

ЗАВИСНОСТ ХИДРОДИНАМИЧКОГ ОПТЕРЕЋЕЊА СЛАПИШТА ОД ПРОТОКА И НИВОА ДОЊЕ ВОДЕ

Бојан Миловановић¹

Будо Зиндовић²

Иван Стојнић³

Предраг Војт⁴

Радомир Капор⁵

Љубодраг Савић⁶

Владан Кузмановић⁷

УДК: 532.51

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.067

Резиме: У раду се анализирају хидродинамичка оптерећења која делују на дно и зидове слапишта степенастих прелива код гравитационих бетонских брана. За потребе истраживања направљен је физички хидраулички модел и одређена су карактеристична мерна места. За различите протоке и нивое доње воде, извршена су опсежна мерења на основу којих је добијена поуздана расподела хидродинамичког оптерећења у слапишту.

Кључне речи: слапиште, хидродинамичко оптерећење, флукуација притисака

1. УВОД

Умирујући базен (слапиште) је један од најчешће коришћених типова умиривача енергије код бетонских брана са степенастим брзотоком. У њему се јавља вртложни ваљак хидрауличког скока, који представља прелаз из бурног у миран режим течења у коме долази до великог расипања кинетичке енергије тока. Као последица снажног вртложног кретања настају флукуације (пулзације) притисака, које дају динамичка оптерећења на дно, бочне зидове и остале бетонске делове

¹ Бојан Миловановић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 556, е – mail: bojanmil@open.telekom.rs

² Будо Зиндовић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 530, е – mail: bzindovic@hikom.grf.bg.ac.rs

³ Иван Стојнић, дипл. инж. грађ., е – mail: istojnic@gmail.com

⁴ Предраг Војт, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава-Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: predrag.vojtt@jcerni.co.rs

⁵ 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

⁶ 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

⁷ 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

базена [1]. Стабилност целе грађевине у великој мери зависи од могућности плоча и зидова да се супротставе флукуационим оптерећењима. Због тога 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, при различитим протоцима и нивоима доње воде, тј. различитим условима потопљености хидрауличког скока.

2. ОПИС ХИДРАУЛИЧКОГ МОДЕЛА

Димензије модела изабране су у складу са техничким условима хидрауличке лабораторије Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Модел је предвиђен за испитивање течења у степенастом брзотоку и умирујућем базену, за различите геометријске односе. У овом раду приказани су резултати испитивања за први анализирани случај: најнижа висина бране, највећи степен сужења и најмања висина степеника. Хидраулички модел обухвата резервоар, прелив, степенаст брзоток и умирујући базен. Капацитет резервоара износи $4,25 \text{ m}^3$. На средини резервоара постављен је умиривач, како би се добило што униформније струјање у зони прелива. Прелив је слободни чеони, практичног профила и састоји се од једног преливног поља ширине $98,5 \text{ cm}$. Прелив је димензионисан на проток од 100 l/s . Брзоток је степенаст и непризматичан. Подужни нагиб дна брзотока је $1:1$. Ширина на улазу у брзоток је $98,5 \text{ cm}$, док је излазна ширина $45,0 \text{ cm}$. Брзоток се састоји од 20 степеника, при чему су прва четири степеника висине $2,25 \text{ cm}$, док су преостали висине $4,5 \text{ cm}$. Умирујући базен је призматичан, ширине $45,0 \text{ cm}$ и дужине $250,0 \text{ cm}$. Контрола низводног граничног услова врши се помоћу дрвених летви, постављених у жлебове.

3. МЕРЕЊА НА ХИДРАУЛИЧКОМ МОДЕЛУ

Програм испитивања на моделу обухватио је мерења и анализу карактеристичних величина ради што бољег сагледавања сложених услова течења. Притисци на моделу мерени су на дну и на зидовима умирујућег базена. Успостављена су 24 мерна места и то 12 на плочи дна базена и 12 на бочним зидовима. Притисци су мерени за различите вредности протока ($Q_1=20 \text{ l/s}$, $Q_2=30 \text{ l/s}$ и $Q_3=40 \text{ l/s}$) и различите дубине доње воде ($h_{DV,1}=21 \text{ cm}$, $h_{DV,2}=23 \text{ cm}$, $h_{DV,3}=25 \text{ cm}$ и $h_{DV,4}=27 \text{ cm}$). За мерење притиска коришћене су сонде за притисак произвођача „DRUCK“, са тачношћу од $\pm 0,1\%$. Свако мерење је трајало 120 s , док је учесталост узорковања износила 200 Hz . За синхрону аквизицију података коришћени су аквизициони уређаји „НВМ Quantumx“. Мерења су вршена на целој ширини плоче дна и на десном зиду слапишта.

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 може се приказати као збир средње вредности притиска \bar{p} и његове флукуације p' :

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

Средња вредност притиска \bar{p} дефинише се као:

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot dt, \quad (2)$$

где је T укупно време узорковања.

