

## **RISK-BASED ANALYSIS OF POTENTIAL FAILURE OF ROCKFILL *JOVKOVZI* DAM PRESENTED BY DIFFERENT OVERTOPPING SCENARIOS**

Mariana Marajieva, Maria Mavrova-Guirguinova, Vesela Zaharieva  
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-UACG, Sofia

### **SUMMARY**

Approach for performance of risk level is based on probabilities criteria known as Event Tree Defaults. Local scale design or small scale connected with the dam structure is used. The key question of the paper is consisting in the dam safety on the local scale. Probability criterion of overtopping is applied for that purpose. The aim is achieved by comparisons with Bulgarian and world standards for the acceptable risk assessment. In conclusion some recommendations are given for risk criteria improvement.

## **АНАЛИЗ НА РИСКА , ПОРОДЕН ОТ ВЪЗМОЖНОТО РАЗРУШАВАНЕ НА КАМЕННО-НАСИПНА ЯЗОВИРНА СТЕНА *ЙОВКОВЦИ* ПРИ РАЗЛИЧНИ СЦЕНАРИИ НА ПРЕЛИВАНЕ**

Мариана Мараджиева, Мария Маврова-Гиргинова, Весела Захариева  
Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия-УАСГ, София

### **РЕЗЮМЕ**

Методиката за оценка нивото на риска се основава на вероятностни критерии, известни като дърво на дефектите. Използва се локална (дребно-машабна) оценка, свързана с конкретното съоръжение. Търси се отговор на въпроса за сигурността на стената в локален мащаб с помощта на вероятностен критерий на риска от преливане. За целта се използват сравнения с действащи в България нормативи, както и с препоръчвани в световната практика нормативи и оценки за приемливия риск. В заключение се препоръчва актуализиране на съвременните критерии за риск въз основа на българския и световния опит.

## **АНАЛИЗ НА РИСКА , ПОРОДЕН ОТ ВЪЗМОЖНОТО РАЗРУШАВАНЕ НА КАМЕННО-НАСИПНА ЯЗОВИРНА СТЕНА *ЙОВКОВЦИ* ПРИ РАЗЛИЧНИ СЦЕНАРИИ НА ПРЕЛИВАНЕ**

Мариана Мараджиева, Мария Маврова-Гиргинова, Весела Захариева  
Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия-УАСГ, София

### **РЕЗЮМЕ**

Методиката за оценка нивото на риска се основава на вероятностни критерии, известни като дърво на дефектите. Използва се локална (дребно-машабна) оценка, свързана с конкретното съоръжение. Търси се отговор на въпроса за сигурността на стената в локален мащаб с помощта на вероятностен критерий на риска от преливане. За целта се използват сравнения с действащи в България нормативи, както и с препоръчвани в световната практика нормативи и оценки за приемливия риск. В заключение се препоръчва актуализиране на съвременните критерии за риск въз основа на българския и световния опит.

### **RISK-BASED ANALYSIS OF POTENTIAL FAILURE OF ROCKFILL *JOVKOVZI* DAM PRESENTED BY DIFFERENT OVERTOPPING SCENARIOS**

Mariana Marajieva, Maria Mavrova-Guirguinova, Vesela Zaharieva  
University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-UACG, Sofia

### **SUMMARY**

Approach for performance of risk level is based on probabilities criteria known as Event Tree Defaults. Local scale design or small scale connected with the dam structure is used. The key question of the paper is consisting in the dam safety on the local scale. Probability criterion of overtopping is applied for that purpose. The aim is achieved by comparisons with Bulgarian and world standards for the acceptable risk assessment. In conclusion some recommendations are given for risk criteria improvement.

### **УВОД**

Анализът на риска при различни сценарии на преливане е широко-машабен проблем, предмет на инженерни, социални и административни мероприятия в най-общ смисъл. Те имат за цел минимизиране на пораженията от преливане през стената, икономическите и социални последици, включително загубите на човешки живот. В този смисъл се поставя въпросът за съответствието между три вида риск:

- Ниво на риска по вероятностни критерии;
- Приемлив риск – оценен по социални критерии и препоръки на международни организации (ICOLD, ANCOLD и др.) [1] със съответните интервални граници;
- Нормативен риск, оценен по инженерни критерии за класа на съоръженията и експлоатационния им период.

