou být síťována užitím Eulerovské techniky a na ostatní tělesa může být použito konvenční Lagrangeovy techniky. Interakce mezi tělesy je dána definicí kontaktu. V Lagrangeovských simulacích je každý element sítě reprezentací objemu materiálu. Přemístění materiálu je možné pouze s deformací sítě. Lagrangeovský přístup (obr.1) je vhodný pro většinu strukturálních problémů, ale v simulacích, kde je dosahováno velkých deformací, se elementy zkreslují a simulace nemůže pokračovat. V Eulerovských simulacích (obr. 2) zůstává síť během simulace stacionární a materiál protéká prvky, které se nedeformují. Eulerovská síť je typicky jednoduchá obdélníková mřížka prvků konstruovaná tak, aby přesahovala hranice, kde se předpokládá pohyb materiálu. Pro přiřazení materiálu v Eulerovské analýze je nutné použít předdefinované pole materiálu, které využívá principu objemových materiálových podílů. Během Eulerovské analýzy je sledována přítomnost materiálu v každém elementu z hlediska objemového podílu. Objemový podíl představuje procento objemu elementu, který zabírá daný materiál. Pro prvky, které jsou jen částečné naplněny materiálem, není přesné geometrické složení materiálu uvnitř prvku známo. Abaqus interpoluje objemové podíly v přilehlých prvcích k odhadu hranic materiálu uvnitř prvku. Objemové podíly jsou vyjádřeny jako číslo mezi nulou a jedničkou, toto číslo znamená procento vyplnění prvku daným materiálem. Obr. 3 ukazuje příklad objemových materiálových podílů. Obr. 4 ukazuje průběh Hugoniotovy křivky.

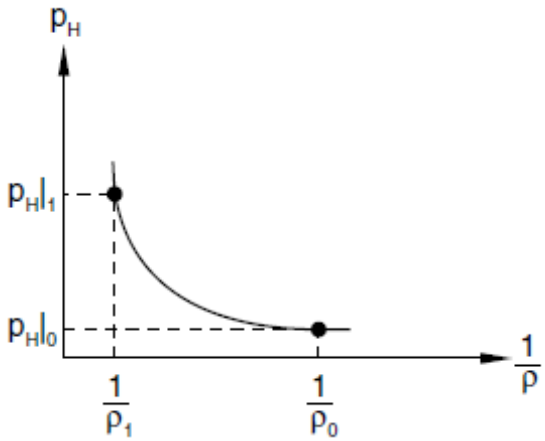


Obr. 1 Lagrangeovská simulace.



Obr. 2 Eulerovská simulace.

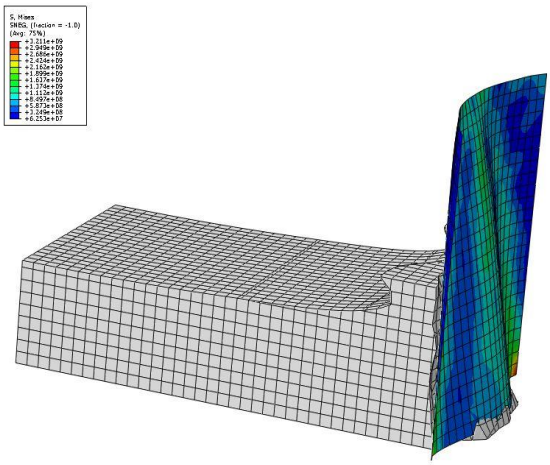




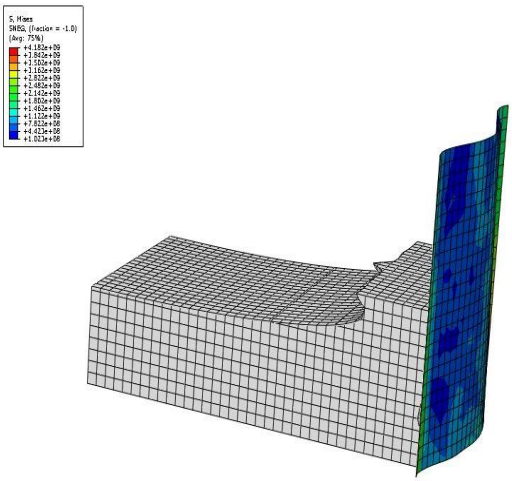
Obr. 3 Příklad objemových materiálových podílů. Obr. 4 Příklad Hugoniotovy křivky.

