

## **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SELECTED PARAMETERS ON THE CONDUCTIVITY OF THE RIVER SECTIONS**

Denislava Pencheva  
Hydrotechnics Department, Hydraulic Engineering Faculty, UACEG - Sofia  
e-mail: [d.pencheva@yahoo.com](mailto:d.pencheva@yahoo.com)

### **ABSTRACT**

Sensitivity analysis is an important analytical tool that enables to be determined how different values of an independent variable will affect the specific dependent variables and final results as a set of assumptions. Such analysis is usually used when there is uncertainty about key variables.

Defining a set of change scenarios for a variable, it was tracked how it affects to one or more indicators of a process progress.

Such an approach was applied to hydraulic models for flat and hilly sections of rivers. The influence of the coefficient of roughness was analyzed comparing conductivity of parameters as water levels, respectively depths, speed and flow width. Two scenarios concerning change of the roughness coefficient were elaborated: first, set of variables for uniform roughness was input into the surveyed area and second, set of different roughness coefficient were defined in separate sections of the cross sections. Comparing the results, the behavior of parameters for rivers conductivity was assessed concerning their relation of the roughness change. As results, practice useful conclusions had been drawn as well as recommendations for set up the roughness coefficient in the development of hydraulic models.

## **ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА ИЗБРАНИ ПАРАМЕТРИ ВЪРХУ ПРОВОДИМОСТТА НА РЕЧНИ УЧАСТЪЦИ**

Денислава Пенчева  
катедра „Хидротехника”, Хидротехнически факултет, УАСГ - София  
e-mail: [d.pencheva@yahoo.com](mailto:d.pencheva@yahoo.com)

### **РЕЗЮМЕ**

Анализът на чувствителността е важен аналитичен инструмент, който дава възможност да се определи как различните стойности на независима променлива ще повлияят на конкретни зависимости от нея променливи и крайните резултати при даден набор от предположения. Към такъв анализ обикновено се прибегва, когато има несигурност относно ключови променливи.

Чрез задаване на даден набор от сценарии за изменението на дадена променлива се проследява в каква степен това се отразява на един или няколко показателя от протичането на даден процес.

Такъв подход бе приложен по отношение на хидравлични модели за равнинен и полупланински участъци от реки. Анализирано бе влиянието на коефициента на грапавина спрямо показатели за проводимостта като водни нива, респективно дълбочини, скорости и степен на разливане. Бяха проиграни два сценария на изменение на коефициента на грапавина: задаване на варианти на еквивалентна грапавина за целия изследван участък и задаване на различни коефициенти на грапавина в отделни участъци от напречните профили. След съпоставяне на резултатите бе направена оценка за поведението на показателите за проводимостта от изменението в грапавината. В резултат са направени изводи полезни за практиката и препоръки по отношение задаването на грапавина при разработването на хидравлични модели.

## **1. Увод**

Симулирането на протичане на водни количества в открити легла чрез хидравлично моделиране крие рискове от грешки. Извършващият изследването е поставен пред избор на хидравличен модел – еднодименсионален или двумесионален, подходящ височинен модел на терена, гранични състояния на хидравличния модел и прочие. В настоящия доклад се спираме върху избор на еднодименсионален модел на открити течения. Точността, с която моделът пресъздава реално случващ се сценарий на преминаване на водно количество, зависи от следните три фактора:

- а) конфигурация на талвега на разглеждания участък;
- б) избор на места и брой на напречните сечения въз основа, на които се пресъздава терена;
- в) грапавина на речното легло.

Първите два фактора са основните елементи въз основа, на които се пресъздават особеностите на терена (наклони на дъното, напречни сечения) в еднодименсионалните хидравлични модели.

Теренът е фактор в определяне на пропускната способност на леглото, но настоящият доклад няма за цел да анализира в дълбочина неговото влияние. Интересът ни е насочен към грапавината, доколкото правилното ѝ задаване зависи изцяло от субективния избор на моделиращия.

Изпълнени са числени експерименти, въз основа на които е направен анализ на чувствителността на пропускната способност от коефициента на грапавина в два участъка от реки с различен среден наклон – представителна извадка за полупланински и равнинни реки.

Целта на настоящия доклад е да покаже как и доколко различните еднодименсионални хидравлични модели, създадени със софтуера Mike 11, са чувствителни при вариране на параметрите на грапавината, как тя влияе на дълбочините и обхвата на заливане, т.е. на пропускната характеристика на леглото.

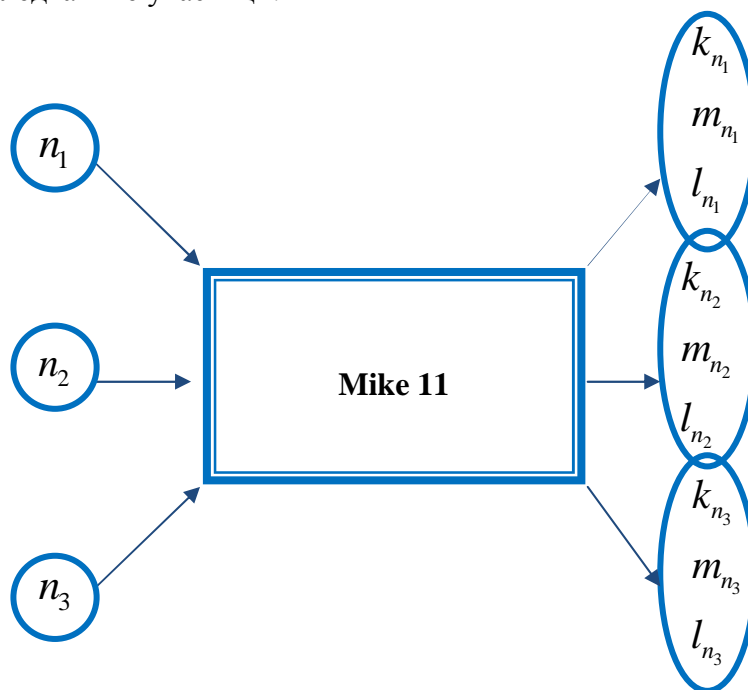
## 2. Анализ на чувствителността

Анализът на чувствителността е важен аналитичен инструмент, който дава възможност да се определи как различните стойности на независима променлива ще повлияят на конкретни зависимости от нея променливи и крайните резултати при даден набор от предположения. Към такъв анализ обикновено се прибегва, когато има несигурност относно ключови променливи.

Чрез задаване на даден набор от сценарии за изменението на дадена променлива се проследява в каква степен това се отразява на един или няколко показателя от протичането на даден процес.

Такъв подход бе приложен по отношение на изследваните участъци от реки.

При задаване на  $i$ -броя стойности на коефициента на грапавина в модел в среда на Mike 11 беше проследено изменението в  $k$ ,  $m$ ,  $l$ -елемента на пропускната способност на изследваните участъци.



Фиг. 1. Принципна схема за анализ на чувствителността

Повече информация относно анализа на чувствителността може да бъде намерена в литературата [1-6].

---

### 3. Описание на проведените експерименти

#### 3.1. Обекти на експериментите

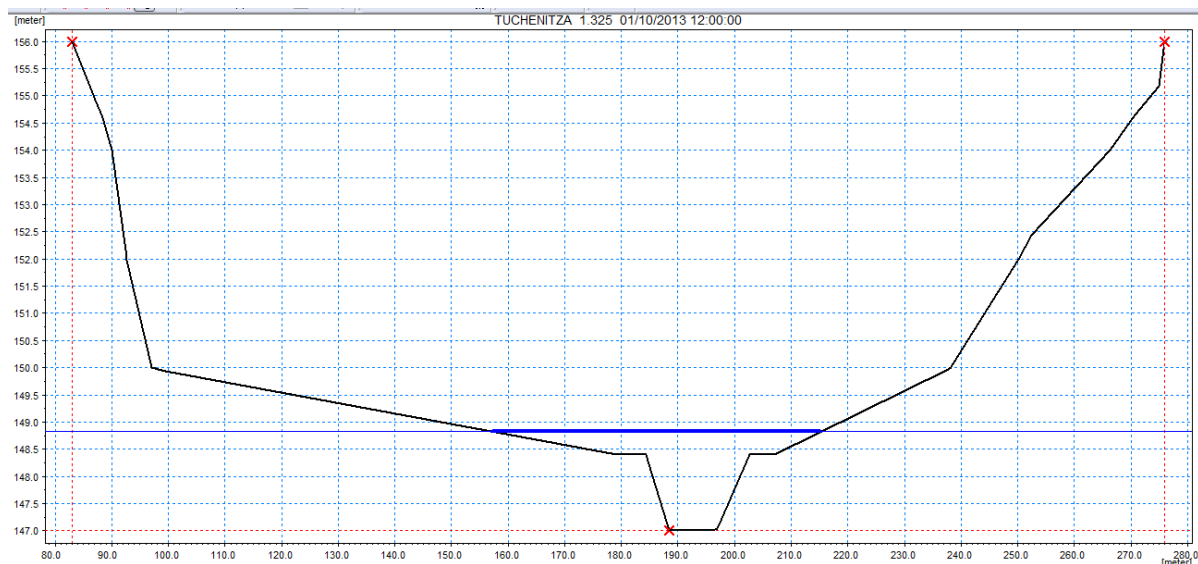
Експериментите, проведени във връзка с настоящия доклад бяха проиграни за две поречия от басейна на река Дунав в Северна България.