Съгласно общата дефиниция на риск като произведение от вероятност и последствия, основните стъпки при анализа и управлението му са следните [2,3]:

1. Идентификация на рисковите събития и разработка на съответните сценарии;
2. Количествена вероятностна оценка по сценарий;
3. Количествена оценка на последствията (повредите);
4. Оценка на приемливия риск;
5. Оптимални решения за минимизиране и предотвратяване на неблагоприятните последствия, включително последствията от преливане и наводнения свързани с тях.

## ПОСЛЕДСТВИЯ И ОСНОВНА СТРАТЕГИЯ

Последствията от преливане водят до потенциално разрушаване на съоръженията, свързани със стената, и в тази връзка ще бъдат разгледани различни сценарии. Според холандски експерти [3] неблагоприятните случаи се класифицират по следния начин:

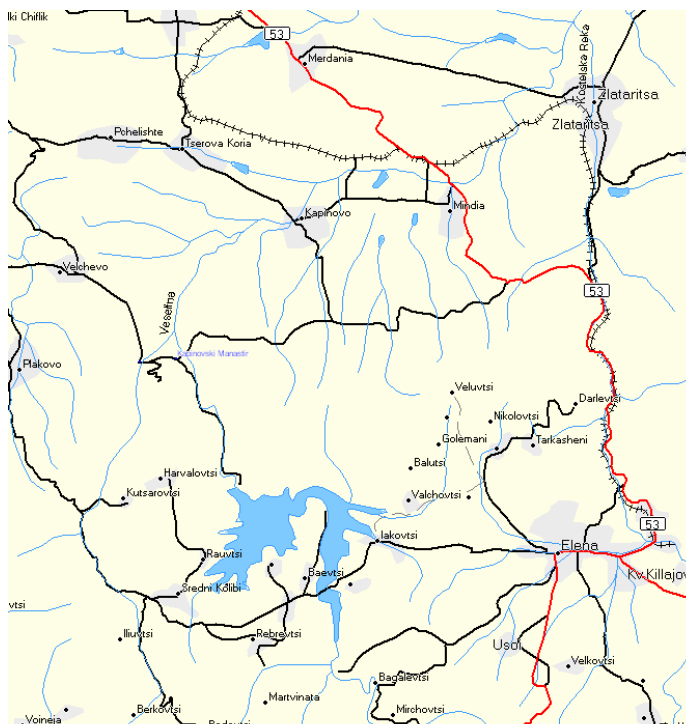
- случайности, включително пагубни поражения като смърт или психически последствия;
- последствия като повреди и разрушения на съоръжения, инфраструктура и др.;
- директни икономически загуби в индустрията и селското стопанство;
- индиректни икономически загуби поради аварии в производството и производствените процеси;
- екологични и социални последствия

Използваният математически модел в настоящата работа се основава на известния статистически метод *дърво на дефектите (event tree default)*. Същият се препоръчва от холандски експерти в 2- D модела SOBEK за изследване на наводнения в централната част на Холандия (PC-Ring model) [3]:

$$R = E(S) = \sum_i \sum_j P_{Fij} S_{ij} \quad (1)$$

където: индексите  $i, j$  се отнасят съответно за вероятността на  $i$ -то събитие за отказ;  $j$  - номера на съответния сценарий за събъдването му при последствие  $S_{ij}$ .

В проектирането при наличие на информация в глобален мащаб за изготвяне на алтернативни варианти



се правят *широко-мащабни оценки*. При наличие на пълна група събития се използва формулата за условна вероятност на отделния елемент в групата и широко-мащабната характеристика, например: характеристика на водосбора, притоците, вододелите и надморските височини - фиг.1.

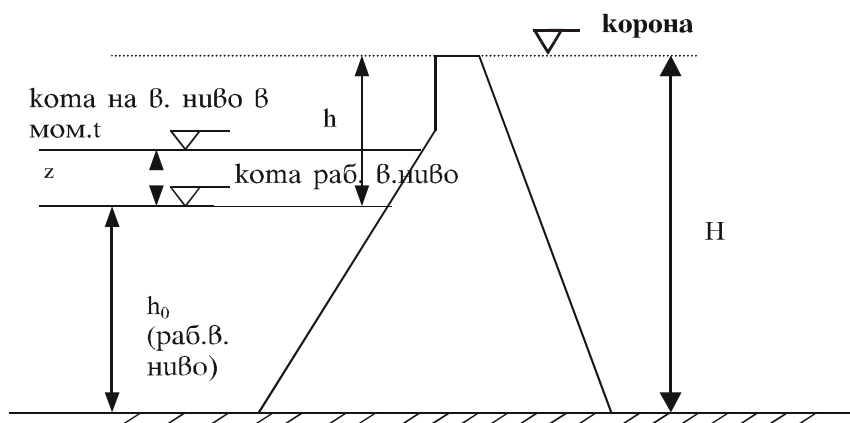
Фигура 1. Широко-мащабна характеристика на язовирна стена *Йовковци*

