

## СЪОРЪЖЕНИЕ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНИТЕ КОЛИЧЕСТВА, ПРЕМИНАВАЩИ ПРЕЗ ДОЛНОТО ТЕЧЕНИЕ НА Р. ПРОВАДИЙСКА

**Петър Тодоров; Николай Лисев; Владимир Кукурин; Сава Тачев**  
*катедра "Хидравлика и Хидрология", Хидротехнически факултет;  
Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия – София  
гр. София 1046, бул. "Христо Смирненски" 1*

## FLOW DISCHARGE MEASURING STRUCTURE IN THE LOWER COURSE OF PROVADIJSKA RIVER

**Todorov, P.; Lissev, N.; Kukurin, V., Tachev, S.**  
*University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy,  
Department of Hydraulics and Hydrology",  
1 Hr. Smirnenski Blvd., 1046 Sofia*

### ABSTRACT

In the article the technical design of a hydrometric structure in the lower course of Provadijska river is presented. In order to provide sufficient accuracy of the measurements for the broad range of natural runoff variation a compound overflow profile is adopted.

The stage-discharge relation is established after adaptation of the results from a physical model study by distorted geometrical similitude.

Further refinement of the rating curve is accomplished by means of additional numerical model study, the results of which cover the range of the higher discharges.

### Въведение

Определянето на водните количества в открити течения и в частност естествени речни корита е задача, чието решение изисква прецизна оценка на хидроложките и хидравлични характеристики в зоната на водомерния створ, чието положение, геометрични и морфоложки параметри също имат водеща роля. В случай, че не е на лице т.нар. „мострен участък“, в който да се установи равномерно движение при преминаване на различните водни количества, най-адекватно е изграждане на водомерен преливник.

Във връзка с предприетите корекционни мероприятия в долното течение на реките Провадийска и Девненска възниква необходимост от изграждане на водомерно съоръжение непосредствено преди заустването на отливнен канал за избистрени води. Имайки предвид неравномерното сезонно разпределение на оттока по река Провадийска и широкия диапазон на изменение на протичащите в нея водни количества, е прието да бъде изграден преливник със сложен съставен профил.

За директното определяне на преминаващите през съоръжението водни количества е необходимо построяване на ключовата крива на преливника, т.е. изясняване връзката между водното ниво пред съоръжението и дебита. Задачата не би могла да се реши чисто аналитично, поради сложния съставен профил на преливното тяло и липсата на подходяща теоретична зависимост.

Ключовата крива на съоръжението в случая е изготвена след адаптиране на експерименталните резултати от хидравлично моделно изследване върху физически модел в умален мащаб. Поради непълно съответствие на прототипа с моделираното преливно съоръжение е изработен числен модел, с чиято помощ е прецизиран клонът от ключовата крива, обхващаш диапазон на високите води.