От реките Тученица и Чернялка, съответно протичащи през гр. Плевен и с. Николаево, община Плевен, бяха избрани два участъка със следните характеристики:

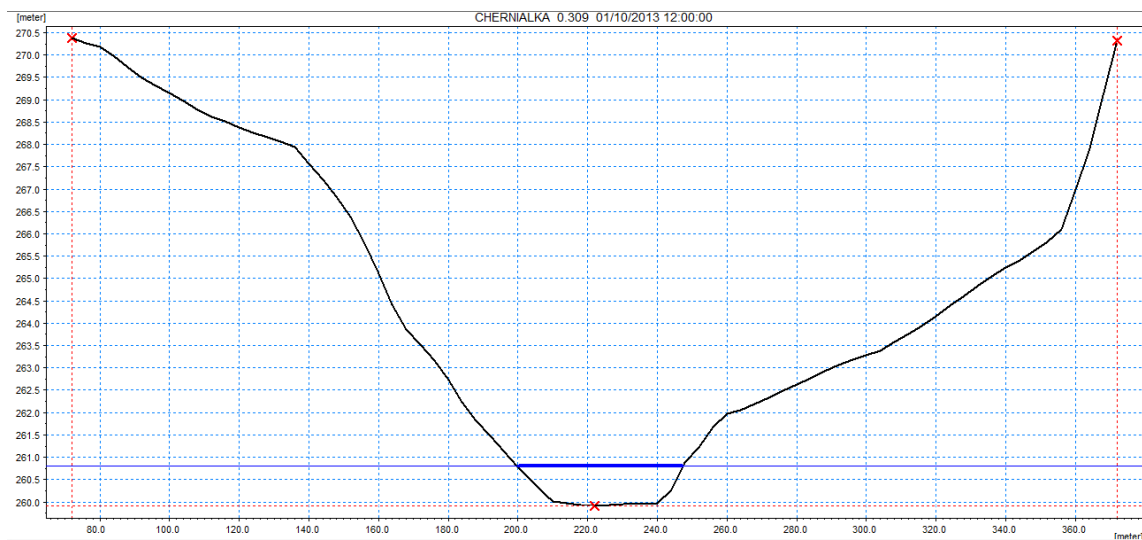
1) участък от река Тученица с дължина 2120 м и среден наклон 1,6% - отнесен към полупланински тип реки с наклони от 1,5% до 5%.

2) участък от река Чернялка с дължина 1630 м и среден наклон 0,8% – отнесен към равнинен тип реки с наклони от 0,5% до 1,5%.

Изследваният участък от река Тученицата се характеризира с двойно U - образни профили, в които се разграничава профилът на руслото от прилежащите заливни тераси. Река Черляка, обаче е типичен пример за равнинна река с преобладаващ еднороден U-образен профил на напречните сечения.



*Фиг. 2. Характерен напречен профил на река Тученица*



*Фиг. 3. Характерен напречен профил на река Чернялка*

За избраните два участъка бяха изготвени хидравлични модели въз основа на извлечени напречни профили от дигитални модели на терена за двете реки и определени водни количества с периоди на повторение веднъж на 100, 1000 и 5000 години.

Използваните входни данни за терен и водни количества са получени в резултат на изпълнение на международен проект DAMSAFE, реализиран с финансовата подкрепа на Финансовия инструмент за гражданска защита на Европейската комисия ([www.damsafe.eu](http://www.damsafe.eu)).

Създаването на моделите, за избраните участъци от реките, бе извършено със софтуер Mike 11, предназначен за разработване на еднодименционални хидравлични модели. Всички следващи сценарии на проведените експерименти са съобразени с възможностите, които предоставя този програмен продукт.

Експерименталните изследвания бяха проведени на два етапа:

а) чрез вариране на коефициента на грапавина като еднороден по протежение на всеки профил и по дължина на разглеждания участък.

б) чрез задаване на различни стойности на грапавина за руслото и вариране на коефициента на грапавина в терасите.

Оценката за влиянието на грапавината върху проводимостта бе направена въз основа на отчетени изменения в следните три показателя за проводимост: максимална дълбочина, скорост и ширина на водната повърхност.

Процентното изменение на всеки от показателите бе определено по следната зависимост.

$$\Delta h = \frac{(h_2 - h_1)}{h_1} \cdot 100 \quad [\%]$$
$$\Delta V = \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad ,$$
$$\Delta B = \frac{(B_2 - B_1)}{B_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Където:

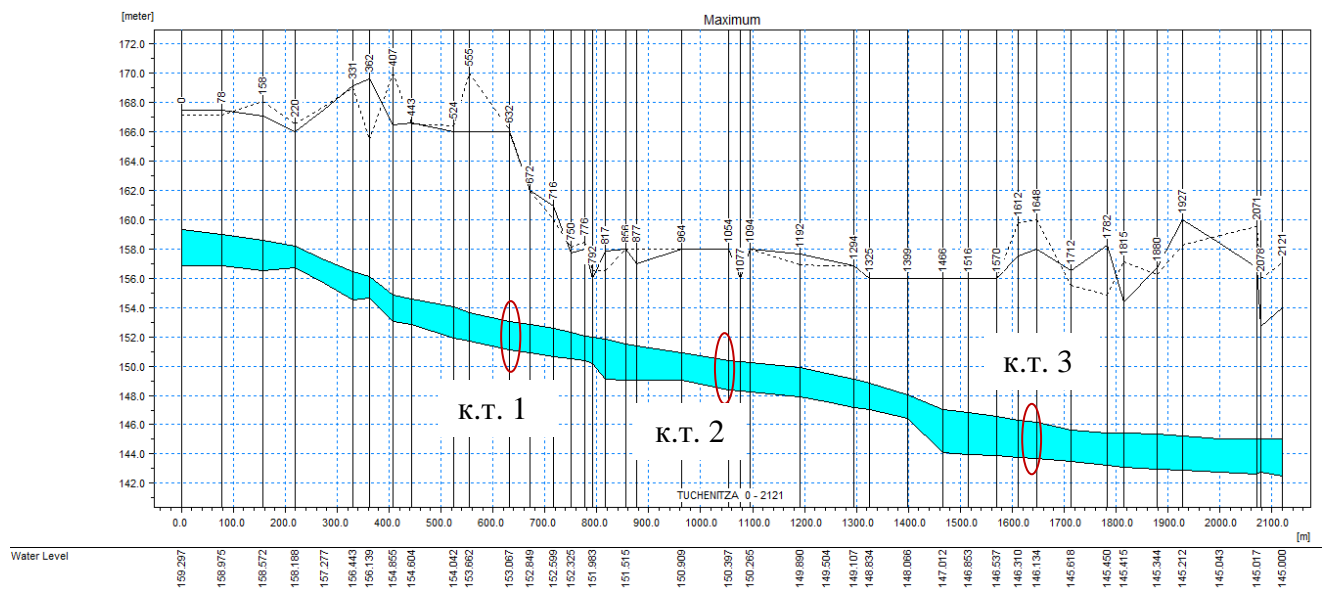
h – дълбочина [m],

V – скорост [m/s],

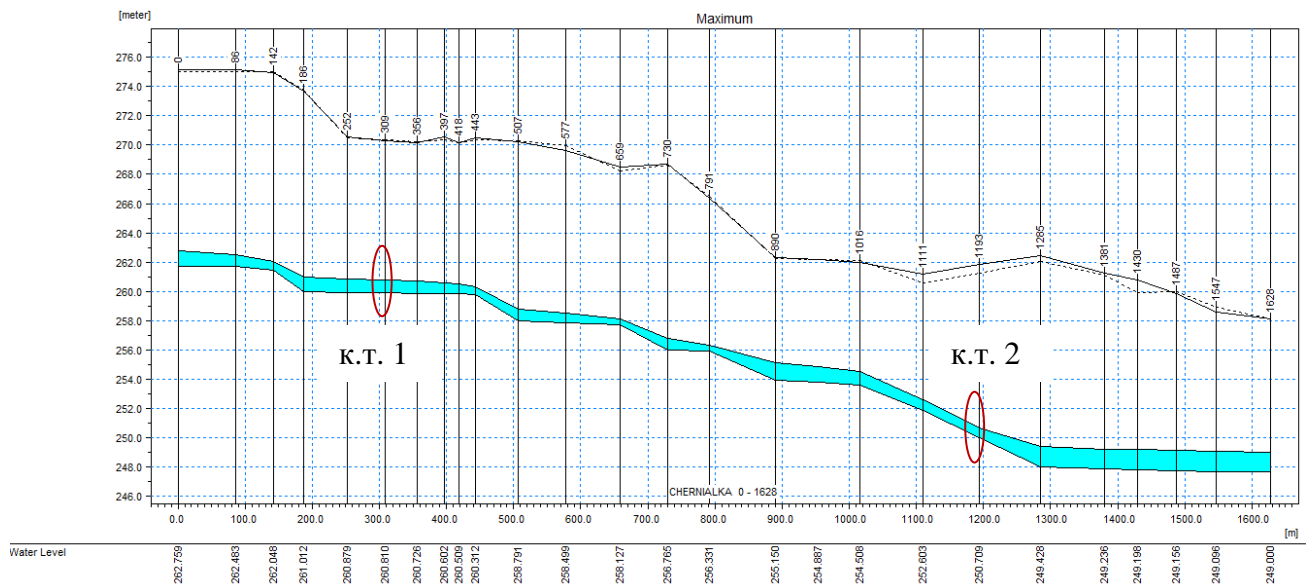
B – ширина на водната повърхност [m].

