

## УТИЦАЈ НИВОА ДОЊЕ ВОДЕ НА ХИДРОДИНАМИЧКЕ ПРИТИСКЕ У СЛАПИШТУ

Маријана Дамњановић<sup>1</sup>

Бојан Миловановић<sup>2</sup>

Предраг Војт<sup>3</sup>

Радомир Капор<sup>4</sup>

Владан Кузмановић<sup>5</sup>

Љубодраг Савић<sup>6</sup>

УДК: 532.535:532.572

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.096

**Резиме:** У раду се анализирају хидродинамичка оптерећења која делују на дно и зидове слапишта, на основу мерења притисака у изабраним тачкама на физичком хидрауличком моделу. За различите потопљености хидрауличног скока, мерено је на великом броју мерних места, тако да је добијена поуздана расподела хидродинамичког оптерећења.

**Кључне речи:** Слапиште, хидродинамичко оптерећење, флукуација притисака

### 1 УВОД

Слапиште (умирујући базен), у коме се ствара вртложни ваљак хидрауличног скока, је један од најчешће коришћених типова умиривача енергије. Хидраулички скок у слапишту представља нагли прелаз из бурног у мирно струјање воде, праћен знатним расипањем кинетичке енергије тока због образовања вртлога великих размера. Одлика овог процеса су и флукуације (пулзације) притисака, посебно изражене на плочама дна, бочним зидовима и осталим бетонским елементима базена. Ове флукуације су се показале као један од главних узрока хаварија на базенима (нпр. испливавање плоча), те је један од кључних корака у пројектовању управо одређивање максималне величине флукуационе силе ( $F'$ ). Стабилност целе грађевине у многоме зависи од могућности плоча да се супротставе флукуа-

<sup>1</sup> Маријана Дамњановић, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава - Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: [marijana.damnjanovic@jcerni.co.rs](mailto:marijana.damnjanovic@jcerni.co.rs)

<sup>2</sup> Бојан Миловановић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 556, е – mail: [hgvezbe@gmail.com](mailto:hgvezbe@gmail.com)

<sup>3</sup> Предраг Војт, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава-Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: [predrag.vojt@jcerni.co.rs](mailto:predrag.vojt@jcerni.co.rs)

<sup>4</sup> Проф. др Радомир Капор, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 530, е – mail: [rkapor@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:rkapor@hikom.grf.bg.ac.rs)

<sup>5</sup> Проф. др Владан Кузмановић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 556, е – mail: [vladak@grf.bg.ac.rs](mailto:vladak@grf.bg.ac.rs)

<sup>6</sup> Проф. др Љубодраг Савић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 556, е – mail: [ljsavic@grf.bg.ac.rs](mailto:ljsavic@grf.bg.ac.rs)

ционим оптерећењима, због чега се ови утицаји морају познавати и узети у обзир при конструктивном обликовању и димензионисању.

У оквиру рада анализирају се хидродинамичка оптерећења која делују на дно и зидове базена, а за различите потопљености хидрауличког скока.

## 2 ОПИС ХИДРАУЛИЧКОГ МОДЕЛА

Пројектована је брана од ваљаног бетона Бузина, у Алжиру. Предвиђена висина бране је 76,5 m. Прелив са пет преливних поља је практичног профила, ширине 81 m, димензионисан на проток повратног периода од 1000 година,  $Q_{0,1\%} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$ . Низводно од прелива је степенести брзоток, нагиба 9:8, са висином степеника од 90 cm. Брзоток је непризматичан и сужава се на ширину од 55 m на низводном крају. На брзоток се наставља бетонско слапиште које треба да обезбеди што мирнији ток у низводном кориту. У Заводу за хидраулику Института за водопривреду „Јарослав Черни“ изграђен је хидраулички модел бране Бузина, у размери за дужине 1:40 [4].

## 3 МЕРЕЊА НА ХИДРАУЛИЧКОМ МОДЕЛУ

Програм испитивања на хидрауличком моделу бране Бузина обухватио је мерења и анализу великог броја карактеристичних величина, а све ради што бољег сагледавања сложених услова течења који се могу јавити на објекту. Један од задатака је био и испитивање течења у слапишту и анализа хидродинамичких притисака на плоче дна, као и на зидове умирујућег базена. У оквиру овог рада анализираће се осетљивост притисака на промене нивоа доње воде. Мерено је на плочама дна и левом зиду слапишта, при константном протоку од  $1320 \text{ m}^3/\text{s}$  и дубинама доње воде  $Z_{DV 1-4} = \{31,70; 29,70; 27,70; 25,70\} \text{ m}$ . За потребе ових мерења, на слапишту и зидовима слапишта постављен је велики број мерних места (73), како би се добила што боља просторна представа о распореду притисака дуж карактеристичних пресека. Промена притиска на мерном месту претворена је давачем – сондом у промену електричног напона. На свим мерним местима мерено је истовремено, са временским кораком од 0,005 s и трајањем од 500 s.