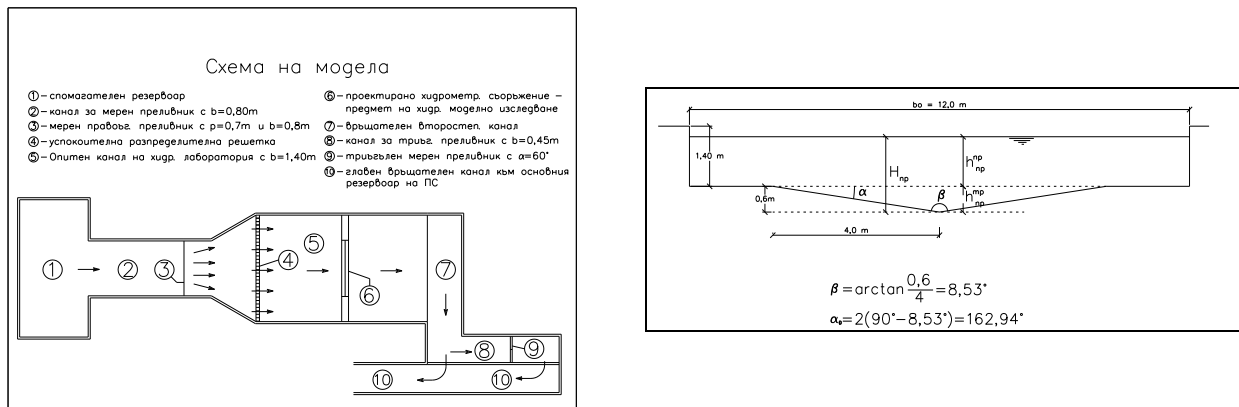
**Хидравличен модел**

При изготвяне на ключовата крива на хидрометричното съоръжение са използвани резултати от хидравличните моделни изследвания проведени в Центърът за научни изследвания и проектиране при Университета за архитектура, строителство и геодезия (ЦНИЛХИ при УАСГ.). Това дава възможност да бъде постигната точност на измерените в натурни условия водни количества до 3% за широк диапазон на колебания.

С помощта на хидравличното моделно изследване са установени още вариацията на обобщения коефициент на водното количество за диапазона на изменение на последното; влиянието на подходните условия при потенциално отлагане на дънни наноси и ключовата крива, съответстваща на такова състояние.

Геометричният мащаб за изпълнение на хидравличния (физичен) модел е определен в съответствие с теорията за подобие, като необходимите приемания са съобразени с препоръчаните в специализираната литература по отношение на преливни съоръжения такива. Вследствие на така проведения анализ е заключено, че минималният допустим геометричен мащаб  $M_L$  не следва да надвишава 20,5 (модел:натура=1:20,5).

Схема на лабораторната уредба и контура на преливния ръб на хидрометричното съоръжение (натурни размери) са представени на Фиг. 1а) и б):



Фиг. 1 а) Схема на лабораторната установка б) Разрези - прототип

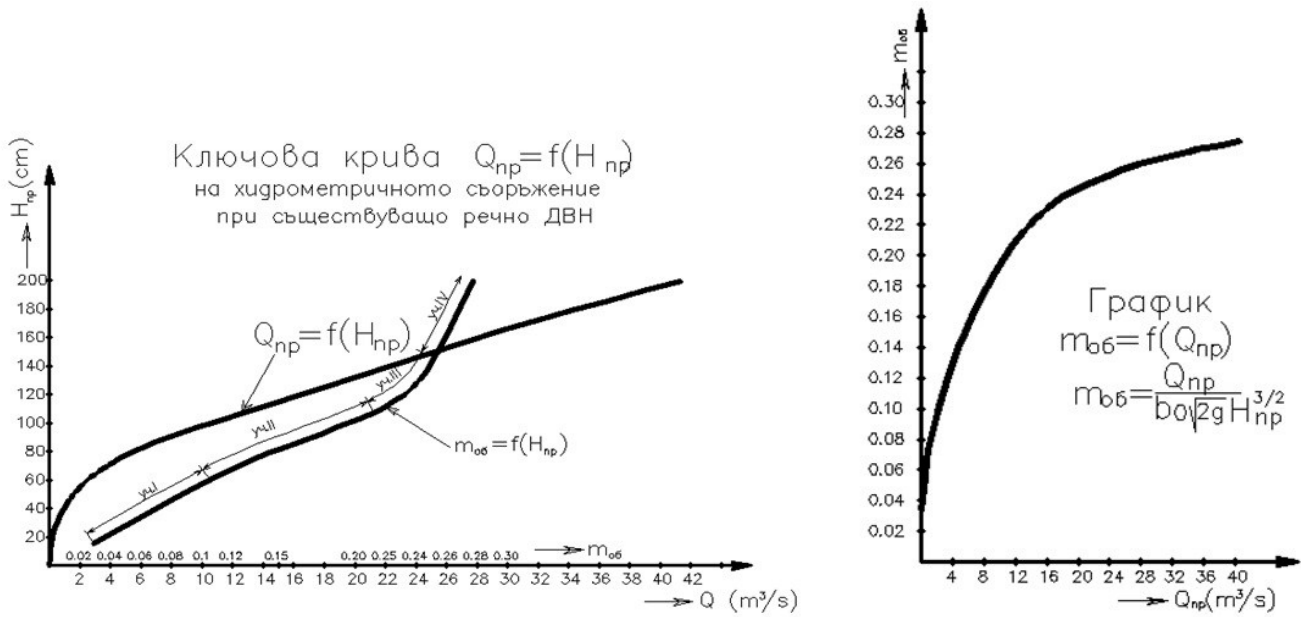
**Резултати от хидравличното моделно изследване**