Отчитането на тези показатели бе извършено в предварително избрани представителни напречни сечения. Изборът на контролните точки (контролните напречни сечения) бе съобразен със следните предпоставки за коректност при отчитане на резултатите:

- 1) Да бъдат отдалечени от места, в които се формира критична дълбочина.
- 2) Да бъдат отдалечени от зоната на влияние на условно зададеното гранично състояние за водно ниво при изхода на модела.



Фиг. 4 Контролни сечения в надлъжния профил на река Тученица



Фиг. 5 Контролни сечения в надлъжния профил на река Чернялка

### 3.2. Принципни положения при задаване на грапавина в Mike 11

Съпротивлението на речното легло в Mike 11 може да бъде определено по един от трите метода:



- а) метод на Шези
- б) метод на Манинг
- в) метод на Дарси-Вайсбах

Съпротивленето като фактор в динамичното уравнение от системата уравнения на Сен-Венан по метода на Шези се описва със следния израз:  $\frac{g \cdot Q^2}{C^2 \cdot \omega \cdot R}$ , където

Q – водно количество [m<sup>3</sup>/s],

ω – площ на активното сечение [m<sup>2</sup>],

R – съпротивителен или хидравличен радиус [m],

C – коефициент на Шези.

По Манинг грапавината в динамичното уравнение присъства в следния вид:

$\frac{g \cdot Q^2}{M^2 \cdot \omega \cdot R^{4/3}}$ , където M е число на Манинг.

Числото на *Манинг-M* съответства на т.нар. коефициент на Щриклер, намерил по-широко приложение в практиката на немско-горящите страни.

У нас и в много други страни е по-познат и приложим коефициента на грапавина отбелязван с *n*, известен като *Манинг-n*. Той е в обратно пропорционална зависимост с *Манинг-M*, съгласно записът:  $M = \frac{1}{n}$ .

Міке 11 възприема стойностите на коефициента на грапавина *Манинг-n* в граници от 0,01 за гладки реки и канали до 0,1 за обрасли с растителност речни легла. Съответно *Манинг-M* се възприема в граници 100-10.

Коефициента на Шези представен чрез коефициента на грапавина *Манинг-n* и респективно *Манинг-M* се дава в следната зависимост:  $C = \frac{R^{1/6}}{n} = M \cdot R^{1/6}$ .

Изборът на метод на Шези или Манинг за отчитане на съпротивлението в динамичното уравнение оказва влияние върху стойността на величината R. Величината M в записа на динамичното уравнение по Манинг по принцип може да се приеме като

независима от дълбочината, докато коефициентът на Шези С се изменя с изменение в дълбочината.

В българската практика е възприето при хидравлични изчисления грапавината да се задава с коефициент *Манинг-п* и величината R да се определя като хидравличен радиус. Затова в настоящите изследвания сме избрали да работим с тези общо възприетите за България величини за отчитане на съпротивлението на речното легло, независимо от опциите, които ни предоставя софтуера Mike 11.

По отношение на терена, програмата предоставя следните варианти за задаване на коефициента на грапавина:

- а) една и съща грапавина по протежение на разглеждания участък;
- б) различна грапавина в руслото и заливните тераси;
- в) различен коефициент на грапавина във всяка точка от всеки един напречен профил;
- г) различна грапавина за всеки профил по отделно;
- д) различна грапавина за група профили или участъци от река.

За целите на настоящия доклад сме се концентрирали върху работа с една и съща грапавина в първия експеримент и различни грапавини в руслото и терасите във втория експеримент. В разширение на втория експеримент получените резултати бяха съпоставени с резултати при еквивалентна грапавина по Павловски.

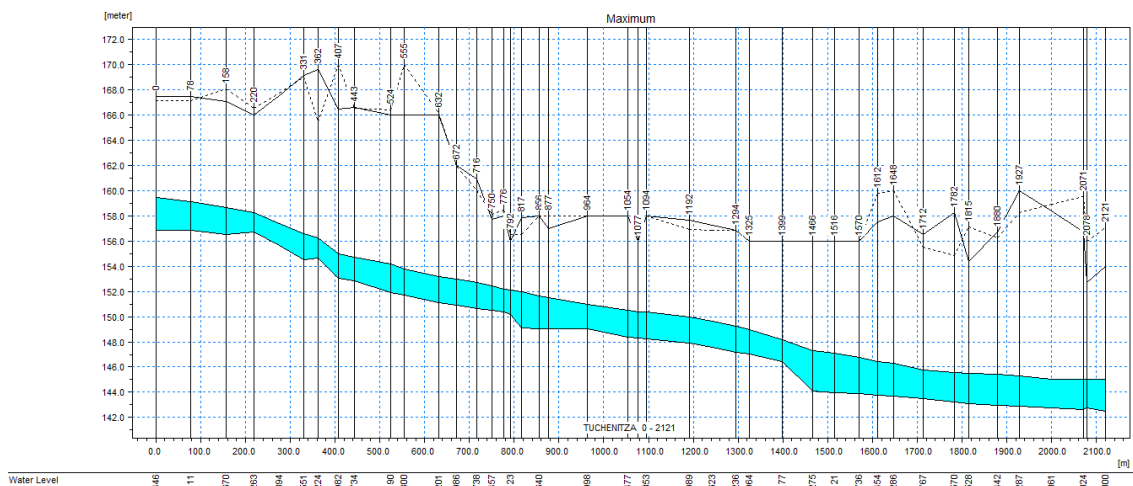
### **3.3. Експеримент с коефициента при задаване на еднакъв коефициент на грапавина по дължина на изследваните участъци**

В избраните за обект на изследване участъци от реките Тученица и Чернялка бяха направени няколко серии числени експерименти с всяко от водните количества с периоди на повторение веднъж на 100, 1000 и 5000 години и вариране с три стойности на грапавина, еднакво зададена по дължина на изследваните участъците – 0.022, 0.03 и 0.05 за Тученица и 0.03, 0.05, 0.07 за Чернялка.

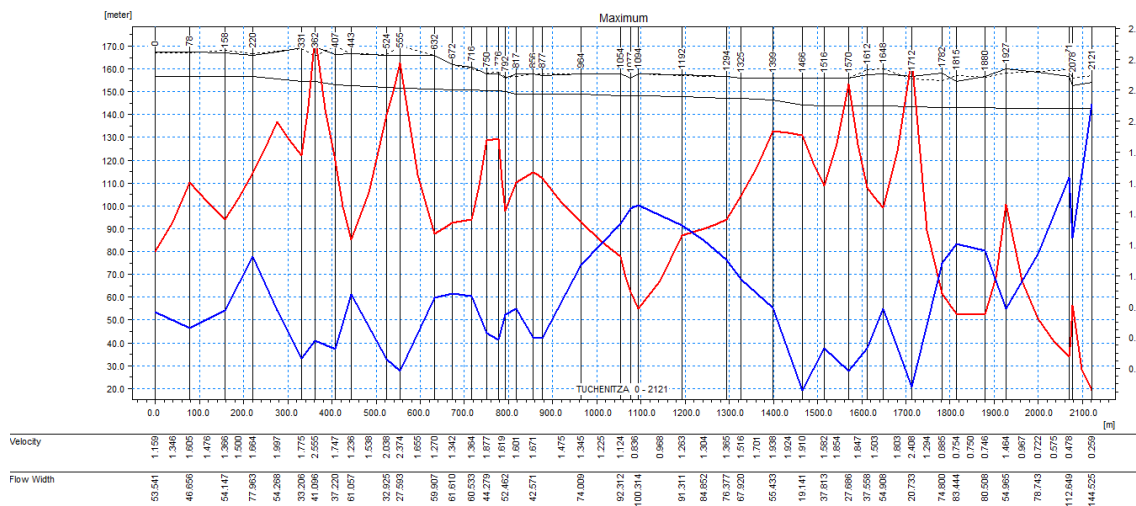
*6<sup>th</sup> Bulgarian-Austrian Seminar*  
***Practice and Research in Flood Risk Management***  
*Sofia, 7 November 2013*

При всяка от тези предпоставки в избраните контролни точки (сечения) са отчетени стойности за водно ниво, скорост и ширина на водната повърхност, получени като резултат от моделирането.

Следващите фигури са пример за илюстриране на резултатите от моделирането.