Показатељ развијености флукуација је средње квадратно одступање σ које је

$$\text{одређено као: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (p - \bar{p})^2 \cdot dt}, \quad (3)$$

и представља квадратни корен из варијансе:

$$\sigma = \sqrt{p'^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p'^2 \cdot dt}. \quad (4)$$

За практичне потребе одређивања пулзационог притисака меродавни подаци су највећа и најмања вредност притиска, а одликују се изразито малим вероватноћама појаве. Велики број истраживања показао је да се функција густине вероватноће за притиске може добро апроксимирати нормалном расподелом:

$$f_n\left(\frac{p}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{p/\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{p^2}{\sigma^2}} \cdot d\left(\frac{p}{\sigma}\right). \quad (7)$$

Са усвојеном нормалном расподелом, максималне и минималне вредности пулзације притиска могу се дефинисати као:

$$p'_{max} = -p'_{min} = k \cdot \sqrt{p'^2}, \quad (8)$$

где је k коефицијент који зависи од вероватноће појаве. Обично се усваја $k=3,2$ за притисак вероватноће појаве 99,9%, што значи да ће овако добијени притисак бити превазиђен само у 0,1% времена.

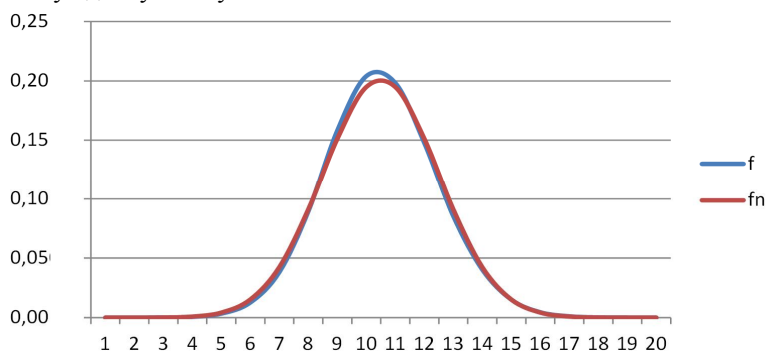
5. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Мерењима су регистровани средњи притисци и флукуације притисака у слапишту, за усвојене протоке преко прелива, а при различитим нивоима доње воде.

За сваку мерну тачку при анализи коришћено је 24000 података, који су подељени у 20 класа. Показало се да се сви подаци мерења могу апроксимирати нормалном

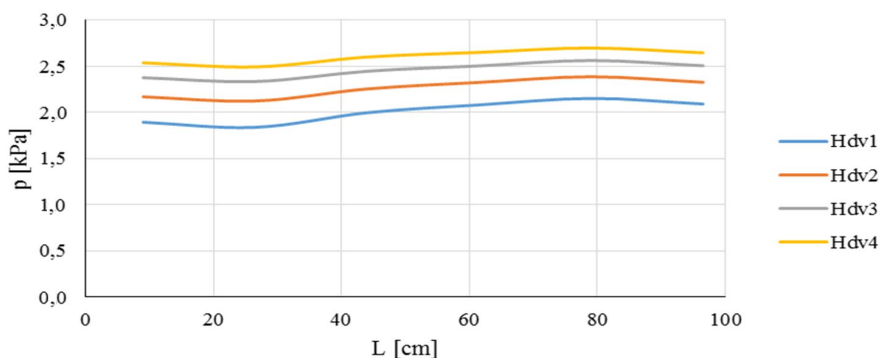
расподелом, при чему се слагања емпиријске са нормалном расподелом крећу у распону од 77% до 96% (слика 1).

Иако не постоји подударање измерених вредности за симетрична мерна места у истом тренутку, на основу резултата статистичке обраде може се закључити да је расподела, како средњих притисака тако и стандардне девијације притисака, симетрична у односу на осу слапишта.

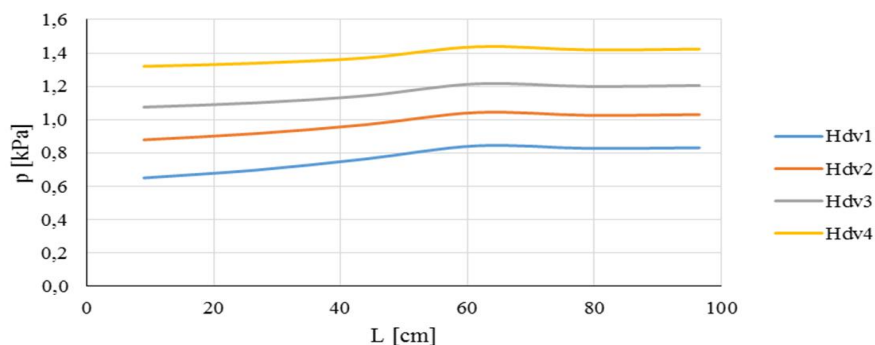


Слика 1. Слагање емпиријске расподеле притисака f са нормалном расподелом f_n

Средње вредности притисака на дну слапишта су значајно веће од средњих вредности притисака на зидовима. Стандардне девијације притиска на дну су истог реда величине као и на зидовима слапишта. Са повећењем нивоа доње воде, средњи притисци на плочи и зидовима умирујућег базена расту.