В резултат на проведените моделни изследвания е построена ключовата крива на хидрометричното съоръжение (без отложения), както и графиките на зависимостите между обобщения коефициент на водното количество ( $m_{об}$ ), преливната височина ( $H_{np}$ ) и преливното водно количество ( $Q_{np}$ ). Връзката между горепосочените параметри се дава с известната зависимост:

$$Q_{np} = m_{об} \cdot b_{np} \cdot \sqrt{2g} \cdot H_{np}^{3/2} \tag{1}$$

където освен  $Q_{np}$ ,  $m_{об}$  и  $H_{np}$  участват още  $b_{np}$  – дължина на преливния ръб и  $g$  – земно ускорение.

На Фиг. 2 са илюстрирани съответните графични зависимости.



Фиг. 2 а)  $Q_{np}=f(H_{np}), m_{ob}=f(H_{np})$

б)  $m_{ob}=f(H_{np})$

Анализът на графика  $m_{ob} = f(H_{np})$  води до следните заключения:

1. Графичната зависимост представлява сложна крива линия, която може да се фрагментира на 4 подучастъка. Участък I отговаря на преливни височини  $H_{np}=20$  до 60 cm. т.е. във височинния интервал където водното количество преминава само през триъгълния преливник с  $\alpha_0 = 162,94^\circ$ . Кривата в този участък е слабо вдлъбната парабола. Участък II отговаря на преливни височини от 60 до 110 cm., където работи целия преливен отвор. В този участък кривата е с незначителна кривина т.е. може да се апроксимира с права линия. Участък III е обособен при преливна височина  $H_{np} = 110$  до 144 cm, като в него кривата представлява вдлъбната парабола. Участък IV отговаря на максималните преливни височини  $H_{np} = 1,44$  до 2,0 m. В тази зона графикът съответства на почти права линия.

2. Стойностите на  $m_{ob}$  са фиктивни защото в определянето му участва  $H_{np}$ , което е сума от  $h_{np}^{mp}$  и  $h_{np}^{п्राе}$ . Тези стойности растат значително в началото на започване на работата на целия преливен отвор с широчина  $b = 12,00$ .

3. Когато стойностите  $h_{np}^{п्राе}$  се увеличават над 0,80 m коефициентът на водното количество расте незначително поради преобладаващото действие на преливното съоръжение като преливник практически профил.

Освен обобщената ключова крива  $Q_{np}^{oo} = f(H_{np})$ , където  $H_{np}$  се измерва от ръба на триъгълния преливник, т.е. най-ниската точка от билото на преливника, експерименталните точки в зоната на триъгълния преливник (диапазона на  $H_{np}$  от 0 до 60 cm) са сравнени с теоретичната зависимост  $\alpha_0 > 90^\circ$  предложена от USACE:

$$Q_{np}^{mp} = 0,298tg \frac{\alpha_0}{2} \sqrt{2g} (h_{np}^{mp})^{2,47} = 1,32tg \frac{162,94}{2} (h_{np}^{mp})^{2,47} \quad (2)$$

Установено е добро съвпадение между теоретичната и експериментално получената ключова крива в разглеждания диапазон.