Numerická simulace hydrodynamického zatížení od nárazové vlny byla provedena pro studii elastických vlastností, tuhosti, pevnosti za účelem nalezení odpovídající deformace protipovodňové desky, tak aby dobře odolávala přívalu povodňové vlny a zároveň vyhovovala požadavkům na hmotnost, cenu atd. Po prvních testech byly zavrhnuty kovové materiály z důvodu vysoké ohybové tuhosti, což

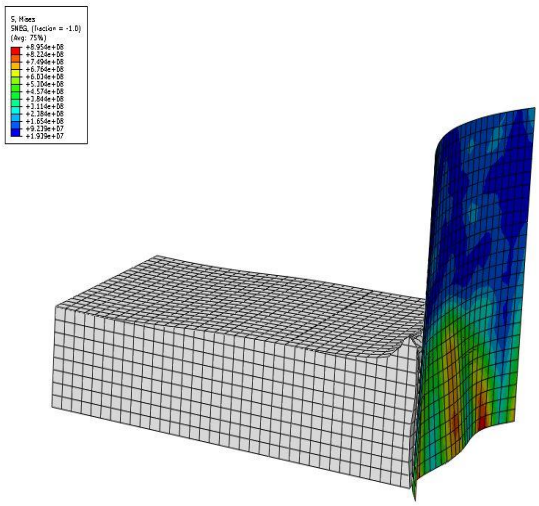
značně zvyšovalo síly potřebné k instalaci a tím i masivnost celé konstrukce a vybrány byly materiály kompozitní, vyztužené vlákny. Tuhost a pevnost dávající stabilitu protipovodňové kompozitní desky od přívalové vlny je ovlivněna nejen tloušťkou desky, jako v případě hydrostatického zatížení, ale také objemovým množstvím vláken v kompozitní struktuře. Na následujících obrázcích 5 - 8 je patrná ztráta stability kompozitní desky při stejné tloušťce pro jednotlivé typy kompozitů lišících se objemovým podílem výztužných skleněných vláken.



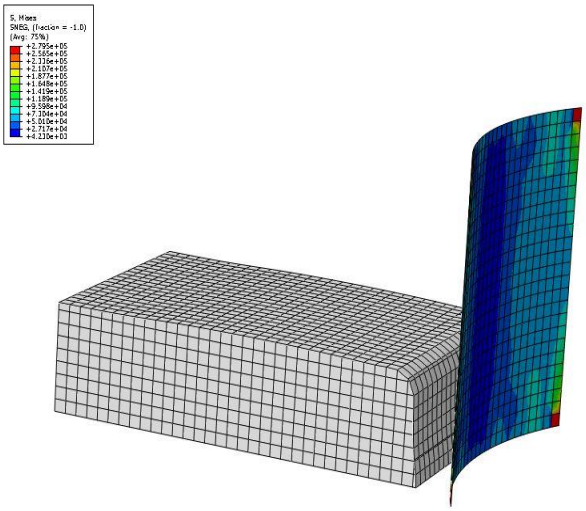
Obr. 5 Příklad modelové simulace hydrodynamického zatížení optimalizované desky, tloušťka desky 3 mm, při objemovém zaplnění skleněnými vlákny 0,15.



Obr. 6 Příklad modelové simulace hydrodynamického zatížení optimalizované desky, tloušťka desky 3 mm, při objemovém zaplnění skleněnými vlákny 0,25.



