

## ХИДРОДИНАМИЧКИ УТИЦАЈИ НА ЕВАКУАЦИОНЕ ОБЈЕКТЕ ХИДРОТЕХНИЧКИХ ГРАЂЕВИНА

Бојан МИЛОВАНОВИЋ, Владан КУЗМАНОВИЋ, Љубодраг САВИЋ  
Грађевински факултет у Београду

### РЕЗИМЕ

У раду се приказују хидродинамички утицаји на плоче дна и зидове умирујућих базена иза степенстих брзотока, добијени на основу мерења притисака у изабраним тачкама на физичком моделу. За различите протоке, потопљености хидрауличког скока, димензије степеника и углове сужења степенстог брзотока, извршена су мерења на великом броју мерних места, тако да је добијена поуздана расподела хидродинамичког оптерећења, а тиме и поуздана процена утицаја.

**Кључне речи:** умирујући базен, хидродинамичко оптерећење, пулзације притисака

### 1. УВОД

Најчешће коришћен тип умиривача енергије код брана са степенстим брзотоком је умирујући базен. У њему се јавља вртложни ваљак хидрауличког скока у коме долази до расипања кинетичке енергије тока. Последица овако снажног вртложног кретања је појава флукуација притисака, које представљају значајна оптерећења на дно и зидове базена.

Неопходно је обезбедити да се плоче у дну и зидови слапишта могу супротставити флукуационим оптерећењима, те се ови утицаји морају узети у обзир при конструктивном обликовању и димензионисању.

### 2. ДИМЕНЗИОНА АНАЛИЗА

Утицаји који се јављају у умирујућем базену зависе од великог броја величина. Једне се односе на геометријске карактеристике објекта, друге на услове течења, а треће на физичке особине флуида. Геометријски услови су дати преко висине степеника у брзотоку,  $h_c$ , и угла сужења брзотока,  $\theta$ .

Услови течења у базену су дефинисани, дубином и брзином у суженом пресеку,  $h_l$  и  $v_l$  и дубином доње воде,  $h_{дв}$ , односно одговарајућом потопљеношћу хидрауличког скока,  $\Omega_{II}$ . Величине које карактеришу физичке особине флуида су густина воде,  $\rho_w$ , динамичка вискозност воде,  $\mu_w$ , модул стишљивости воде,  $E_w$ , и површински напон између воде и ваздуха,  $\tau_w$ . Поред тога, у анализу је уврштено и гравитационо убрзање,  $g$ . Када се све наведене величине узму у разматрање, добије се да хидродинамички утицаји у умирујућем базену зависе од следећих димензионалних величина:

$$Y = f(h_c, \theta, h_l, v_l, \Omega_{II}, \rho_w, \mu_w, E_w, \tau_w, g), \quad (1)$$

где је променљивом "У" симболички представљен утицај на неки од конструктивних елемената умирујућег базена. Ако се као основне величине усвоје  $h_l$ ,  $v_l$  и  $\rho_w$ , преласком на бездимензиони облик једначина (1) постаје:

$$Y' = f\left(\frac{h_c}{h_l}, \theta, \Omega_{II}, Re_l, Ca_l, We_l, Fr_l\right). \quad (2)$$

У овом истраживању бездимензионе величине Рејнолдсов,  $Re_l$ , и Кошијев,  $Ca_l$ , број немају битан утицај, због изразито развијене турбуленције и занемарљиве стишљивости воде. Утицај Веберовог броја,  $We_l$ , иако значајан за течење у умирујућем базену, такође није обухваћен анализом, првенствено због малих концентрација увученог ваздуха уз контуре објекта где су притисци мерени. Због тога једначина (2) практично постаје:

$$Y' = f\left(\frac{h_c}{h_l}, \theta, \Omega_{II}, Fr_l\right), \quad (3)$$

где први члан једначине на десној страни претставља релативну "храпавост" брзотока, која се може обележити са  $\chi_p$ :

$$Y' = f(\chi_p, \theta, \Omega_{II}, Fr_I) \quad (4)$$

У једначини (4) први, други и четврти члан описују течење на брзотоку, односно "узводне услове", а трећи члан описује доњу воду односно "низводни услов". На основу тога следи да се утицаји на дно и зидове умирујућег базена, могу анализирати помоћу патраметара: "храпавости" брзотока,  $\chi_p$ , угла сужења брзотока,  $\theta$ , Фрудовог броја,  $Fr_I$  и потољности хидрауличког скока,  $\Omega_{II}$ .