Анализът, разработен в настоящата статия, обхваща локална т.е. *дребно-мащабна оценка*. Основната стратегия в статията ще бъде изяснена с помощта на редица изследвани случаи върху язовир „Йовковци”.

В локален мащаб рискът се дефинира като вероятност за преливане  $L$  при съпротивление  $R$ , в случая това е височината  $H$ :

$$p_F = P(L > R) \quad (2)$$

където:  $p_F$  е вероятността за отказ (failure);  $R$  е съпротивлението (resistance), при височина  $H$ ;  $L$  е събитието преливане – фиг.2.



Фигура 2. Риск от потопяване на язовирна стена при зададен експлоатационен период 100г. и  $T$ - годишна висока вълна,  $T > 100$ г.

Уравнение (2) се нарича *модел товар-съпротивление* и е основна характеристика на различните вероятностни модели за преливане. Събитието *преливане* се описва във вероятностен смисъл със следните основни характеристики:

- Външни въздействия;
- Физически фактори.

В последна сметка и двата вида въздействия определят идентификацията и потенциалните форми на риск и ще бъдат разгледани подробно в по-нататъшното изложение.

## ВЪНШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ

Те се предизвикват от различни хидроложки, климатични, геоложки и хидрогеоложки фактори и от техните комбинации.

Таблица 1. Оразмерителни високи вълни на язовир "Йовковци" при коефициент на вариация  $C_v=0.54$

p, %	Q, m <sup>3</sup> /s.	W.10 <sup>6</sup> , m <sup>3</sup>	T, часа
0.01	960	98.0	87
0.1	640	61.7	82
1	400	35.6	76
5	270	21.9	69

Сигурността на хидротехническите съоръжения до голяма степен зависи от мониторинговата система и нейното безотказно действие. В случая с язовир „Йовковци“ се извършва дистанционно измерване на водното ниво в язовира чрез нивомер с цифров конвертор като предстои разширение на системата. Измерванията и данните, използвани в статията са за сравнително кратък период – 1980/2000 г. и са представени като нива и честоти в таблица 2.

Таблица 2. Водни нива на яз. "Йовковци" (честоти)

Водни нива	Абс. честоти, бр. години	Относ. честоти	Честоти в %
>334	8	0.3809	38.09
332-334	10	0.4762	47.62
330-332	8	0.3809	38.09
328-330	9	0.4286	42.86
326-328	10	0.4762	47.62
324-326	12	0.5714	57.14
322-324	6	0.2857	28.57

Различните сценарии включват климатични фактори като вятър и вълнение, както и техните комбинации – таблици 3, 4.