Obr. 7 Příklad modelové simulace hydrodynamického zatížení optimalizované desky, tloušťka desky 3 mm, při objemovém zaplnění skleněnými vlákny 0,3.



Obr. 8 Příklad modelové simulace hydrodynamického zatížení optimalizované desky, tloušťka desky 3 mm, při objemovém zaplnění skleněnými vlákny 0,4.

Z výsledků je patrné, že příliš nízký obsah vláken způsobí provalení desky (prohnutí ve směru působícího tlaku vody a její nekontrolovaný únik) nebo její nežádoucí prohnutí. Jako vhodný materiál se ukázal kompozit s objemovým podílem 0,4.

TESTOVÁNÍ KONSTRUKCE MOBILNÍ PROTIPOVODŇOVÉ DESKY V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH A VODNÍM ZKUŠEBNÍM KANÁLE

Pro studii kritických míst na optimalizované konstrukci protipovodňové desky při silovém zatížení byl vytvořen testovací přípravek v Hydrodynamické laboratoři TUL (obr. 9). Přípravek umožňuje měření normálových a tečných sil na protipovodňové desce a tím simulovat zatížení desky

Obr. 9 Otvor 750 mm, deska délky 740mm, max. deformace desky 50mm (nahoře), detail vyklenutí desky v vodním kanále (dole

pro porovnání s virtuálními modely. Zařízení dále umožňuje simulovat tlakové zatížení od působící vody v laboratorních podmínkách. Byly testovány materiály desky, které se osvědčily podle virtuálních simulací, kdy nejlepších výsledků dosáhl kompozit ze skleněných vláken, který má optimální hmotnost pro požadované elastické a pevnostní parametry pro zvýšenou ochranu infrastruktury před povodní. Normálové síly působící v podélném směru desky představující její deformační odpor. Tento odpor přitlačuje boční sloupky ke stavebnímu otvoru. Tyto síly vyvolávají tečné síly bránící vysunutí protipovodňové desky z otvoru vlivem tlaku vodního sloupce. Na obrázku 9 je deformovaná protipovodňová deska z kompozitního materiálu vyztuženého skleněnými vlákny v testovacím přípravku. Deformační síla je vyvozována hydraulickým válcem osazeným tvarovkou, která je v přímém kontaktu deskou. Při testu byla měřena silová a deformační odezva. Příčná síla je vyvozována tlakem válce odpovídající velikosti hydrostatického tlaku vody působícího na desku.

V tomto případě ještě působila pouze ve středu desky, což představuje nejnepříznivější případ. Po prvních testech byl přípravek optimalizován. Optimalizace proběhla zejména v oblasti snížení odporů lineárních vedení představující změnu šíře otvoru. Bylo provedeno několik měření protipovodňových desek. Desky ze speciálního skleněného kompozitu byly upraveny na různé délky tak, aby vyplnily stavební otvory o rozměrech např. 550, 650, 750 a 950 mm. Na obrázku 10 je výsledek měření pro šíři otvoru 750 mm. Vodorovná osa grafu znázorňuje změnu otvoru resp. podélnou deformaci desky (kolmé stlačení). Na svislou osu je vynášena síla vzpěru desky pro danou deformaci a síla od tlaku vody. Byly měřeny desky různých tlouštěk 3 mm - v grafech zelená barva, 2 mm - v grafech modrá barva, 1,5 mm - v grafech červená barva. Tmavý odstín barvy zobrazuje hodnoty kolmé síly, světlý odstín barvy zobrazuje hodnoty boční síly. Desky měly výšku bočních opor 30 mm. Příklad uspořádání experimentu pro otvor 550 mm je uveden dále. Do sloupků o rozměrech 2 x 30 mm je osazena deska šíře 540 mm, tedy celkem 600 mm. Dále se vyvodí předpětí tak, aby deska mohla být vložena do přípravku a započne test, kdy tvarovka deformuje desku o 35 mm. V dalších případech to byla aplikována šířka otvoru 650 a 750 mm. Vždy pro každou desku byly provedeny 3 trojúhelníkové kmity, ověřující opakovatelnost měření. Z grafů je zřejmé, že boční síla desky s 3 mm je přibližně 6-8 x větší, než požadovaná kolmá síla, a tak toto řešení bezpečně vyhovuje a to pro koeficientu tření nejméně 0,15. Vzhledem k tomu, že těsnící prvky jsou vyrobeny z pryže, bude tato minimální hodnota vždy vyšší. Na základě testů v hydrodynamické laboratoři TUL se provedly testy kritických míst na reálném vzorku v různých podmínkách od zatížení vody ve VZK, jak je patrné na obr. 10 a 11.