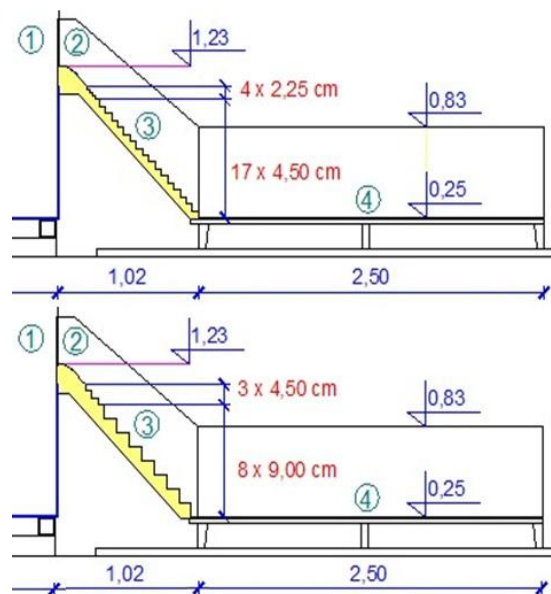
### 3. ОПИС ФИЗИЧКИХ МОДЕЛА

За испитивање хидродинамичких притисака у умирујућем базену коришћен је физички модел (слика 1) на коме су мењане поједине геометријске карактеристике. Овакав геометријски променљив физички модел омогућио је испитивање хидродинамичког оптерећења, како при различитим хидрауличким условима (проток и дубина доње воде), тако и при различитим висинама степеника и степену сужења брзотока [1].



Слика 1. Физички модел

Моделска испитивања су вршена у Хидрауличкој лабораторији Института за хидротехнику и водноеколошко инжењерство, који је део Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Физички модел (слика 2) обухвата резервоар, прелив, степенести брзоток и умирујући базен. Капацитет резервоара износи  $4,25 \text{ m}^3$ . На средини резервоара постављен је умиривач како би се обезбедио равномеран дотицај на прелив.



Слика 2. Попречни пресек кроз физички модел  
а) мањи степеници, б) већи степеници

Модел је димензионисан за максималан проток  $100 \text{ l/s}$ , колико је допуштала инсталација у хидрауличкој лабораторији.

Узводни резервоар и слободни прелив практичног профила су непроменљиви делови експерименталне инсталације. Степенести брзоток је током испитивања имао две различите диспозиције висина степеника у брзотоку (слика 2):

- а. Мањи степеници ( $h_{cy} = 2,25 \text{ cm}$  и  $h_{cn} = 4,5 \text{ cm}$ )
- б. Већи степеници ( $h_{cy} = 4,5 \text{ cm}$  и  $h_{cn} = 9 \text{ cm}$ ),

и четири диспозиције са различитим угловима сужења (слика 3):

- 1. Без сужења ( $B_\delta = 98 + 2 \text{ cm}$ )
- 2. Мали степен сужења ( $B_\delta = 78 + 2 \text{ cm}$ )
- 3. Средњи степен сужења ( $B_\delta = 58 + 2 \text{ cm}$ )
- 4. Велики степен сужења ( $B_\delta = 38 + 2 \text{ cm}$ ),

где је  $B_\delta$  ширина у најнизводнијем пресеку брзотока. Ове диспозиције су међусобно комбиноване, тако да је укупно разматрано осам различитих диспозиција степенастог брзотока и умирујућег базена. Сагласно са различитим степенима сужења брзотока и умирујући базен је имао четири диспозиције са различитим ширинама (слика 3).