*Фиг. 5. Изчислени стойности на водното ниво (респективно дълбочините) в надлъжен профил*



*Фиг. 5. Изменение на скорости и широчините на водната повърхност по дължина на течението*

### **3.3.1. Резултати**

Резултатите от проведените експерименти са показани в следващите таблици.

Таблица 1. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n= 0.022, 0.03$  и  $0,05$  и водно количество  $Q_{100} = 44,91 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	мах. дълбочини - h, m			Δh, m			Δh, %		
		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$	$n[0.022, 0.03]$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.022, 0.05]$	$\Delta h(0.022-0.03)/h_{0.022}$	$\Delta h(0.03-0.05)/h_{0.03}$	$\Delta h(0.022-0.05)/h_{0.05}$
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	152.369	152.564	152.869	151.137	1.232	1.427	1.732	0.19	0.31	0.50	16	21	41
к.т. Т2	1054	150.061	150.138	150.281	148.359	1.702	1.779	1.922	0.08	0.14	0.22	5	8	13
к.т. Т3	1648	145.237	145.394	145.783	143.708	1.529	1.686	2.075	0.16	0.39	0.55	10	23	36

Таблица 2. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n= 0.022, 0.03$  и  $0,05$  и водно количество  $Q_{100} = 44,91 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$	$n[0.022, 0.03]$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.022, 0.05]$	$\Delta V(0.022-0.03)/h_{0.022}$	$\Delta V(0.03-0.05)/h_{0.03}$	$\Delta V(0.022-0.05)/h_{0.05}$
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	2.717	2.048	1.175	-0.67	-0.87	-1.54	-25	-43	-57
к.т. Т2	1054	1.535	1.234	0.907	-0.30	-0.33	-0.63	-20	-26	-41
к.т. Т3	1648	2.520	2.055	1.411	-0.47	-0.64	-1.11	-18	-31	-44

Таблица 3. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n= 0.022, 0.03$  и  $0,05$  и водно количество  $Q_{100} = 44,91 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност В, m			ΔВ, m			ΔВ, %		
		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05	n[0.022, 0.03]	n[0.03, 0.05]	n[0.022, 0.05]	ΔВ(0.022-0.03)/h0.0 22	ΔВ(0.03-0.05)/h0.0 3	ΔВ(0.022-0.05)/h0.0 22
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	23.303	30.470	46.930	7.17	16.46	23.63	31	54	101
к.т. Т2	1054	84.825	86.217	88.782	1.39	2.57	3.96	2	3	5
к.т. Т3	1648	21.046	23.015	27.891	1.97	4.88	6.85	9	21	33

Таблица 4. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n=0.022, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{1000} = 62,71 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	мах. дълбочини - h, m			Δh, m			Δh, %		
		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05	n[0.022, 0.03]	n[0.03, 0.05]	n[0.022, 0.05]	Δh(0.022-0.03)/h0.0 22	Δh(0.03-0.05)/h0.0 3	Δh(0.022-0.05)/h0.0 22
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	152.325	152.778	153.067	151.137	1.188	1.641	1.93	0.45	0.29	0.74	38	18	62
к.т. Т2	1054	150.142	150.218	150.397	148.359	1.783	1.859	2.038	0.08	0.18	0.25	4	10	14
к.т. Т3	1648	145.434	145.619	146.134	143.708	1.726	1.911	2.426	0.19	0.51	0.70	11	27	41

Таблица 5. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n=0.01, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{1000} = 62,71 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05	n[0.022, 0.03]	n[0.03, 0.05]	n[0.022, 0.05]	ΔV(0.022-0.03)/h0.0 22	ΔV(0.03-0.05)/h0.0 3	ΔV(0.022-0.05)/h0.0 22
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	2.829	1.943	1.227	-0.89	-0.72	-1.60	-31	-37	-57
к.т. Т2	1054	1.707	1.434	1.040	-0.27	-0.39	-0.67	-16	-27	-39
к.т. Т3	1648	2.740	2.271	1.418	-0.47	-0.85	-1.32	-17	-38	-48

Таблица 6. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n=0.022, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{1000} = 62,71 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност В, m			$\Delta B$ , m			$\Delta B$ , %		
		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$	$n[0.022, 0.03]$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.022, 0.05]$	$\Delta B(0.022-0.03)/h_{0.0}$ 22	$\Delta B(0.03-0.05)/h_{0.0}$ 3	$\Delta B(0.022-0.05)/h_{0.0}$ 22
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	30.787	43.354	54.642	12.57	11.29	23.86	41	26	77
к.т. Т2	1054	86.284	87.649	90.877	1.36	3.23	4.59	2	4	5
к.т. Т3	1648	23.519	25.829	50.386	2.31	24.56	26.87	10	95	114

Таблица 7. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n=0.022, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{5000} = 76,04 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	макс. дълбочини - h, m			$\Delta h$ , m			$\Delta h$ , %		
		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$		при $n=0.022$	при $n=0.03$	при $n=0.05$	$n[0.022, 0.03]$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.022, 0.05]$	$\Delta h(0.022-0.03)/h_{0.0}$ 22	$\Delta h(0.03-0.05)/h_{0.0}$ 3	$\Delta h(0.022-0.05)/h_{0.0}$ 22
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	632	152.722	152.872	153.201	151.137	1.585	1.735	2.064	0.15	0.33	0.48	9	19	30
к.т. Т2	1054	150.191	150.272	150.477	148.359	1.832	1.913	2.118	0.08	0.21	0.29	4	11	16
к.т. Т3	1648	145.561	145.765	146.286	143.708	1.853	2.057	2.578	0.20	0.52	0.72	11	25	39

Таблица 8. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еднаква грапавина  $n=0.022, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{5000} = 76,04 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05	n[0.022, 0.03]	n[0.03, 0.05]	n[0.022, 0.05]	ΔV(0.022-0.03)/h0.0 22	ΔV(0.03-0.05)/h0.0 3	ΔV(0.022-0.05)/h0.0 22
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	632	2.654	1.980	1.270	-0.67	-0.71	-1.38	-25	-36	-52
к.т. T2	1054	1.843	1.560	1.124	-0.28	-0.44	-0.72	-15	-28	-39
к.т. T3	1648	2.909	2.423	1.441	-0.49	-0.98	-1.47	-17	-41	-50

Таблица 9. Резултати от моделно изследване в участък от река Тученица при еквивалентна грапавина  $n = 0.022, 0.03$  и  $0.05$  и водно количество  $Q_{5000} = 76,04 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност B, m			ΔB, m			ΔB, %		
		при n=0.022	при n=0.03	при n=0.05	n[0.022, 0.03]	n[0.03, 0.05]	n[0.022, 0.05]	ΔB(0.022-0.03)/h0.0 22	ΔB(0.03-0.05)/h0.0 3	ΔB(0.022-0.05)/h0.0 22
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	632	41.179	47.034	59.907	5.86	12.87	18.73	14	27	45
к.т. T2	1054	87.165	88.628	92.312	1.46	3.68	5.15	2	4	6
к.т. T3	1648	25.108	27.665	54.908	2.56	27.24	29.80	10	98	119

Таблица 10. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n = 0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{100} = 14,05 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	макс. дълбочини - h, m			Δh, m			Δh, %		
		при n=0.03	при n=0.05	при n=0.07		при n=0.03	при n=0.05	при n=0.07	n[0.03, 0.05]	n[0.05, 0.07]	n[0.03, 0.07]	Δh(0.03-0.05)/h0.03	Δh(0.05-0.07)/h0.05	Δh(0.03-0.07)/h0.03
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	260.521	260.674	260.805	259.907	0.614	0.767	0.898	0.15	0.13	0.28	25	17	46
к.т. T2	1193	250.429	250.566	250.676	249.983	0.446	0.583	0.693	0.14	0.11	0.25	31	19	55

Таблица 11. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина n= 0.03, 0.05 и 0.07 и водно количество  $Q_{100} = 14,05 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при n=0.03	при n=0.05	при n=0.07	n[0.03, 0.05]	n[0.05, 0.07]	n[0.03, 0.07]	ΔV(0.03-0.05)/h0.03	ΔV(0.05-0.07)/h0.05	ΔV(0.03-0.07)/h0.03
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	0.490	0.383	0.323	-0.11	-0.06	-0.17	-22	-16	-34
к.т. T2	1193	2.245	1.699	1.421	-0.55	-0.28	-0.82	-24	-16	-37

Таблица 12. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина n=0.03, 0.05 и 0.07 и водно количество  $Q_{100} = 14,05 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност B, m			ΔB, m			ΔB, %		
		при n=0.03	при n=0.05	при n=0.07	n[0.03, 0.05]	n[0.05, 0.07]	n[0.03, 0.07]	ΔB(0.03-0.05)/h0.03	ΔB(0.05-0.07)/h0.05	ΔB(0.03-0.07)/h0.03
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	41.796	45.143	47.991	3.35	2.85	6.20	8	6	15
к.т. T2	1193	11.814	12.396	12.865	0.58	0.47	1.05	5	4	9