Таблица 3. Скорост и обезпеченост на вятъра

Скорост, m/s	Обезпеченост, %	Вероятност
22	20	0.2

36	2	0.02
----	---	------

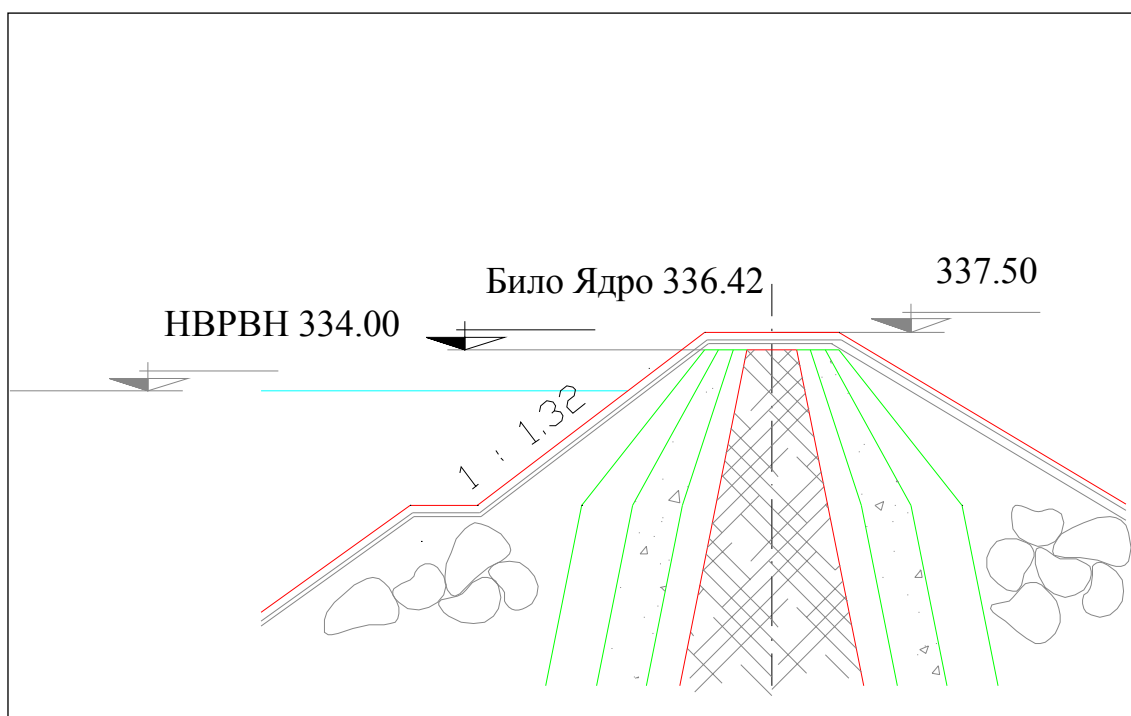
Таблица 4. Комбинации от водно ниво и ветрова вълна при скорост на вятъра

Водно ниво, m	Ветрова вълна с $p=1\%$ , m	Ветрова вълна с $p=0.1\%$ ,m	Скорост на вятъра
НВВН	0.835	1.02	22
НВРВН	1.44	1.76	36

### ФИЗИЧЕСКИ ФАКТОРИ

Типът на съоръженията – язовирна стена, преливник и облекчителни съоръжения оказва съществено влияние при анализа на риска и сигурността.

Язовирната стена е каменно-насипна с вертикално глинено ядро и характерни коти, показани на фиг. 3. Към основните физически фактори се отнасят облекчителните съоръжения – в случая това е траншеев преливник с двустранно преливане, преходен участък и бързоток. Гасителното съоръжение е тип изхвъргач с два зъба за разсейване на струята.



Фигура 3. Било на язовирната стена с характерни коти

Преливникът е тип практически профил с основни характеристики дадени в табл.5 и с обезпечености на високите вълни  $p = 0.01 - 5\%$  - табл.1.

Таблица 5. Характеристики на преливника

обезпеченост p, %	прел.в.кол- во Q, m <sup>3</sup> /s.	прел.височина H, m
5	140	0.81596
1	225	1.15
0.1	380	1.50
0.01	580	1.92

В таблица 6 се илюстрира капацитетът на преливника при водни нива, по-големи от НВРВН.

Таблица 6. Капацитет на преливника

Кота ВН, m	Превишение над НВРВН, m	Q, m <sup>3</sup> /s.
334=НВРВН	0	0
335,92=НВВН	1,92	577,427
337,5=Било Яз.Стена	3,50	1421,175

## ПОТЕНЦИАЛНИ ФОРМИ НА РИСК

Рискът при насипни язовирни стени се свързва с преливане над язовирната стена или глиненото ядро, което би довело до прорив и катастрофа. В *таблица 7* са анализирани потенциалните и възможните за конкретния обект форми на риск, водещи до преливане и свързани с работата на преливника и облекчителните съоръжения. Някои от посочените в таблицата механизми за реализиране на преливане са отхвърлени след експертна оценка. В редовните анализи на техническото състояние на обекта няма констатирани повреди на преливника и отводящия канал. В по-нататъшното изследване ще бъдат разгледани възможни форми на риск, свързани с механизми на преливане над билото на стената или ядрото при следните предпоставки:

- облекчително съоръжение в изправно състояние;
- високо статично водно ниво в язовира;
- хидроложка висока вълна;
- ветрови вълни.