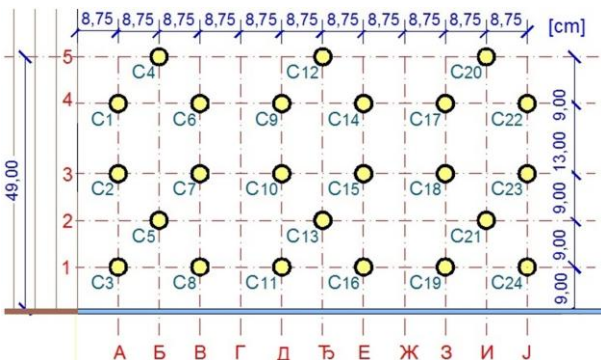


Слика 3. Основа физичкичког модела

Умирујући базен је призматичан, ширине која је једнака ширини низводног краја брзотока. Пуна дужина умирујућег базена је 250 cm, али су утицаји рачунати на узводном делу, дужине једнаке 5 других спрегнутих дубина при одговарајућем експерименту ( $L_c = 5 \cdot h_2$ ), колико се према препорукама усваја дужина овог типа слапишта. Контрола низводног граничног услова врши се помоћу дрвених летви, постављених у посебне жљебове.

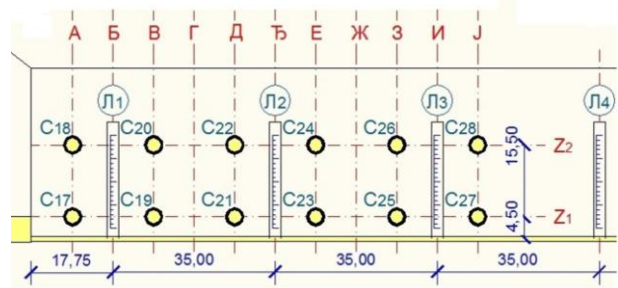
#### 4. МЕРЕЊА НА ФИЗИЧКОМ МОДЕЛУ

Програм испитивања на моделу обухватио је мерења и анализу карактеристичних величина ради што бољег сагледавања сложених услова течења. Број мерних места у дну се мењао зависно од сужења брзотока, односно од ширине умирујућег базена, од 8 за најужи, до 24 за најшири умирујући базен (слика 4).



Слика 4. Мерна места у дну на физичком моделу са најширим умирујућим базеном

Притисци на зиду мерени су у два нивоа на по 6 мерних места (слика 5).



Слика 5. Мерна места на зиду физичког модела

Притисци су мерени за сваку геометријску диспозицију, 4 различита степена сужења брзотока (ознака 0,1,2 и 3), са мањим и већим степеницима (ознака M и V), три различита протока  $Q_1 = 20$  l/s,  $Q_2 = 40$  l/s и  $Q_3 = 60$  l/s (ознака 20, 40 и 60) и различитим дубинама доње воде (ознака је дубина доње воде у cm), односно различитим потопљено-стима скока. За мерење притиска коришћене су сонде за притисак произвођача „DRUCK“, са тачношћу од  $\pm 0,1$  %. Предходним анализама које су спроведене на резултатима узорковања утврђено је оптимално трајање мерења од 120 секунди, и учесталост узорковања од 200 Hz. За синхрону аквизицију података коришћени су аквизициони уређаји „НВМ Quantumx“.

#### 5. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ЗА ПРОРАЧУН

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

$$p = \bar{p} + p' \tag{5}$$

Просечна вредност притиска дефинише се као:

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot dt \tag{6}$$

где је T укупно време посматрања [3].