Таблица 13. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n = 0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{1000} = 19,62 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	макс. дълбочини - h, m			Δh, m			Δh, %		
		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.05, 0.07]$	$n[0.03, 0.07]$	$\Delta h(0.03-0.05)/h_{0.03}$	$\Delta h(0.05-0.07)/h_{0.05}$	$\Delta h(0.03-0.07)/h_{0.03}$
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	260.623	260.810	260.963	259.907	0.716	0.903	1.056	0.19	0.15	0.34	26	17	47
к.т. T2	1193	250.539	250.709	250.855	249.983	0.556	0.726	0.872	0.17	0.15	0.32	31	20	57

Таблица 14. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n = 0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{1000} = 19,62 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.05, 0.07]$	$n[0.03, 0.07]$	$\Delta V(0.03-0.05)/h_{0.03}$	$\Delta V(0.05-0.07)/h_{0.05}$	$\Delta V(0.03-0.07)/h_{0.03}$
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	0.577	0.448	0.379	-0.13	-0.07	-0.20	-22	-15	-34
к.т. T2	1193	2.491	1.890	1.566	-0.60	-0.32	-0.93	-24	-17	-37

Таблица 15. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n = 0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{1000} = 19,62 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m			ΔB, m			ΔB, %		
		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.05, 0.07]$	$n[0.03, 0.07]$	$\Delta B(0.03-0.05)/h_{0.03}$	$\Delta B(0.05-0.07)/h_{0.05}$	$\Delta B(0.03-0.07)/h_{0.03}$
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	44.026	48.099	51.439	4.07	3.34	7.41	9	7	17
к.т. T2	1193	12.282	13.007	13.628	0.73	0.62	1.35	6	5	11

Таблица 16. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n=0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{5000} = 23,79 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение във водното ниво и дълбочината

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m			Кота дъно, m	мах. дълбочини - h, m			Δh, m			Δh, %		
		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.05, 0.07]$	$n[0.03, 0.07]$	$\Delta h(0.03-0.05)/h_{0.0}$ 3	$\Delta h(0.05-0.07)/h_{0.0}$ 5	$\Delta h(0.03-0.07)/h_{0.0}$ 3
		1	2	3		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	260.688	260.895	261.066	259.907	0.781	0.988	1.159	0.21	0.17	0.38	27	17	48
к.т. T2	1193	250.609	250.810	250.972	249.983	0.626	0.827	0.989	0.20	0.16	0.36	32	20	58

Таблица 17. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n=0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{5000} = 23,79 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в скоростта

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s			ΔV, m <sup>2</sup> /s			ΔV, %		
		при $n=0.03$	при $n=0.05$	при $n=0.07$	$n[0.03, 0.05]$	$n[0.05, 0.07]$	$n[0.03, 0.07]$	$\Delta V(0.03-0.05)/h_{0.0}$ 3	$\Delta V(0.05-0.07)/h_{0.0}$ 5	$\Delta V(0.03-0.07)/h_{0.0}$ 3
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. T1	309	0.636	0.493	0.417	-0.14	-0.08	-0.22	-22	-15	-34
к.т. T2	1193	2.672	2.003	1.668	-0.67	-1.00	-1.00	-25	-50	-38

Таблица 18. Резултати от моделно изследване в участък от река Чернялка при еднаква грапавина  $n=0.03, 0.05$  и  $0.07$  и водно количество  $Q_{5000} = 23,79 \text{ m}^3/\text{s}$  с отчитане на изменение в ширината на водната повърхност

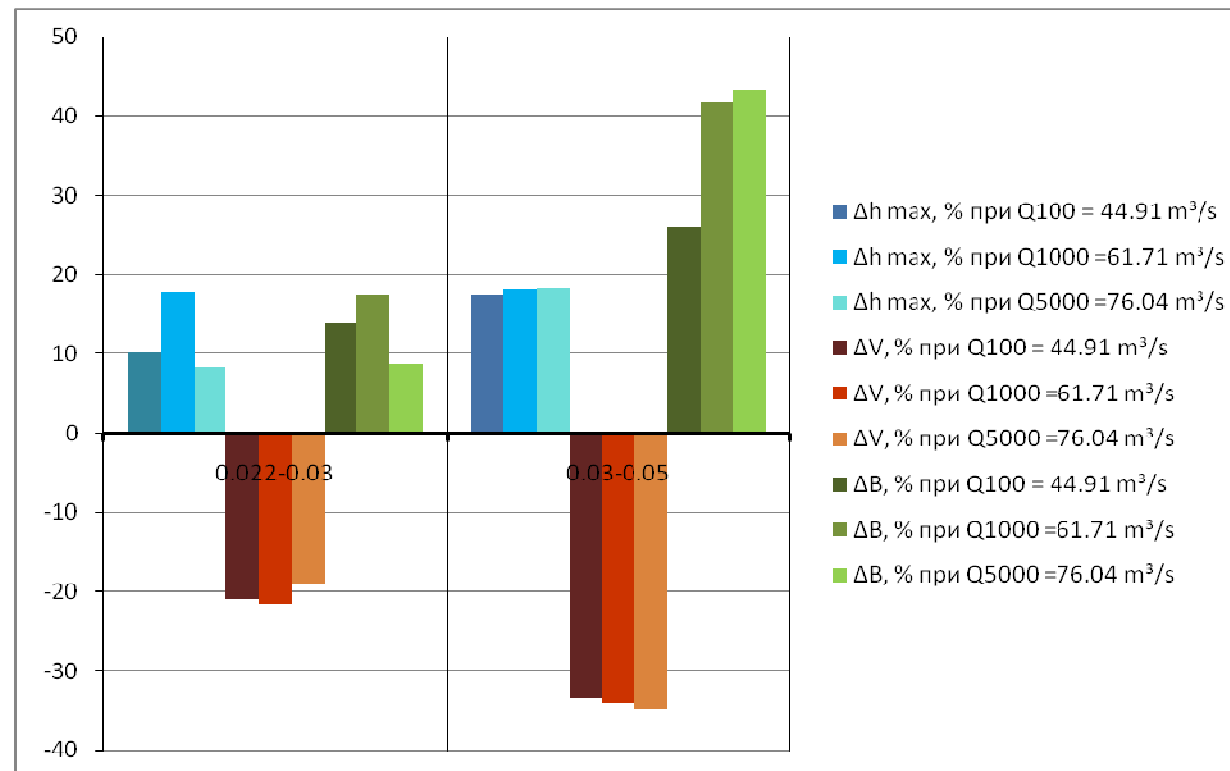
№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност В, m			ΔВ, m			ΔВ, %		
		при n=0.03	при n=0.05	при n=0.07	n[0.03, 0.05]	n[0.05, 0.07]	n[0.03, 0.07]	ΔВ(0.03-0.05)/h0.03	ΔВ(0.05-0.07)/h0.05	ΔВ(0.03-0.07)/h0.03
		1	2	3	2-1	3-2	3-1	(2-1)/1	(3-2)/2	(3-1)/1
к.т. Т1	309	45.437	49.966	53.685	4.53	3.72	8.25	10	7	18
к.т. Т2	1193	12.580	13.440	14.131	0.86	0.69	1.55	7	5	12

### **3.3.2. Анализ на резултатите**

Резултатите от проведените експерименти бяха обобщени за изследваните участъци от реките Тученица и Чернялка въз основа на изчислени средно аритметични стойности на процентното изменение на проверяваните елементи на пропускната способност в контролните сечения. Съответните сценарии на проведените експерименти са анализирани в таблиците, както следва.

Таблица 41. Обобщена таблица за процентното изменение на характеристиките на пропускната способност в следствие изменение в грапавината и водните количества за река Тученица

$\Delta n$	$\Delta h$ max, % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta h$ max, % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta h$ max, % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s
0.022-0.03	10	18	8	-21	-21	-19	14	17	9
0.03-0.05	17	18	18	-33	-34	-35	26	42	43
0.022-0.05	30	39	28	-47	-48	-47	46	66	57



Фиг. 7. Процентното изменение на пропусните характеристики при изменение в грапавината и водните количества за река Тученица