След изчерпването проводимостта на триъгълния преливник ( $H_{np} = 60$  cm) започва действието на целия преливен отвор с широчина  $b_o = 12,0$  m. Преминаването на водни количества при  $H_{np} > 60$  cm ( $Q_{np}^{oo} > 2,60$  m³/s) може да се разглежда като хидравличен процес от едновременно действие на две пропускателни съоръжения - изтичане през голям триъгълен отвор и преливане над преливник, действащ като широк праг или практически профил с правоъгълен отвор и странична контракция.

Водното количество при изтичане (преминаване) през триъгълния отвор се определя по формулата:

$$Q_{mp.ome.} = \mu \cdot \omega_{mp.ome.} \sqrt{2g \Delta H} \quad (3)$$

където:  $\mu$  е коефициент на водно количество, изменящ се в случая от 0,60 до 0,55;  $\omega_{mp.ome.}$  – площта на триъгълния отвор ( $\omega_{mp.ome.} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 8 = 2,4 \text{ m}^2$ );  $\Delta H$  – напор на отвора равен на височинната разлика между горното водно ниво и котата на ръба в основата на триъгълния преливник (+0,20 m).

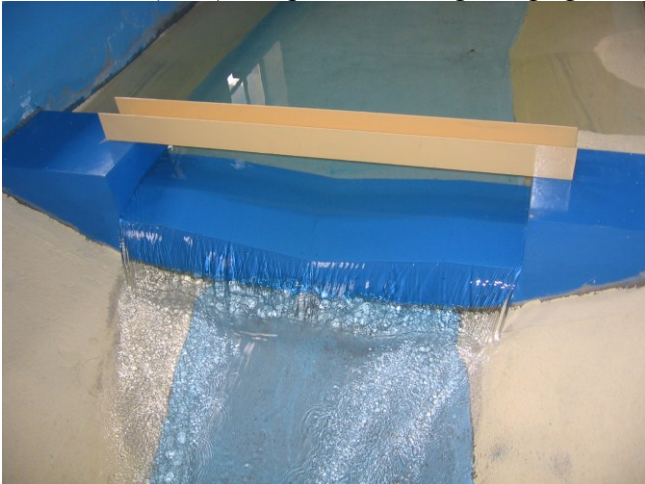
Водното количество преминаващо над преливния отвор при горно водно ниво, надхвърлящо котата на хоризонталния преливен ръб, се определя по формулата:

$$Q_{прел.}^{правом.} = m_{об}^{np} \cdot b_0 \sqrt{2g} (h_{np})^{3/2}$$

където:  $h_{np}^{np}$  е преливната височина между кота ВН и кота берма (хоризонтален преливен ръб);  $b_0$  – широчината на преливния отвор, в случая 12,0 m;  $m_{об}^{np}$  е обобщения коефициент на водното количество, който може да се определи по зависимостта:

$$m_{об}^{np} = m_0 \cdot \varepsilon_{cm} \cdot K_{ф.о} \cdot K \left( \frac{\delta}{H_{np}} \right) \quad (4)$$

На Фиг. 3 а) и б) са представени фотографии от проведените лабораторни тестове.



Фиг. 3 а)



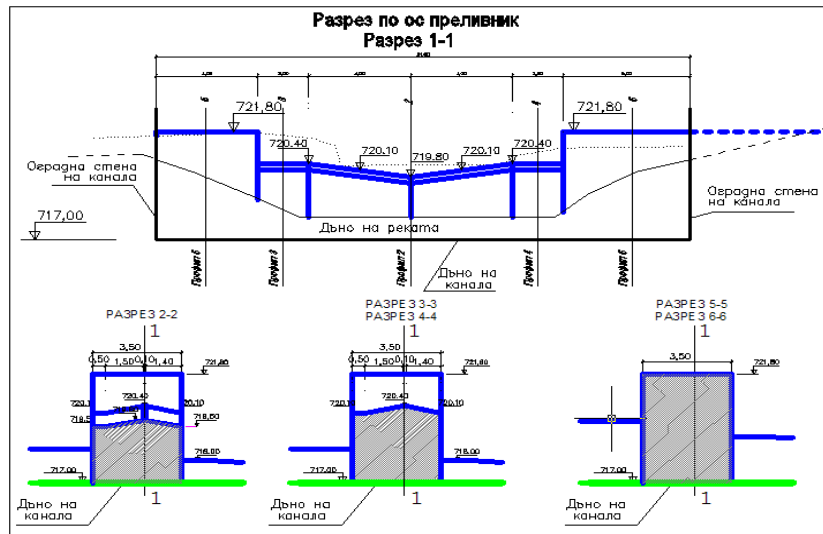
б)