Показатељ развијености флукуација је средње квадратно одступање  $\sigma$  [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (p - \bar{p})^2 \cdot dt} \tag{7}$$

и представља квадратни корен из варијансе:

$$\sigma = \sqrt{p'^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p'^2 \cdot dt} \quad (8)$$

За димензионисања плоча у дну умирујућег базена, меродавна је вертикална сила:

$$V_i = \int_0^{A_i} p_i \cdot dA = \int_0^{A_i} \bar{p}_i \cdot dA + \int_0^{A_i} p'_i \cdot dA = \bar{V}_i + V'_i \quad (9)$$

Утицаји су раздвојени на утицаје услед средњег притиска,  $\bar{V}$ , и утицаје услед флукуација притиска,  $V'$ . Због неједновремене појаве екстремних утицаја по целој разматраној области струјања (што је особеност флукуационог оптерећења), потребно је урадити корелациону анализу узоркованих притисака на посматраним плочама. За то је коришћен поступак директне статистичке анализе (сортирања тренутних вредности укупних вертикалних сила на посматрану плочу у моменту узорковања  $j$ ,  $V'_{i,j}$ ), као и стандардни, Хајдинов поступак, детаљно приказан у [4]. Овај поступак под-разумева претпоставку да се функција густине вероватноће узоркованих података може добро апроксимирати нормалном расподелом:

$$f\left(\frac{p}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{p/\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{p^2}{\sigma^2}} \cdot d\left(\frac{p}{\sigma}\right) \quad (10)$$

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

$$p'_{max} = -p'_{min} = k \cdot \sqrt{p'^2} \quad (11)$$

где је коефицијент који зависи од вероватноће појаве, и за 99,9 % износи 3,2.

Поређење добијених резултата, показало је слагање у границама тачности коришћене мерне опреме.

За димензионисања зидова умирујућег базена, потребно је одредити екстремне утицаје у уклештењу, екстремну смичућу силу (по дужном метру):

$$H_i = \int_0^{h_3} p_i(z) \cdot dz = \int_0^{h_3} \bar{p}_i(z) \cdot dz + \int_0^{h_3} p'_i(z) \cdot dz = \bar{H}_i + H'_i \quad (12)$$

и екстремни моменат (по дужном метру):

$$M_i = \int_0^{h_3} p_i(z) \cdot z \cdot dz = \int_0^{h_3} \bar{p}_i(z) \cdot z \cdot dz + \int_0^{h_3} p'_i(z) \cdot z \cdot dz = \bar{M}_i + M'_i \quad (13)$$

који се јављају у било ком од његових попречних пресека  $i$  ( $h_3$  је висина зида). Утицаји су раздвојени на утицаје, услед средњег притиска  $\bar{H}_i$  и  $\bar{M}_i$ , и

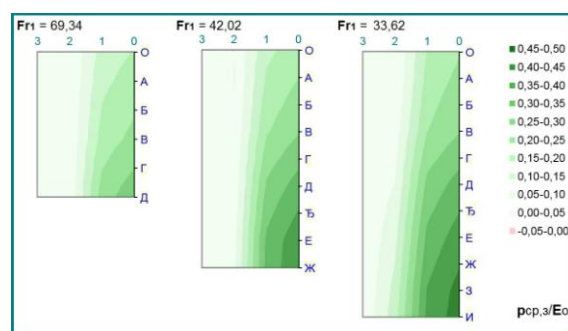
услед флукуација притиска  $H'_i$  и  $M'_i$ . Како флукуационо оптерећење карактерише неједновремена појава екстремних утицаја, то је захтевало посматрање одговарајућих утицаја у уклештењу, за све попречне пресеке са мерним сондама, при сваком узорковању притисака. На тај начин су добијени низови података смичућих сила  $H'_{i,j}$  и момената у уклештењу  $M'_{i,j}$  по попречним пресецима  $i$  у тренутку узорковања  $j$ .

Сортирањем добијених низова вредности смичућих сила  $H_{i,j}$  и момената у уклештењу  $M_{i,j}$ , за сваки од посматраних попречних пресека  $i$ , одређене су граничне вредности  $H'_{i,max}$  и  $M'_{i,max}$ , које су веће од 99,9 % чланова низа. За димензионисање зида базена узимају се утицаји добијени у најоптерећенијем пресеку.