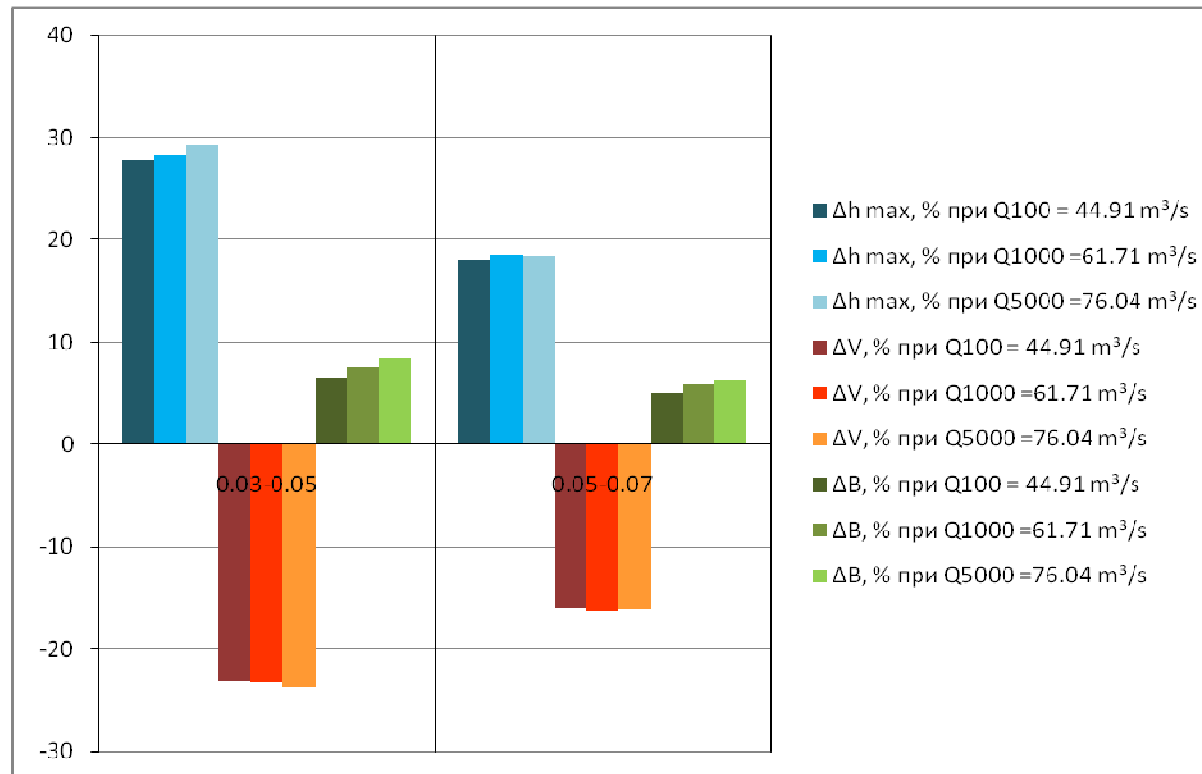
*6<sup>th</sup> Bulgarian-Austrian Seminar*  
***Practice and Research in Flood Risk Management***  
*Sofia, 7 November 2013*

---

Таблица 42. Обобщена таблица за процентното изменение на характеристиките на пропускната способност вследствие изменение в грапавината и водните количества за река Чернялка

$\Delta n$	$\Delta h$ max, % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta h$ max, % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta h$ max, % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta V$ , % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q100 = 44.91 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q1000 =61.71 m <sup>3</sup> /s	$\Delta B$ , % при Q5000 =76.04 m <sup>3</sup> /s
0.03-0.05	28	28	29	-23	-23	-24	6	8	8
0.05-0.07	18	19	18	-16	-16	-16	5	6	6
0.03-0.07	51	52	53	-35	-36	-36	12	14	15

*6<sup>th</sup> Bulgarian-Austrian Seminar*  
***Practice and Research in Flood Risk Management***  
*Sofia, 7 November 2013*



*Фиг. 8. Процентното изменение на пропускните характеристики при изменение на грапавината и водните количества за река Чернялка*

*6<sup>th</sup> Bulgarian-Austrian Seminar*  
*Practice and Research in Flood Risk Management*  
*Sofia, 7 November 2013*

---

От таблиците и графиките се вижда, че когато речното легло е компактно, както в примера за река Чернялка, изменението на грапавините в диапазони 0.03-0.05, 0.05-0.07 и 0.03-0.07 е свързано с пропорционално процентно увеличаване на дълбочините и обхвата на заливане и намаляване на скоростите при протичане на различни водни количества с периоди на повторение веднъж на 100, 1000 и 5000 години.

За разгледания участък от река Чернялка тези процентни изменения са както следва:

- а) при изменение в грапавината от 0,03 на 0,05 се отчита:
- процентно увеличение на дълбочините с 28 - 29%;
  - процентно увеличение на обхвата на разливане с 6 - 8%;
  - процентно намаление на скоростта с 23 - 24%.
- б) при изменение в грапавината от 0,05 на 0,07 се отчита:
- процентно увеличение на дълбочините с 18 - 19%;
  - процентно увеличение на обхвата на разливане с 5 - 6%;
  - процентно намаление на скоростта с 16%.
- в) при изменение в грапавината от 0,03 на 0,07 се отчита:
- процентно увеличение на дълбочините с около 52%;
  - процентно увеличение на обхвата на разливане с около 14%;
  - процентно намаление на скоростта с 35 - 36%.

При русло с тераси, какъвто е примера на река Тученица, с увеличаване на протичащите водни количества и изменение на грапавината в диапазони 0.022-0.03, 0.03-0.05 и 0.022-0.05 се наблюдават по-раздвижени стойности в процентното изменение на дълбочини, обхват и скорости, които не следват определена закономерност. Това се дължи на факта, че при задаваните водни количества, водните нива са близки до границата между леглото на основното течение и терасите.

За разгледания участък от река Тученица процентните изменения в пропусни характеристики са както следва:

- а) при изменение в грапавината от 0,022 на 0,03 се отчита:
- процентно увеличение в дълбочините с 10%, 18% и 8% при различните водни количества.
-



- процентно увеличение в обхвата на заливане (широчината на водната повърхност) с 26 %, 17% и 9%.
- процентно понижение в скоростта с 14 %, 21% и 19%.

б) при изменение в грапавината от 0,03 на 0,05 се отчита:

- процентно увеличение в дълбочините с 17 - 18%.
- процентно увеличение в обхвата на заливане (широчината на водната повърхност) с 21 до 43%.
- процентно понижение в скоростта с 33 до 35%.

В обобщение на показаните резултати могат да се направят следните изводи:

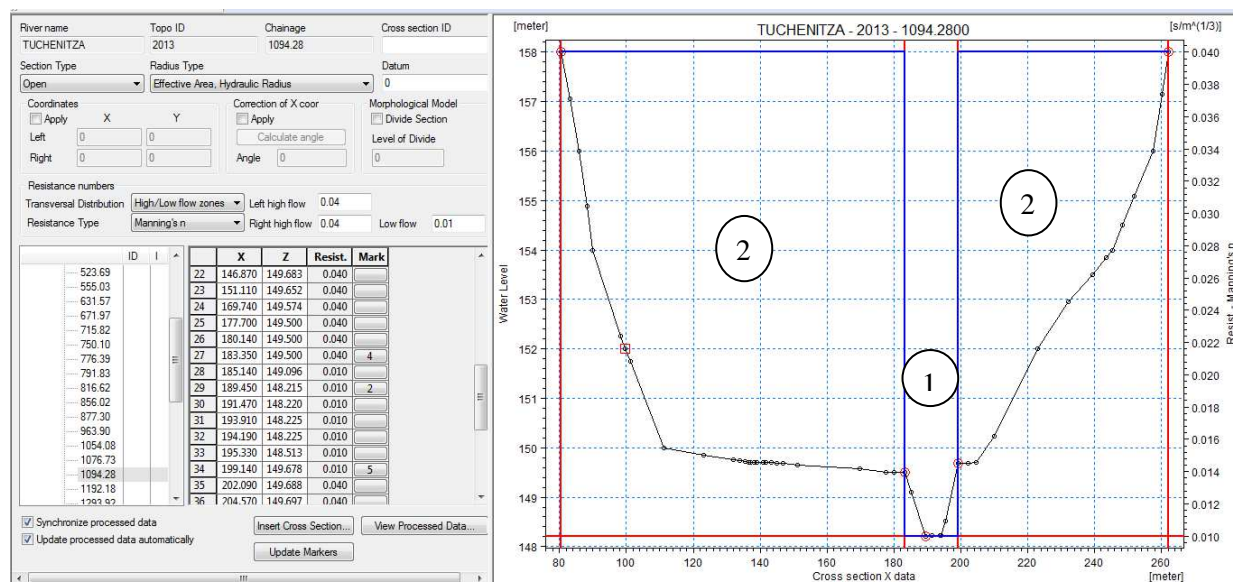
- 1) Анализът на чувствителността на изходни параметри като скорост, дълбочина и обхват при 1D хидравличен модел на открити течения в долини с компактна U-образна конфигурация на леглото, показва, че изменението на грапавината в обхват, близо до долната граница на изследвания диапазон (0.03-0.05), води до чувствително увеличение на дълбочините до 29% и значително намаляване на скоростите до 24%. Подобни изменения на грапавината в обхват, близо до горната граница на изследвания диапазон (0,05-0,07) не оказват такова влияние върху дълбочините и скоростите. При дълбочините се отчита увеличение с 19%, а при скоростите намаление с 16%.
- 2) При сложна конфигурация на напречното сечение на речното легло тази тенденция не се потвърждава.

#### **3.4. Експеримент с различни стойности на грапавината в руслото и заливните тераси**

Този експеримент бе проведен само в рамките на изследвания участък на река Тученица като по-благоприятен обект за това изследване поради наличието на ясно изразени тераси и легло на руслото, за разлика от река Чернялка, чието легло се описва с еднородни профили подари, което бе отхвърлена като неподходяща основа за това изследване.

---

Като подготовка за експеримента всеки един от напречните профили на река Тученица бе разделен на три зони – една за основното течение (отбелязана с 1) и две, които обхващат лявата и дясна заливни тераси (отбелязани с 2), както е показано на графиката.