Таблица 7. Възможни събития, водещи до риск от заливане на яз. стена "Йовковци"

Рисков фактор	Описание на причините	Оценка
$Q > Q_{\text{оразмерително}}$	Валежи, снеготопене, при високо водно ниво	Възможно
	Вълна в езерото от свличане на земни (скални) маси или лавина	Малко вероятно: съществува плитко стабилно свлачище в десния бряг. Лавинна опасност се отхвърля.
	Вълна в езерото от разрушаване на по-горе стоящи язовирни стени	Отхвърля се. Няма такива
	Вълна в езерото в резултат на земетресение	Възможно. Предмет на отделно изследване
Високо водно ниво и вятър	Ветрови вълни	Възможно
Повреди на входа	Запушване от свличане на земни маси, обрастване, наноси, лавина	Отхвърля се поради топографските и геоложки условия. Няма обрастване
	Отказ на повдигащите механизми	Отхвърля се. Няма такива
Повреди на отводящия канал	Запушване: свличане на земни маси, обрастване, наноси, лавина	Отхвърля се поради топографските и геоложки условия. Няма обрастване
	Кавитационна ерозия, пукнатини в	Предмет на отделно



	облицовката	изследване
Повреди на изхода	Ерозия в долния участък, пукнатини, загуба на устойчивост на брега	Отхвърля се. За сега няма данни за такива

Използва се експоненциален закон за определяне на случайната величина  $h$  съгласно фиг. 2. Тогава вероятността за преливане е:

$$p_F = p(h_0 + z > H) = e^{-h/\eta} \quad (3)$$

$$h = -\eta \ln p_F \quad (4)$$

По дефиниция за математическото очакване следва:

$$M(X) = 1/\eta = \int_0^{\infty} x \eta e^{-\eta x} dx \quad (5)$$

$$M(X) = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6)$$

С помощта на експериментални данни за 21 годишен период на наблюдения за параметъра на експоненциалното разпределение следва:

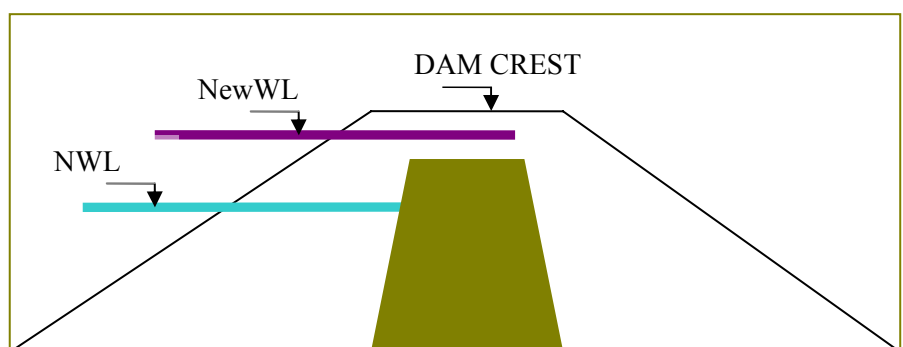
$$M(X) = \bar{X} = \frac{1}{\eta} = 0,065679$$

$$\eta = 15,225564 \quad (7)$$

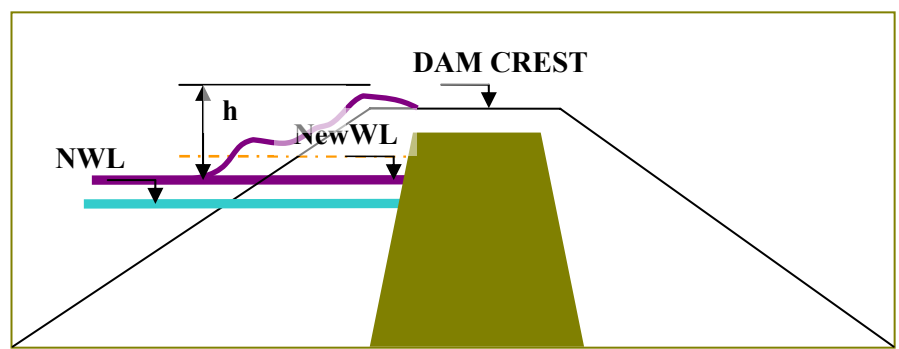
## АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНИТЕ СЛУЧАИ

С помощта на показаните в *таблица 7* възможни събития, водещи до риск от заливане на яз. стена "Йовковци" се разработват два механизма на преливане над стената:

1. *Водно ниво > Било глинено ядро=336.42*



Счита се, че условната вероятност на прорива (разрушението) на язовирната стена при събждане на събитието *Водно ниво > Било глинено ядро* е 1.0. В този сценарий на разрушение се включва навлизане в езерото на висока вълна с малка обезпеченост при водно ниво на кота НВРВН. Ветрови вълни не се разглеждат.