## 6. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Мерењима су регистровани средњи притисци и флукуације притисака у дну и на зиду слапишта, за различите углове сужења и висине степеника на брзотоку, усвојене протоке (Фрудове бројеве) и нивое доње воде (потопљености хидрауличког скока). Измерене вредности су статистички обрађене и приказане као бездимензиони однос измереног притиска (висина воденог стуба), и релативе енергетске коте (у односу на дно базена) на улазу у умирујући базен.

Да би испитала зависност притисака од параметара одређених димензионом анализом, изабрани су добијени дијаграми при промени једног од параметара, док су остали држани константним.

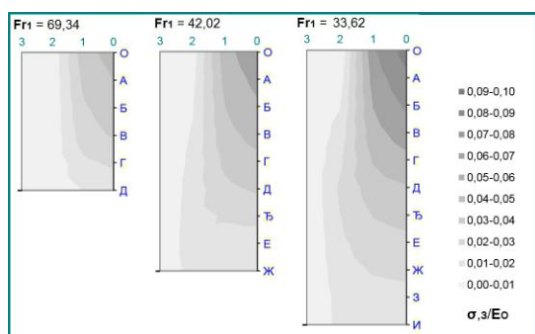


Слика 6. Промена средњих притисака на зиду базена при промени протока (Фрудовог броја)

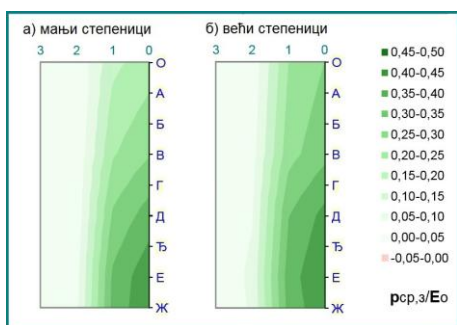
Промена средњих притисака у базену при промени протока (Фрудовог броја  $Fr_1$ ) може се уочити на делу испред суженог пресека (слика 6), а низводно

је слабо изражена. Пресек зида базена који је максимално оптерећен средњим притиском се налази на излазу из базена.

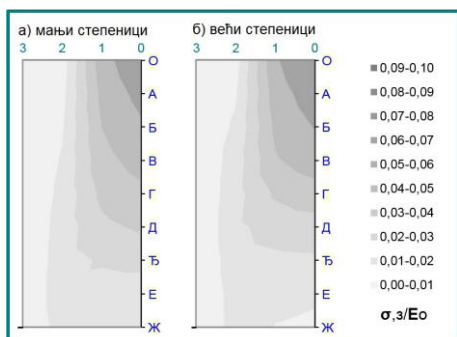
Флукуациони притисци у базену су знатно мањи од средњих притисака, а њихове максималне вредности се јављају испред суженог пресека и у том делу се повећавају са повећањем протока. Максималне вредности флукуационих притисака износиле су око 20%, максималних средњих притисака (слика 7).



Слика 7. Промена пулзација на зиду базена при промени протока (Фрудовога броја)



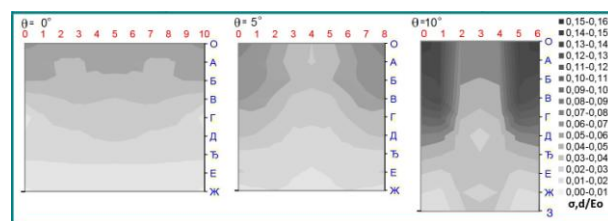
Слика 8. Промена средњих притисака на зид базена при промени величине степеника



Слика 9. Промена пулзација на зид базена при промени величине степеника

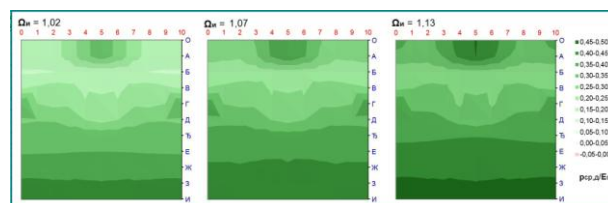
Повећањем висине степеника на брзотоку, смањена је енергија,  $E_0$ , којом вода улази у умирујући базен и преусмерен правца тока услед чега долази до повећања утицаја, и то израженије услед средњих притисака (слика 8), него услед пулзација (слика 9).