Фиг. 6. Напречен профил с обособени зони за основно течение и прилежащи заливни тераси на река Тученица

Общата пропускна характеристика на всеки профил се определя като сбор от пропуските характеристики на всяка от зоните, на които е разделен.

$$\text{Кобц.} = \text{Кляво} + \text{Косовно} + \text{Кдясно}$$

В зона 1 на основното течение бе зададен коефициент на грапавина 0,022 и за прилежащите зони на терасите, маркирани с 2, бяха проиграни два случая на грапавина - 0.044 и 0.065.

В резултат от моделирането при двата сценария - (1)  $n$ -русло=0.022 и  $n$ -тераси=0,044 и (2)  $n$ -русло=0.022 и  $n$ -тераси=0.065, беше отчетено изменение на водните нива в 15 напречни сечения, разпределени приблизителни на равни разстояния по дължина на течението и за всеки от тях, при съответното водно ниво, бяха отчетени намокрените периметри на руслото –  $\chi_1$  и на терасите  $\chi_2$ . Изчислени бяха средно аритметичните стойности  $\chi_{cp1}$  и  $\chi_{cp2}$  за изследвания участък, след което за двата

сценария на задаване на коефициенти на грапавина бе определяна еквивалентната грапавина по формулата на Павловски [7].

$$n = \sqrt{\frac{(n_1^2 \cdot \chi_1 + n_2^2 \cdot \chi_2 + \dots)}{(\chi_1 + \chi_2 + \dots)}}$$

Изчислените еквивалентни стойности на грапавините за всеки от изследваните речни участъци са отразени в следващите таблици.

Важно е тук да се отбележи, че експериментът е проведен не с характерните за реката водни количества, а с водни количества –  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  и  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ , при които съответно се постига съотношението между намокряне на руслото към терасите 1:2 и 1:4.

Таблица 19. Изчислени стойности на еквивалентна грапавина по Павловски за река Тученица при грапавина  $n=0.022$  в руслото и  $n=0.044$  в терасите и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

Q=500 m <sup>3</sup> /s, n 0.022-0.044					
Профил	ВН	ВН русло	$\chi$	$\chi_1$	$\chi_2$
157.94	159.792	157.552	67.352	13.751	53.601
361.6	157.288	155.552	53.14	17.034	36.106
443.44	155.855	153.749	81.345	13.532	67.813
523.69	155.339	153.323	51.616	14.277	37.339
631.57	154.239	152.482	94.582	27.474	67.108
715.82	153.732	151.841	96.964	22.467	74.497
856.02	152.707	151.080	88.99	28.277	60.713
963.9	151.871	150.442	90.375	35.88	54.495
1054.08	151.272	149.682	107.178	26.138	81.04
1192.28	150.880	149.556	112.301	71.239	41.062
1325.46	149.762	148.407	125.055	23.331	101.724
1398.62	149.107	147.904	94.703	26.631	68.072
1569.79	148.066	146.354	68.296	17.446	50.85
1647.58	147.632	145.592	93.092	25.591	67.501
1782.11	147.415	144.852	150.555	49.13	101.425
			$\chi_{cp}$	27.47987	64.22307
			n	0.022	0.044
			$n_{cp}$	0.039	

Таблица 20. Изчислени стойности на еквивалентна грапавина по Павловски за река Тученица при грапавина  $n=0.022$  в руслото и  $n=0.065$  в терасите и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

Q=500 m <sup>3</sup> /s, n 0.022-0.065						
Профил	ВН	ВН русло	χ	χ <sub>1</sub>	χ <sub>2</sub>	
157.94	160.027	157.552	70.585	13.751	56.834	
361.6	157.517	155.552	55.748	17.034	38.714	
443.44	156.005	153.749	83.507	13.532	69.975	
523.69	155.462	153.323	54.187	14.277	39.91	
631.57	154.372	152.482	96.496	27.474	69.022	
715.82	153.867	151.841	101.823	22.467	79.356	
856.02	152.850	151.080	95.377	28.277	67.1	
963.9	152.006	150.442	92.516	35.88	56.636	
1054.08	151.454	149.682	109.825	26.138	83.687	
1192.28	151.052	149.556	116.556	71.239	45.317	
1325.46	149.853	148.407	131.569	23.331	108.238	
1398.62	149.188	147.904	97.822	26.631	71.191	
1569.79	148.163	146.354	70.128	17.446	52.682	
1647.58	147.782	145.592	97.159	25.591	71.568	
1782.11	147.572	144.852	153.621	49.13	104.491	
				χ <sub>cp</sub>	27.47987	67.64807
				n	0.022	0.065
				n <sub>cp</sub>	0.056	

Таблица 21. Резултати за изменение в дълбочините при грапавина n-0.022 в руслото и n-0.044 в терсите и водно количество Q = 1500 m<sup>3</sup>/s

Q=1500 m <sup>3</sup> /s, n 0.022-0.044						
Профил	ВН	ВН русло	χ	χ <sub>1</sub>	χ <sub>2</sub>	
157.94	161.517	157.552	105.983	13.751	92.232	
361.6	159.006	155.552	78.859	17.034	61.825	
443.44	157.717	153.749	108.829	13.532	95.297	
523.69	157.174	153.323	96.913	14.277	82.636	
631.57	155.888	152.482	117.858	27.474	90.384	
715.82	155.356	151.841	119.485	22.467	97.018	
856.02	154.358	151.080	150.152	28.277	121.875	
963.9	153.426	150.442	129.938	35.88	94.058	
1054.08	152.786	149.682	125.478	26.138	99.34	
1192.28	152.310	149.556	142.95	71.239	71.711	
1325.46	151.275	148.407	151.607	23.331	128.276	
1398.62	150.771	147.904	133.356	26.631	106.725	
1569.79	149.738	146.354	109.669	17.446	92.223	
1647.58	149.063	145.592	117.174	25.591	91.583	
1782.11	148.695	144.852	175.046	49.13	125.916	
				χ <sub>cp</sub>	27.47987	96.73993
				n	0.022	0.044
				n <sub>cp</sub>	0.040	

Таблица 22. Изчислени стойности на еквивалентна грапавина по Павловски за река Тученица при грапавина  $n=0.022$  в руслото и  $n=0.065$  в терасите и водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

Q=1500 m <sup>3</sup> /s, n 0.022-0.065					
Профил	ВН	ВН русло	$\chi$	$\chi^1$	$\chi^2$
157.94	161.995	157.552	114.606	13.751	100.855
361.6	159.407	155.552	88.028	17.034	70.994
443.44	158.094	153.749	114.758	13.532	101.226
523.69	157.502	153.323	105.601	14.277	91.324
631.57	156.236	152.482	121.703	27.474	94.229
715.82	155.673	151.841	122.365	22.467	99.898
856.02	154.698	151.080	154.521	28.277	126.244
963.9	153.771	150.442	139.494	35.88	103.614
1054.08	153.254	149.682	130.489	26.138	104.351
1192.28	152.706	149.556	146.952	71.239	75.713
1325.46	151.607	148.407	154.315	23.331	130.984
1398.62	151.041	147.904	134.671	26.631	108.04
1569.79	150.056	146.354	116.788	17.446	99.342
1647.58	149.393	145.592	122.166	25.591	96.575
1782.11	149.151	144.852	182.346	49.13	133.216
			$\chi_{\text{ср}}$	27.47987	102.4403
			n	0.022	0.065
			n <sub>ср</sub>	0.059	

### 3.4.1. Резултати

Въз основа на извършените моделни изследвания при двата варианта за коефициенти на грапавина в руслото и терасите съответно - (1)  $n$ -русло=0.022 и  $n$ -тераси=0,044 и (2)  $n$ -русло=0.022 и  $n$ -тераси=0.065 и съответните водни количества, бяха отчетени изменения във водни нива (дълбочини), скорости и широчина на водната повърхност. Същите изследвания бяха повторени за еквивалентно определените стойности на грапавината. Резултатите са показани в таблиците.