## 2. Заливане на Било язовирна стена

При водно ниво под кота било глинено ядро=336.42 (ВН=НВРВН) сценарият на разрушение включва навлизане в язовира на висока вълна и действие на ветрови вълни. Разглежда се височината на пълзене на разрушените ветрови вълни по водния откос на язовирната стена. Условната вероятност на прорива (разрушението) на язовирната стена при сбъждане на събитието *Заливане на Било язовирна стена* по описания сценарий е 0.5.

Всеки от механизмите на преливане над глинено ядро или било стена следва да бъде разработен като сценарий и във вид на дърво на събитията.

Преобладаващите ветрове в района са северо-западни. В *таблица 8* са показани данни за скоростта на вятъра при съответна, съгласно българските норми [7] обезпеченост.

*Таблица 8. Скорост и обезпеченост на вятъра*

Скорост, m/s	Обезпеченост, %	Вероятност
22	20	0.2
36	2	0.02

*Таблица 9. Комбинации от водно ниво и ветрова вълна при скорост на вятъра*

Водно ниво, m	Ветрова вълна с p=1%, m	Ветрова вълна с p=0.1%, m	Скорост на вятъра, m/s
НВВН	0.835	1.02	22
НВРВН	1.44	1.76	36

По българските норми [7] данните за пълзене на ветровите вълни са описани в *таблица 9* за максимален ефективен разгон 650м, определен при водно ниво в язовира НВВН.

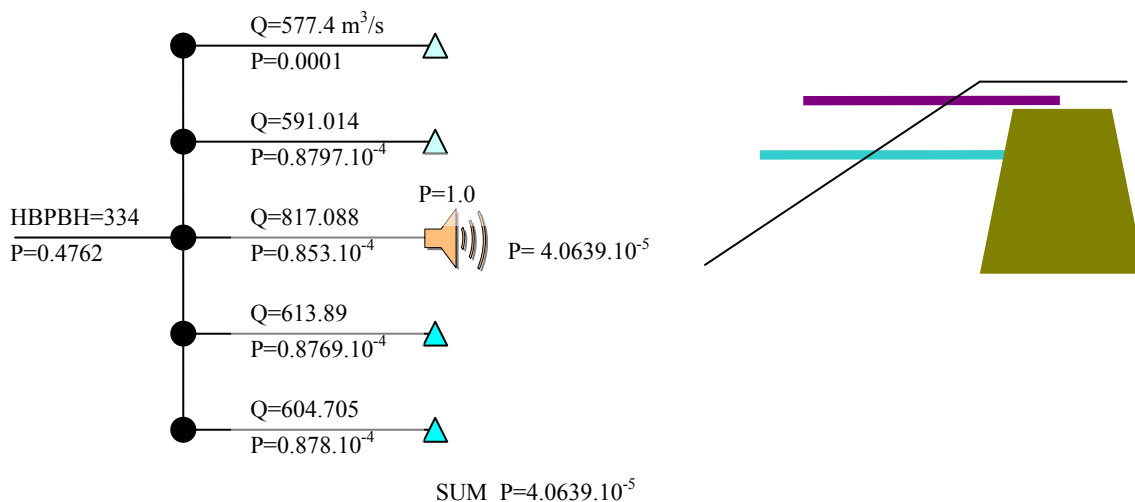
*Таблица 9. Обезпеченост на пълзенето на разрушената ветрова вълна*

Скорост на вятъра 22 m/s		
Обезпеченост , %	Пълзене от ветр.вълна H=0.835m	Пълзене от ветр.вълна H=1.02m
0.1	0.707	0.864
1	0.643	0.785
2	0.612	0.754

5	0.585	0.715
10	0.553	0.675
Скорост на вятъра 36 m/s		
Обезпеченост , %	Пълзене от ветр.вълна H=1.44m	Пълзене от ветр.вълна H=1.76m
0.1	1.48	1.81
1	1.35	1.645
2	1.29	1.56
5	1.225	1.50
10	1.16	1.415

Въз основа на разсъжденията дотук, четирите предпоставки и показаните в таблиците данни са разработени общо 6 събитията във вид на *дърво на събитията* по двата сценария. Три от тях са показани на фигури 4 и 5а,5б в следващата стъпка от анализа на риска.