При порасту угла сужења брзотока, сужава се и умирујући базен, што има велики утицај на прераспodelу пулзација у умирујућем базену. Око подужне осе базена оне слабе, али се према зиду базена знатно увећавају и то све израженије са порастом степена сужења (слика 10). У случају превеликог сужења брзотока, постоји опасност од појаве потпритисака на плочама које се налазе у суженом пресеку.

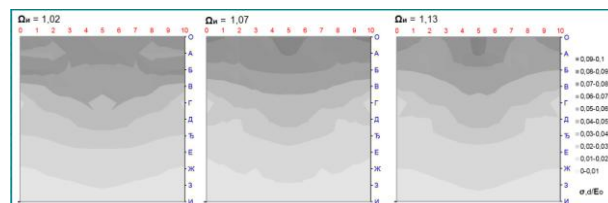


Слика 10. Промена пулзација у дну базена при промени угла сужења брзотока

Протопљеност хидрауличког скока је једини низводни параметар који утиче на оптерећења у умирујућем базену. Она значајно утиче и на средње притиске (слика 10), и на пулзације (слика 12), првенствено на део низводно од суженог пресека, који је и доминантан део умирујућег базена.



Слика 11. Промена средњих притисака у дну базена при промени потопљености хидрауличког скока



Слика 12. Промена пулзација у дну базена при промени потопљености хидрауличког скока

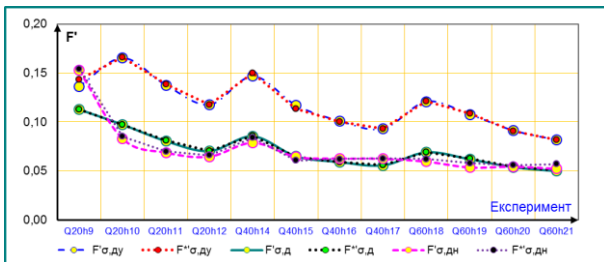
### 7. МЕРОДАВНИ УТИЦАЈИ

При димензионисању плоча у дну умирујућег базена, меродаван је услов сигурности против испливавања на који доминантно утичу: сопствена тежина плоче, узгон и вертикална сила воде. Да би се лакше проценила хидродинамичка сила, она је посматрана као збир две силе, услед средњих притисака и услед пулзација. Ове силе су посматране као бездимензионе величине у односу на вертикалну хидростатичку силу када је базен напуњен доњом водом:

$$F' = \frac{F}{V_0} = \frac{F}{h_{ДВ} \cdot \gamma_w \cdot A_i}, \quad (12)$$

где је  $h_{ДВ}$  дубина воде у слапишту, а  $A_i$  површина посматране плоче.

Силе услед пулзација су срачунате на два независна начина, поступком директне статистичке анализе [2] и стандардним Хајдиновим поступком [4]. Слагање резултата (слика 13) је било у преко 95% случајева и пратило је слагање измерених притисака са нормалном расподелом.



Слика 13. Слагање резултата директне статистичке анализе и Хајдиновог поступка

При димензионисању зидова умирујућег базена, меродавни су хоризонтална сила, и моменат (по дужном метру) у уклештењу зида за најоптерећеније попречне пресеке [2]. Да би се проценили ови утицаји посматране су функције хоризонталне силе и момента сила као бездимензионе величине у односу на одговарајуће утицаје када је базен напуњен доњом водом:

$$H' = \frac{H}{H_0} = \frac{2 \cdot H}{h_{ДВ}^2 \cdot \gamma_w}, \quad (13)$$

$$M' = \frac{M}{M_0} = \frac{6 \cdot M}{h_{ДВ}^3 \cdot \gamma_w}, \quad (14)$$

где је  $h_{ДВ}$  дубина воде у слапишту које је напуњено доњом водом. У свим посматраним експериментима, максимални утицаји од средњих притисака су се

налазили на крају умирујућег базена, а од пулзација у суженом пресеку.