### Техническо решение

Съществуващото корито на корекцията на р. Провадийска дава възможност за изграждане на водомерно съоръжение с обща широчина 18,00 m, което би осигурило пропускане на по-големи дебити през хидрометричния створ. По тази причина е предложено изпълнение на преливник с размери по-големи от тези на разглеждания физически модел, но при запазване на пълно съответствие в зоната на триъгълния преливник.

Водомерното съоръжение се състои от бетонов праг с рисберма от рено-матраци и стоманобетонна стена, разположена по левия бряг нагоре по течението от тялото на преливника, на която да бъде монтирана стоманена нивомерна рейка.

В хидравлично отношение съоръжението следва да работи като преливник тип широк праг с комбиниран отвор. Обособени са следните характерни зони: триъгълен преливник между кота 0,70 и кота 1,30 с максимална широчина 8,00 m; лява и дясна хоризонтални части, всяка с дължина 5,00 m, на кота 1,30 и непреливаема част на прага с кота 2,10. На Фиг. 4 са представени разрези в характерни сечения от съоръжението.



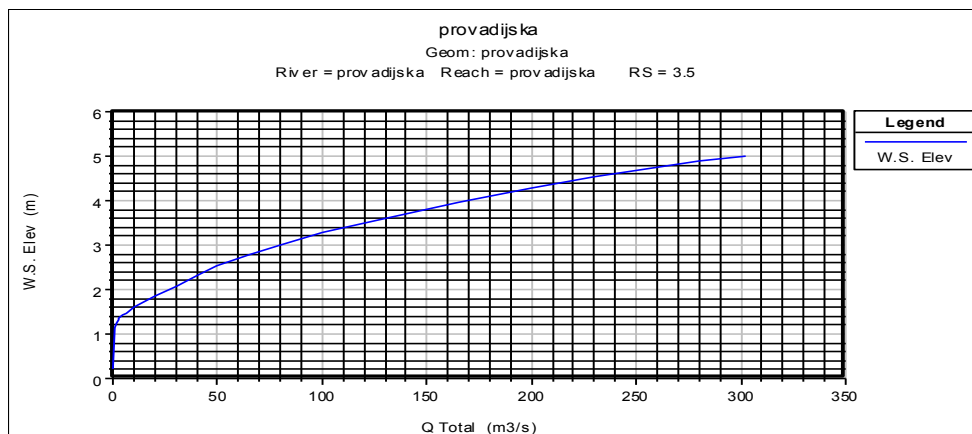
Фиг. 4 Разрези през водомерния преливник – техническо решение

### Числено моделно изследване

Поради непълното съответствие между геометрията на физическия модел и предложеното техническо решение са необходими допълнителни хидравлични изчисления за коригиране на ключовата крива в зоната над триъгълния преливник. За тази цел освен резултатите от получените лабораторни тестове са проведени изчисления с математическия модел HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) версия 4.1, разработен от корпуса на военните инженери на САЩ (*US Army Corps of Engineers*).