*НИВО НА РИСК ПО СЦЕНАРИЙ Водно ниво > Било глинено ядро=336.42*



Фигура 4. Дърво на събитията

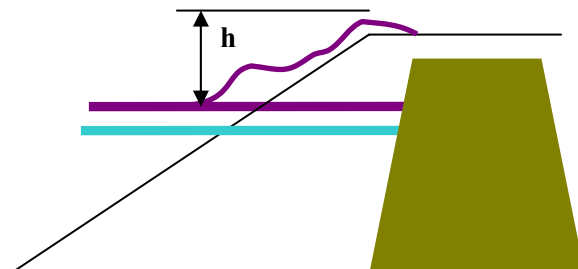
Като се използва структурата на дървото на събитията и се изчисляват вероятностите по всяко негово клонче може да бъде определена вероятността да се сбъдне даден сценарий за преливане над глинено ядро или кота било на язовирната стена "Йовковци" като честота в година. При пълна група събития условната вероятност на сценарий се записва по Бейс във вида:

$$P_A(S_i) = \frac{P(S_i)P_{S_i}(A)}{\sum_{j=1}^n P(S_j)P_{S_j}(A)} \quad (10)$$

където:  $i$  - номер на разглеждания сценарий  $S_i$ ,  $A$  – събитие преливане,  $P_A(S_i)$  - условна вероятност на  $S_i$  след осъществяване на  $A$ .

### НИВО НА РИСК ПО СЦЕНАРИЙ

Заливане на Било язовирна стена



Фигура 5а & 5б

Таблица 11 обобщава получените резултати и за двата механизма на разрушение на стената, разглеждани в изследването.

Таблица 11. Вероятност за разрушение на стената

Механизми на разрушение	Обезпеченост на факторите, %		Вероятност (за година)
Водно ниво > Било глинено ядро=336.42 SUM P $4.0639 \cdot 10^{-5}$	P0 високи води 0.00853	---	$4.0639 \cdot 10^{-5}$
Заливане на Било язовирна стена SUM P $1.7439 \cdot 10^{-4}$	P1.високи води 0.01	Вятър 2 ветрови вълни 0.1	$1.7439 \cdot 10^{-4}$
	P2.високи води 0.008797	Вятър 2 ветрови вълни 0.1	$1.2986 \cdot 10^{-11}$
	P3.високи води 0.008769	Вятър 2 ветрови вълни 0.1	$6.7648 \cdot 10^{-11}$
	P4.високи води 0.00853	Вятър 2 ветрови вълни 0.1	$1.4797 \cdot 10^{-9}$

### ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

Оценката за горна граница на допустимия по норми за проектиране риск в периода на експлоатация при стени от местни материали е обобщена според класа на

стената и в съответствие с пълнотата на отчитане на групата фактори на надеждност в Таблица 12 [7].

Таблица 12. Нормативно заложен риск за реализиране на I-во гранично състояние при насипни язовирни стени

Клас на стената	Експлоатационен период	
	Оценка на риска по норми, максимален	Оценка на риска по норми, минимален
I клас	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
II клас	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
III клас	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
IV клас	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

В настоящият анализ приемаме за горна граница на приемлив риск, показания за I клас язовирна стена по българските норми (Таблица 12).