Регресионом анализом одређени су емпиријски изрази за процену вертикалне силе од средњих притисака и пулзација на плочи у дну слапишта, као и за процену максималних утицаја у уклештењу зида умирујућег базена. Занемаривањем утицаја при промени Фрудовога броја, добијена је грешка регресије од око 10%.

Вертикална сила од средњих притисака на плочу у бочној половини дна умирујућег базена, на домену:  $\Omega_{II} = (1,0 \div 1,3)$  и  $Fr_I = (20 \div 50)$ , је:

$$F'_{cp} = C_o \cdot C_{\chi_o} \cdot C_{\omega} \cdot C_{\chi\omega} + (\Omega_{II} - \Omega_{I\omega}) \cdot C_{\Omega} \cdot C_{\chi} \cdot C_{\theta},$$

где су:

$$\begin{aligned} C_{\chi_o} &= 1 + 0,134 \cdot \frac{(\chi - 0,18)}{0,18}, \\ C_{\omega} &= 1 + 0,081 \cdot e^{-|\theta - 5|}, \\ C_{\chi\omega} &= 1 + \frac{(3 \cdot 0,18 - 2 \cdot \chi)}{0,18} \cdot 0,093 \cdot e^{-|\theta - 5|}, \\ \Omega_{I\omega} &= 1,112, \\ C_{\Omega} &= 0,873, \\ C_{\chi} &= 1 + 0,406 \cdot \frac{(\chi - 0,18)}{0,18}, \\ C_{\theta} &= 1 + 0,478 \cdot e^{-|\theta - 5|} - \frac{0,573 \cdot \theta^{0,25}}{2}. \end{aligned}$$

Вертикална сила од пулзација на плочу у бочној половини дна умирујућег базена, на домену:  $\Omega_{II} = (1,0 \div 1,3)$  и  $Fr_I = (20 \div 100)$ , је:

$$F'_{\sigma} = C_o \cdot C_{\chi_o} \cdot C_{\omega} \cdot C_{\chi\omega} - \frac{(\Omega_{II} - \Omega_{I\omega})}{\Omega_{II}^2} \cdot C_{\Omega} \cdot C_{\theta},$$

где су:

$$\begin{aligned} C_o &= 0,07, \\ C_{\chi_o} &= 1 - 0,153 \cdot \frac{(\chi - 0,18)}{0,18}, \\ C_{\omega} &= 1 + 0,045 \cdot e^{-\frac{|\theta - 9,927|}{90}}, \\ C_{\chi\omega} &= 1 - \frac{(3 \cdot 0,18 - 2 \cdot \chi)}{0,18} \cdot 0,005 \cdot e^{-|\theta - 5|}, \\ \Omega_{I\omega} &= 1,112, \\ C_{\Omega} &= 0,167, \\ C_{\theta} &= 1 + 0,499 \cdot e^{-|\theta - 9,927|} - 0,48 \cdot e^{-\frac{|\theta - 5|}{0,1}}. \end{aligned}$$

Хоризонтална сила од средњих притисака на домену  $\Omega_{II} = (1,0 \div 1,4)$  и  $Fr_I = (20 \div 50)$ , је:

$$\max H'_{cp} = C_o \cdot C_{\chi_o},$$

где су:

$$C_o = 1,524,$$

$$C_{zo} = 1 + 0,070 \cdot \frac{(\chi - 1,5 \cdot 0,18)}{0,18}.$$

Хоризонтална сила од пулзација на домену:

$\Omega_H = (1,0 \div 1,4)$  и  $Fr_I = (20 \div 50)$ , је:

$$\max H'_\sigma = C_o \cdot C_{zo},$$

где су:

$$C_o = 0,248,$$

$$C_{zo} = 1 + 0,066 \cdot \frac{(\chi - 1,5 \cdot 0,18)}{0,18}.$$

Моменат од средњих притисака на домену:

$\Omega_H = (1,0 \div 1,4)$  и  $Fr_I = (20 \div 50)$  је:

$$\max M'_{cp} = C_o \cdot C_{zo} \cdot C_{ob},$$

где су:

$$C_o = 2,498,$$

$$C_{zo} = 1 + 0,115 \cdot \frac{(\chi - 0,18)}{0,18},$$

$$C_{ob} = 1 - 0,017 \cdot \frac{(\theta - 5)}{5}.$$

Моменат од пулзација на домену:

$\Omega_H = (1,0 \div 1,4)$  и  $Fr_I = (20 \div 50)$  је:

$$\max M'_{cp} = C_o \cdot C_{zo} \cdot C_{ob},$$

где су:

$$C_o = 0,534,$$

$$C_{zo} = 1 - 0,155 \cdot \frac{(\chi - 1,5 \cdot 0,18)}{0,18},$$

$$C_{ob} = 1 - 0,139 \cdot \frac{(\theta - 5)}{5}.$$

## 8. ЗАКЉУЧЦИ

Предмет истраживања овог рада је умирујући базен иза непризматичног степенастог брзотока. Најважнији циљ је одређивање хидродинамичких утицаја на плоче дна базена. Истраживање је извршено на наменски припремљеној инсталацији у лабораторији Грађевинског факултета у Београду. На основу резултата приказаних у овом раду могу се извести следећи закључци:

1. На расподелу хидродинамичког оптерећења и његов интензитет највећи утицај имају сужење

брзотока, висина степеника на брзотоку, потопљеност хидрауличног скока и Фрудов број у суженом пресеку. Процену вредности хидродинамичких утицаја могуће је извести и без познавања Фрудовог броја, за потопљености хидрауличног скока у интервалу од  $\Omega_H = 1,0 \div 1,3$  и у том случају грешка процене је мања од 10%.

2. Пулзације притиска у умирујућем базену су најизраженије на почетку хидрауличног скока. Повећање дубине воде у базену значајно пригушује пулзације. Пулзације иза непризматичног брзотока постају интензивније по боковима, а пригушеније у близини осе базена. Ова попречна прерасподела пулзација је интензивнија при већим сужењима брзотока.

3. Средњи притисци зависе од дубине воде, па њихов интензитет прати линију нивоа дуж базена.

4. Највећи утицаји у уклештењу зида од средњих притисака се јављају на низводном крају умирујућег базена. Утицаји од пулзација у уклештењу зида су највећи на почетку хидрауличног скока.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миловановић Б., Зиндовић Б., Војт П., Капор Р., Кузмановић В., Савић Љ. (), Зависност хидродинамичких притисака у слапишту од сужења степенастог брзотока, 17, саветовање СДХИ и СДХ, Вршац, 2015
- [2] Миловановић Б., Хидродинамички утицаји на евакуационе објекте хидротехничких грађевина, докторска дисертација, Грађевински факултет, Београд, (2018).
- [3] Савић Љ., Увод у Хидротехничке грађевине, Универзитет у Београду Грађевински факултет, Београд, 2009.
- [4] 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.

## HYDRODYNAMIC LOADS ON THE EVACUATION FACILITIES OF HYDRAULIC STRUCTURES

by

Bojan MILOVANOVIĆ, Vladan KUZMANOVIĆ, Ljubodrag SAVIĆ  
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

### Summary

This paper analyzes the hydrodynamic loads acting on the bottom and the walls of a stilling basin, based on the pressure measurements at the selected points of a scale model. For different flow discharges, step heights and hydraulic jump submergence, the hydrodynamic pressures were measured at a large number of points,

providing the reliable distribution of hydrodynamic loads.

Key words: stilling basin, hydrodynamic load, pressures fluctuations

Redigovano 9.11.2018.