## 4 ОСНОВЕ ЗА ПРОЦЕНУ ХИДРОДИНАМИЧКОГ ОПТЕРЕЋЕЊА

За процену карактеристика хидродинамичког оптерећења у слапишту примењен је стандардни поступак анализе, детаљно приказан у [1], [2] и [3].

Тренутна вредност притиска  $p$ , у некој тачки на контури слапишта, може се приказати као збир средње вредности притиска  $\bar{p}$  и вредности флукуационог одступања  $p'$ :

$$p = \bar{p} + p' \quad (1)$$

У том случају показатељ развијености флукуација је стандардна девијација, која се дефинише као квадратни корен из варијансе:

$$\sqrt{p'^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p'^2 dt} \quad (2)$$

При анализи притисака у слапишту битне су максималне  $p'_{\max}$  и минималне  $p'_{\min}$  вредности притиска. Ако се усвоји нормална (Гаусова) расподела вероватноће за флукуације притиска важи:

$$p'_{\max} = -p'_{\min} = K\sqrt{p'^2} \quad (3)$$

Вредност фактора  $K$  зависи од вероватноће појаве. Она, на пример, износи 3,09 за вероватноћу 99,9%, што значи да ће екстремни притисак бити надмашен само за 0,1% времена.

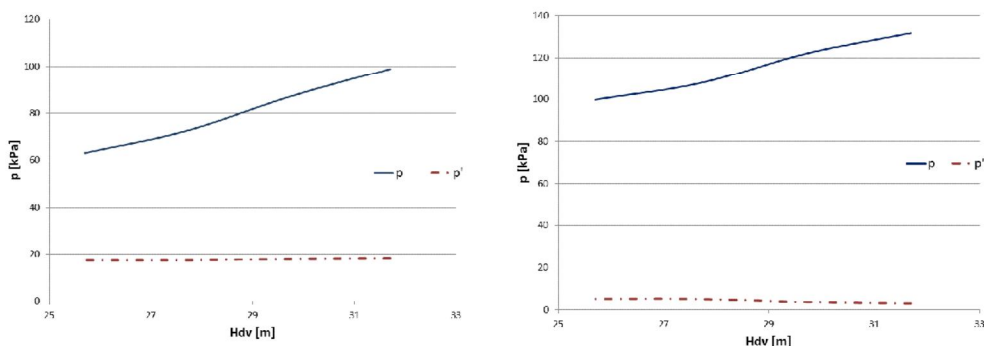
У овом раду вредности флукуација притиска су представљене преко стандардне девијације.

## 5 РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Мерењима су регистровани средњи притисци и флукуације притисака у слапишту, за максималан протицај преко прелива, а при различитим нивоима доње воде. Измерене величине су статистички обрађене.

Анализом добијених резултата у појединачним мерним местима (непосредно иза брзотока уз зид и на крају слапишта на средини) може се закључити да средњи притисци расту са повећањем нивоа доње воде, што је и очекивано (слика 1). Са друге стране, вредности флукуација највише зависе од положаја мерног места.

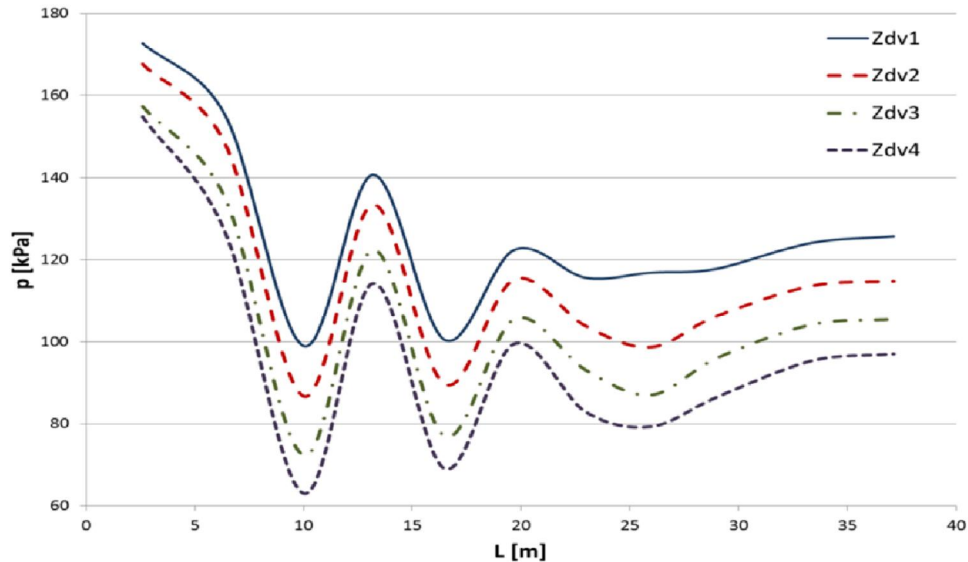
Промене средњих вредности притисака и флукуација на зидовима слапишта имају исти карактер као и на плочама.