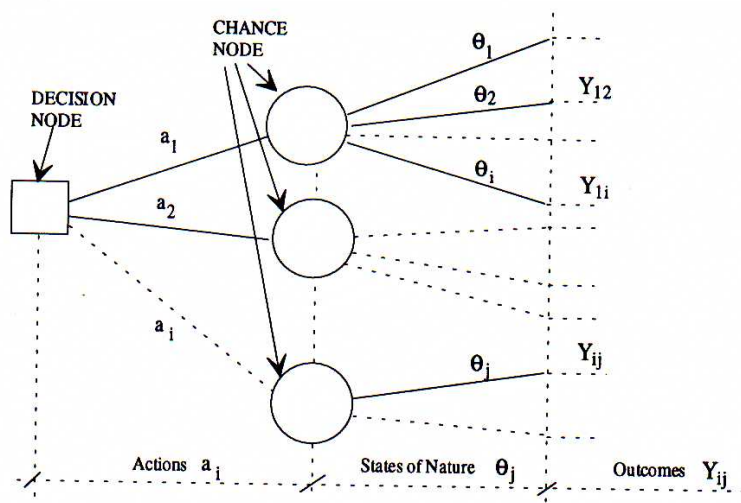
Резултатите от изследването на потенциалните сценарии на разрушаване на стената при преливане показва, че най-голяма вероятност за сбъждане имат събитията P1 и P0 в таблица 11. Съпоставката на получените нива на риск и българските норми [7] дават следните резултати:

- $P1 > P_{risk}^{max} norm = 5 \cdot 10^{-5}$
- $P0 < P_{risk}^{max} norm = 5 \cdot 10^{-5}$  &  $P0 > P_{risk}^{min} norm = 3 \cdot 10^{-5}$

С оглед по-нататъшното прецизиране на анализа е нужно да се извърши следното:

- Да се прецизира честотата на високите водни нива в язовира на базата на по-дълъг период, както и да се включат месечните (дневни) оценки за нива и дебити; Следва да се включат и други форми на риск като земетръс, вътрешна ерозия, основен изпускател, както и събитията, водещи до риск от заливане на яз. стена "Йовковци", показани в Таблица 7.
- При наличието на изброената по-горе информация следва да се разработи разширен анализ, основан на Теорията за Вземане на Решения (Decision Theory) [8].

Елементите на тази теория използват разширено дърво на дефектите и се представят статистически като матрица на решенията (decision matrix) – фигури 6, 7.



Фигура 6. Дърво на отказите (дефектите) съгласно Теорията за вземане на решения

States of Nature	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	.	.	$\theta_k$	.
Actions							
$a_1$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	.	.	$Y_{1k}$	.
$a_2$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	.	.	$Y_{2k}$	.
$a_3$	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	.	.	$Y_{3k}$	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
$a_i$	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i3}$	.	.	$Y_{ik}$	.
.	.	.	.	.	.	.	.

Фигура 7. Матрица на решенията

В последна сметка изходът от матрицата на решенията зависи от това, кой допълнителен критерий е меродавен - технически, социален, екологически, икономически или др.

### ПРЕПОРЪКИ

Като се имат предвид резултатите от анализа, следва да се обърне внимание на следното:

1. Разширение на мониторинговата система за многогодишно наблюдение на нива, дебети, потребление и отток.
2. Нивата на риска по вероятностни оценки да се сравняват с приемливия риск, а не само с нормативния [1].
3. Да се прецизира концепцията за приемливия риск (*acceptable risk*) с помощта на допълнителни критерии за „долна граница на приемлив риск”, зависещи от: технически, социални, екологически, икономически и др. ограничения.

### ПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маврова-Гиргинова Мария, Съвременни методи за определяне нивото на приемливия риск при насипни язовирни стени, Годишник на УАСГ, Св. VI , Хидротехника, София, 2004
- [2] Мараджиева М., М.Маврова-Гиргинова, Анализ на риска при експлоатация на скатови преливници, Годишник на УАСГ, Св. VI , Хидротехника, София, 2004
- [3] Waars P.H. and A.C.Vrouwenvelder, Risk management of large scale floodings, Heron, Vol. 49, N1, 2004
- [4] Ganoulis J., Risk-based floodplain management: A case study from Greece, Int. J. River Basin Management Vol.1, N1, 2003
- [5] Мараджиева М., М.Маврова-Гиргинова, Подходи за установяване нивото на риска при експлоатация на облекчителни съоръжения - I част: Методика, Булаква бр.1, Издание на БАВК, 2004
- [6] Мараджиева М., М.Маврова-Гиргинова, Подходи за установяване нивото на риска при експлоатация на облекчителни съоръжения - II част: Язовир Йовковци, Булаква бр.1, Издание на БАВК, 2004
- [7] Норми за натоварвания и въздействия на хидротехнически съоръжения от вълни, лед и плавателни съдове, С., 1988
- [8] Berger J.B., Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis, Springer, New York, 1985