DISKUZE A ZÁVĚR

Byly provedeny modelové simulace protipovodňové desky pro pružně pevnostní analýzy při hydrodynamickém zatížení. Byly testovány odlehčené desky z kompozitu vyztuženého skleněnými vlákny o tloušťkách 1,5, 2, 3 mm, tak aby bylo virtuálně simulováno, zda by bylo možné je použít do otvorů šíře od 400 mm do 1000 mm. Z výsledků simulace vyplývá, že pro hydrostatické zatížení je deska tloušťky 1,5 mm při zatížení významně deformovaná v porovnání s tloušťkou desky 3 mm. Kompozitní deska s tloušťkou 3 mm je vhodná pro hydrostatické zatížení, ale pro hydrodynamické zatížení je potřeba, aby měla objemové zaplnění vláken minimálně 0,35 (35%), lépe 0,4 (40%) pro vysokou tuhost a pevnost při nárazovém zatížení. Také s objemovým zaplněním, klesá napětí v konstrukci desky, čímž de docílí snížení zatížení rozpěrného mechanismu. Konstrukční řešení protipovodňové desky je vyvíjeno pro protipovodňovou ochranu s ohledem na minimalizaci hmotnosti a nákladovosti výroby, snadnou manipulovatelnost, jednoduchost a rychlost instalace. Modelování, testování modelů a reálné testy ve vodním zkušebním kanále byly podkladem pro studie kritických míst a optimalizování mechanismu rozepínání. Na základě získaných informací byla provedena optimalizace těsnění a uložení desky do úchytných profilů.

Poděkování

Výzkum prezentovaný v tomto článku byl částečně podpořen projektem Ministerstva vnitra VI20152018005: "Vývoj protipovodňových systémů pro zvýšení ochrany obyvatelstva a infrastruktury".

LITERATURA

[1] SRB, P. – PETRŮ, M. – KULHAVÝ, P. (2017): *Numerical simulation of flood barriers*, EPJ Web of Conferences, Volume 143, Article number 02115, DOI: 10.1051/epjconf/201714302115

[2] PETRŮ, M. – SRB, P. – ŠEVČÍK, L. – KULHAVÝ, P. (2017): *Testing and numerical analysis of mechanical stress mobile flood barriers*, EAN 2017 - 55th Conference on Experimental Stress Analysis 2017, p. 350-353.

[3] SIERATOVSKI, J. – PETRŮ, M. a další. (2017): *Výzkumná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2017*, Projekt MV č.: VI20152018005

[3] Approval Standard for Flood Abatement Equipment Class Number 2510 FM Approvals LLC *https://www.fmglobal.com/assets/pdf/fmapprovals/2510.pdf*

[4] HLADNÝ, J. – KRATKA, M. – KAŠPÁREK, L. (2004): *August 2002 Catastrophic Flood in the Czech Republic*.

[5] SILLEM, A. (2008): Feasibility study of a tire hydroplaning simulation in a finite element code using a coupled Eulerian-Lagrangian method, *https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:4a59282e-8da8-46c5-87be-0289fcecd26d*