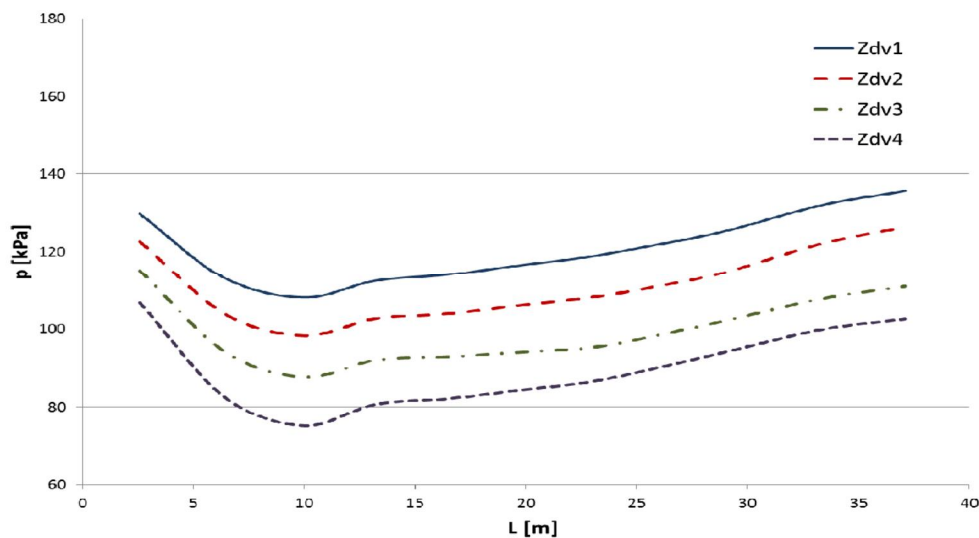
Слика 1. Промена средњих притисака и флукуација на мерном месту непосредно иза брзотока (лево) и на излазу из слапишта (десно)

Ако се посматрају промене средњег притиска дуж слапишта (слике 2 и 3), уочава се другачији карактер промена на средини од промена уз зидове, што је последица

вртложних струјања, с обзиром да се уз зидове стварају вртлози са вертикалном осовином. Наиме, непризматичност брзотока изазива неравномеран распоред јединичног протока на низводном крају брзотока. То је узрок просторног струјања у умирујућем базену, које је више изражено уз зидове него по средини. У целом базену средњи притисци расту са повећањем нивоа доње воде.