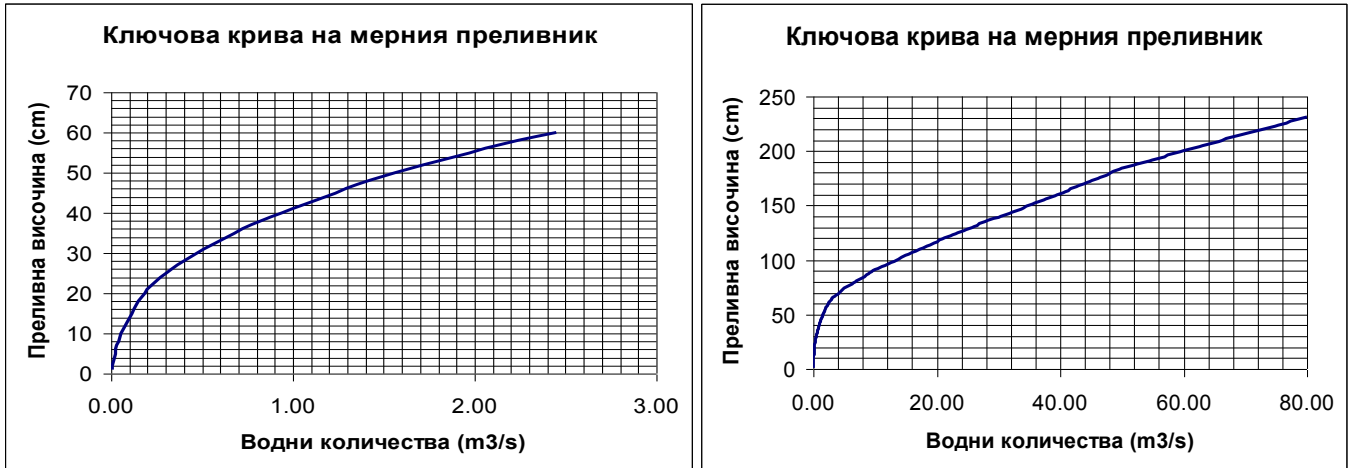
При задаване на граничните условия за изчислителния участък е използван среден надлъжен наклон 0,0005 на дъното, а коефициентите на преливника са зададени съобразно получените резултати от моделните изследвания.

Изчислената ключова крива е показана на Фиг. 5.



Фиг. 5 Изчислена с модела HEC-RAS ключова крива на сечението над мерния преливник, достигаща до  $Q_{1\%}=302 \text{ m}^3/\text{s}$

Въз основа на тези резултати е получена окончателната ключова крива на водомерното съоръжение, която е представена в графичен вид по-долу.



Фиг. 6 а) Ключова крива в обхвата на триъгълния преливник

б) Ключова крива в обхвата на нивомерната рейка

### Заклучение

Посредством прилагане на резултатите от проведено физическо моделно изследване е установена ключовата крива на хидрометричното съоръжение в условия на непълно геометрично съответствие. Характерните клонове от ключовата крива са прецизирани с помощта на еднодименсионално моделно изследване и са построени съответните графици, които да бъдат използвани при експлоатацията на съоръжението.

От извършения анализ може да се заключи, че предложеното техническо решение за водомерен преливник със съставен профил е в състояние да осигури измервателна точност до 3% за широк диапазон на изменение на естествения отток на р. Провадийска.

### Литература:

1. Иванов, И. М., Инженерна хидрология, София, Техника 1990
2. Казаков, Б., Лисев, Н., Кукурин, В., Хидравлични моделни изследвания на преливника за хидрометрично съоръжение на р. Гашня – ляв приток на р. Въча, ЦНИП при УАСГ-София 2010
3. Киселев П.Г., Справочник по гидравлическим расчетам, Москва, Энергия 1972
4. Лятхер В. М, Прудовский А.М. – Гидравлическое моделирование, Москва, 1984
5. Маринов, Е., Хидравлика, Висш институт по архитектура и строителство, София, 1994 г.
6. Chow, V. T., Open-channel hydraulics, New York, McGraw-Hill 1959 г.
7. Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., Reeve, D., Hydraulic modeling – an introduction, Principles, methods and applications, Taylor & Francis e-library 2010