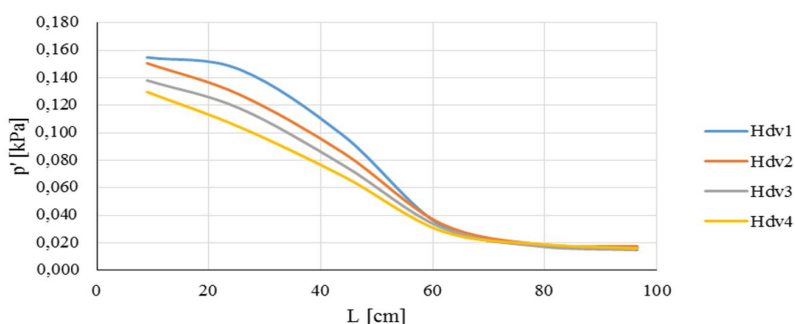


Слика 2. Расподела средњих притисака на плочу дуж слапишта у зависности од нивоа доње воде

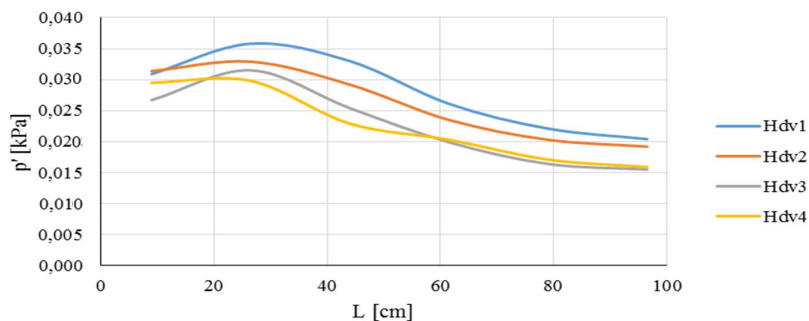


Слика 3. Расподела средњих притисака на зид дуж слапишта у зависности од нивоа доње воде

Такође се види да је стандардна девијација притиска углавном пропорционална средњој вредности притиска. Вредности стандардних девијација притисака опадају дуж тока, као и са повећањем нивоа доње воде.

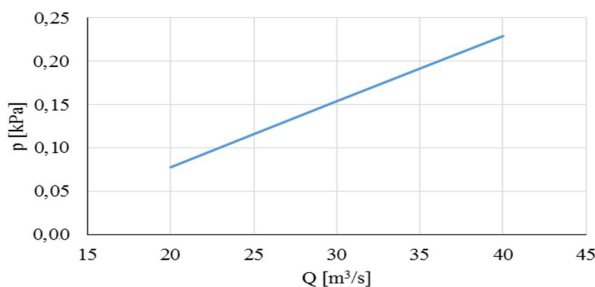


Слика 4. Промена стандардних девијација притисака на плочу дуж слапишта у зависности од нивоа доње воде



Слика 5. Промена стандардних девијација притисака на зид дуж слапишта, у зависности од нивоа доње воде

За свако мерно место и при свим нивоима доње воде, анализирана је и зависности стандардних девијација притисака од протока. На слици 6. приказана је зависност стандардних девијација притисака од протицаја на мерном месту у дну, на почетку слапишта. Са дијаграма се може закључити да постоји готово линеарна зависност стандардних девијација притисака од протока. Иста зависност се добија и за остала мерна места, како на плочи, тако и на зиду слапишта.



Слика 6. Линеарна зависност стандардних девијација притисака од протока, за мерно место у дну на почетку слапишта

6. ЗАКЉУЧАК

На основу хидрауличких моделских испитивања слапишта на осетљивост хидродинамичких притисака од промене протока и нивоа доње воде, изведени су следећи закључци:

- Вредности средњих притисака и флукуација су симетрично расподељени у односу на подужну осу слапишта.
- Средњи притисак расте са дужином доње воде како на дну, тако и на зидовима слапишта.
- Средња вредност притисака расте, док вредности флукуација опадају са повећањем нивоа доње воде.
- Вредности флукуације притисака су највеће на самом почетку слапишта и смањују се низводно. Средња вредност притисака расте од узводног ка низводном крају слапишта.
- На сваком од мерних места добијена је готово линеарна веза стандардне девијације притиска (флукуација) и протока.

ЗАХВАЛНОСТ

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Савић, Љ., *Увод у хидротехничке грађевине*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, **2009**.
- [2] 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**.
- [3] Мушкатиновић, Ј., Јовић, С., *Анализа хидродинамичког оптерећења слапишта преливне бране*, VIII саветовање Југословенског друштва за хидрауличка истраживања, Порторож, **1982**.

DISTRIBUTION OF HYDRODYNAMIC LOAD 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*