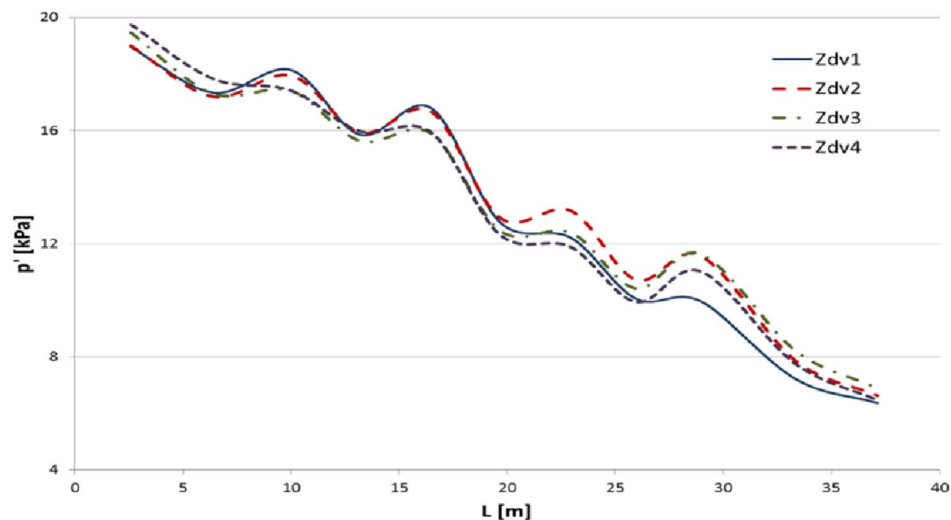


Слика 2. Промена средњих притисака дуж слапишта, пресек уз леви зид слапишта

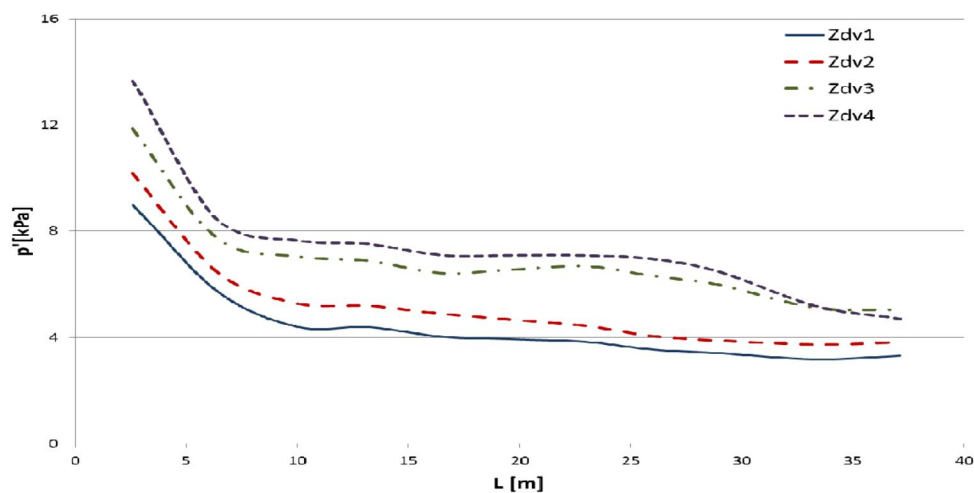


Слика 3. Промена средњих притисака дуж слапишта, пресек по средини слапишта

Вредности флукуација притисака дуж тока опадају (слике 4 и 5), као и са повећањем нивоа доње воде. Флукуације су значајно веће уз зидове него по средини, као последица поменутог просторног струјања. На низводном крају умирујућег базена ове вредности се приближавају.



Слика 4. Промена флукуација притисака дуж слапишта, пресек уз леви зид слапишта



Слика 5. Промена флукуација притисака дуж слапишта, пресек по средини слапишта

## 6 ЗАКЉУЧАК

На основу хидрауличких моделских испитивања слапишта бране Бузина на осетљивост притисака од промена нивоа доње воде, изведени су следећи закључци:

- Вредности средњих притисака и флукуација се мењају по простору.
- Зависност вредности средњег притиска од нивоа доње воде истог је карактера за дно и зидове.
- Струјање у слапишту је просторно, што је последица сужавања брзотока.
- Средња вредност притисака расте са повећањем нивоа доње воде.
- Вредности флукуације притисака су највеће непосредно иза удара млаза који излази из брзотока и смањују се низводно. Средња вредност притисака има обрнут карактер, расте од узводног ка низводном крају слапишта.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је подржан од стране Министарства просвете и науке Републике Србије у оквиру пројекта ТР 37009.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хајдин, Г., *Прилози за процену флукуационог оптерећења на граничне површине флуидне струје – на основу измерених притисака у неколико тачака површине*, VIII саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања, Порторож, **1982**.
- [2] Мушкатиновић, Ј., Јовић, С., *Анализа хидродинамичког оптерећења слапишта преливне бране*, VIII саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања, Порторож, **1982**.
- [3] Савић, Љ., *Увод у хидротехничке грађевине*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, **2009**.
- [4] Старинац, Д., *Хидрауличка моделска испитивања бране Бузина – Коначни извештај*, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, **2013**.

## TAILWATER INFLUENCE ON THE HYDRODYNAMIC PRESSURES IN THE STILLING BASIN

**Summary:** *This paper analyzes the hydrodynamic loads acting on the bottom and walls of a stilling basin, based on the pressure measurements at the selected points of a scale model. For different degrees of the hydraulic jump immersion, the hydrodynamic pressures were measured at a large number of points, providing the reliable distribution of hydrodynamic loads.*

**Keywords:** *Stilling basin, hydrodynamic load, pressures fluctuations*