Таблица 23. Изменение в дълбочините при грапавина  $n=0.022$  в руслото и  $n=0.044$  и  $n=0.065$  в терасите и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m		Кота дъно, m	макс. дълбочини - h, m		Δh, m	Δh, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2		1	2		
							2-1	(2-1)/1
к.т. Т1	632	154.239	154.372	151.137	3.102	3.235	0.13	4.3
к.т. Т2	1054	151.272	151.454	148.359	2.913	3.095	0.18	6.2
к.т. Т3	1648	147.632	147.782	143.708	3.924	4.074	0.15	3.8

Таблица 24. Изменение в дълбочините при еквивалентна и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m		Кота дъно, m	макс. дълбочини - h, m		Δh, m	Δh, %
		при n - 0.039	при n - 0.056		при n - 0.039	при n - 0.056		
		1	2		1	2		
							2-1	(2-1)/1
к.т. Т1	632	154.707	155.161	151.137	3.57	4.024	0.45	12.7
к.т. Т2	1054	151.615	152.072	148.359	3.256	3.713	0.46	14.0
к.т. Т3	1648	147.965	148.354	143.708	4.257	4.646	0.39	9.1

Таблица 25. Изменение в скоростите при граваина n-0.022 в руслото и n-0.044 и n-0.065 в терасите и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV, m <sup>2</sup> /s	ΔV, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2		
				2-1	(2-1)/1
к.т. Т1	632	3.667	3.336	-0.33	-9.0
к.т. Т2	1054	3.165	2.724	-0.44	-13.9
к.т. Т3	1648	2.937	2.702	-0.24	-8.0

Таблица 26. Изменение в скоростите при еквивалентна граваина и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV, m <sup>2</sup> /s	ΔV, %
		при n - 0.039	при n - 0.056		
		1	2		
к.т. T1	632	2.716	2.17	-0.55	-20.1
к.т. T2	1054	2.424	1.848	-0.58	-23.8
к.т. T3	1648	2.462	2.070	-0.39	-15.9

Таблица 27. Изменение в широчината на водната повърхност при грапавина n-0.022 в руслото и n-0.044 и n-0.065 в терасите и водно количество Q = 500 m<sup>3</sup>/s

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ΔB, m	ΔB, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2		
к.т. T1	632	94.560	96.467	1.91	2.0
к.т. T2	1054	105.458	107.204	1.75	1.7
к.т. T3	1648	86.056	89.080	3.02	3.5

Таблица 28. Изменение в широчината на водната повърхност при еквивалентна грапавина и водно количество Q = 500 m<sup>3</sup>/s

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ΔB, m	ΔB, %
		при n - 0.039	при n - 0.056		
		1	2		
к.т. T1	632	101.285	107.803	6.52	6.4
к.т. T2	1054	108.750	113.140	4.39	4.0
к.т. T3	1648	92.762	100.607	7.85	8.5

Таблица 29. Изменение в дълбочините при грапавина n-0.022 в руслото и n-0.044 и n-0.065 в терасите и водно количество Q = 1500 m<sup>3</sup>/s

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m		Кота дъно, m	мах. дълбочини - h, m		Δh, m	Δh, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2		1	2		
к.т. Т1	632	155.888	156.236	151.137	4.751	5.099	0.35	7.3
к.т. Т2	1054	152.786	153.254	148.359	4.427	4.895	0.47	10.6
к.т. Т3	1648	149.063	149.393	143.708	5.355	5.685	0.33	6.2

Таблица 30. Изменение в дълбочините при еквивалентна грапавина и водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ВН, m		Кота дъно, m	мах. дълбочини - h, m		Δh, m	Δh, %
		при n - 0.04	при n - 0.059		при n - 0.039	при n - 0.056		
		1	2		1	2		
к.т. Т1	632	156.338	157.141	151.137	5.201	6.004	0.80	15.4
к.т. Т2	1054	153.188	154.044	148.359	4.829	5.685	0.86	17.7
к.т. Т3	1648	149.431	150.162	143.708	5.723	6.454	0.73	12.8

Таблица 31. Изменение в скоростите при грапавина n-0.022 в руслото и n-0.044 и n-0.065 в терасите и водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV, m <sup>2</sup> /s	ΔV, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2		
к.т. Т1	632	4.808	4.234	-0.57	-11.9
к.т. Т2	1054	4.043	3.433	-0.61	-15.1
к.т. Т3	1648	4.814	4.356	-0.46	-9.5

Таблица 32. Изменение в скоростите при еквивалентна грапавина и водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$



№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV, m <sup>2</sup> /s	ΔV, %
		при n - 0.04	при n - 0.059		
		1	2	1-2	(1-2)/1
к.т. T1	632	4.090	3.204	-0.89	-21.7
к.т. T2	1054	3.508	2.736	-0.77	-22.0
к.т. T3	1648	4.297	3.183	-1.11	-25.9

Таблица 33. Изменение в широчината на водната повърхност при грапавина n-0.022 в руслото и n-0.044 и n-0.065 в терасите и водно количество Q = 1500 m<sup>3</sup>/s

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ΔB, m	ΔB, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065		
		1	2	1-2	(1-2)/1
к.т. T1	632	117.008	120.848	3.84	3.3
к.т. T2	1054	119.99	124.485	4.50	3.7
к.т. T3	1648	114.893	122.232	7.34	6.4

Таблица 34. Изменение в широчината на водната повърхност при еквивалентна грапавина и водно количество Q = 1500 m<sup>3</sup>/s

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ΔB, m	ΔB, %
		при n - 0.04	при n - 0.059		
		1	2	1-2	(1-2)/1
к.т. T1	632	121.979	131.783	9.80	8.0
к.т. T2	1054	123.850	132.072	8.22	6.6
к.т. T3	1648	125.811	139.810	14.00	11.1

След обединяване на резултатите показани по-горе, бе определено процентното изменение в дълбочините, скоростите и обхвата в зависимост от избора за пролагане на единия или другия подход при задаване на грапавините. В следващите таблица са отразени процентните изменения в елементите на пропускните характеристики според това дали се моделира с различни стойности на грапавината в

руслото и терасите или се въвежда изчислената им еквивалентна стойност по Павловски.

Таблица 35. Процентно изменение на дълбочините при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски при водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	макс. дълбочини - h, m		макс. дълбочини - h, m		$\Delta h$ 1, m	$\Delta h$ 2, m	$\Delta h$ 1, %	$\Delta h$ 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.039	при n - 0.056				
		1	2	1*	2*				
к.т. T1	632	3.102	3.235	3.57	4.024	0.47	0.79	15.09	24.39
к.т. T2	1054	2.913	3.095	3.256	3.713	0.34	0.62	11.77	19.97
к.т. T3	1648	3.924	4.074	4.257	4.646	0.33	0.57	8.49	14.04

Таблица 36. Процентно изменението на дълбочините при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски при водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	макс. дълбочини - h, m		макс. дълбочини - h, m		$\Delta h$ 1, m	$\Delta h$ 2, m	$\Delta h$ 1, %	$\Delta h$ 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.04	при n - 0.059				
		1	2	1*	2*				
к.т. T1	632	4.751	5.099	5.201	6.004	0.45	0.91	9.47	17.75
к.т. T2	1054	4.427	4.895	4.829	5.685	0.40	0.79	9.08	16.14
к.т. T3	1648	5.355	5.685	5.723	6.454	0.37	0.77	6.87	13.53

Таблица 37. Процентно изменение на скоростите при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски при водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV 1, m/s	ΔV 2, m/s	ΔV 1, %	ΔV 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.039	при n - 0.056				
		1	2	1*	2*	1*-1	2*-2	(1*-1)/1	(2*-2)/2
к.т. T1	632	3.667	3.336	2.716	2.17	-0.95	-1.17	-25.93	-34.95
к.т. T2	1054	3.165	2.724	2.424	1.848	-0.74	-0.88	-23.41	-32.16
к.т. T3	1648	2.937	2.702	2.462	2.070	-0.48	-0.63	-16.17	-23.39

Таблица 38. Процентно изменение на скоростите при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски при водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	скорост - V, m <sup>2</sup> /s		скорост - V, m <sup>2</sup> /s		ΔV 1, m/s	ΔV 2, m/s	ΔV 1, %	ΔV 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.04	при n - 0.059				
		1	2	1*	2*	1*-1	2*-2	(1*-1)/1	(2*-2)/2
к.т. T1	632	4.808	4.234	4.090	3.204	-0.72	-1.03	-14.93	-24.33
к.т. T2	1054	4.043	3.433	3.508	2.736	-0.54	-0.70	-13.23	-20.30
к.т. T3	1648	4.814	4.356	4.297	3.183	-0.52	-1.17	-10.74	-26.93

Таблица 39. Процентно изменение на обхвата на заливане при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски и водно количество  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ширина на водната повърхност - B, m		ΔB 1, m	ΔB 2, m	ΔB 1, %	ΔB 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.039	при n - 0.056				
		1	2	1*	2*	1*-1	2*-2	(1*-1)/1	(2*-2)/2
к.т. T1	632	94.560	96.467	101.285	107.803	6.72	11.34	7.11	11.75
к.т. T2	1054	105.458	107.204	108.750	113.140	3.29	5.94	3.12	5.54
к.т. T3	1648	86.056	89.080	92.762	100.607	6.71	11.53	7.79	12.94

Таблица 40. Процентно изменение на обхвата на заливане при задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите спрямо еквивалентна по Павловски и водно количество  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$

№ на контролна точка	разстояние на к.т. от първи профил на модела, m	ширина на водната повърхност - B, m		ширина на водната повърхност - B, m		ΔB 1, m	ΔB 2, m	ΔB 1, %	ΔB 2, %
		при n - 0.022 и 0.044	при n - 0.022 и 0.065	при n - 0.04	при n - 0.059				
		1	2	1*	2*	1*-1	2*-2	(1*-1)/1	(2*-2)/2
к.т. Т1	632	117.008	120.848	121.979	131.783	4.97	10.94	4.25	9.05
к.т. Т2	1054	119.99	124.485	123.850	132.072	3.86	7.59	3.22	6.09
к.т. Т3	1648	114.893	122.232	125.811	139.810	10.92	17.58	9.50	14.38

### 3.4.2. Анализ на резултатите

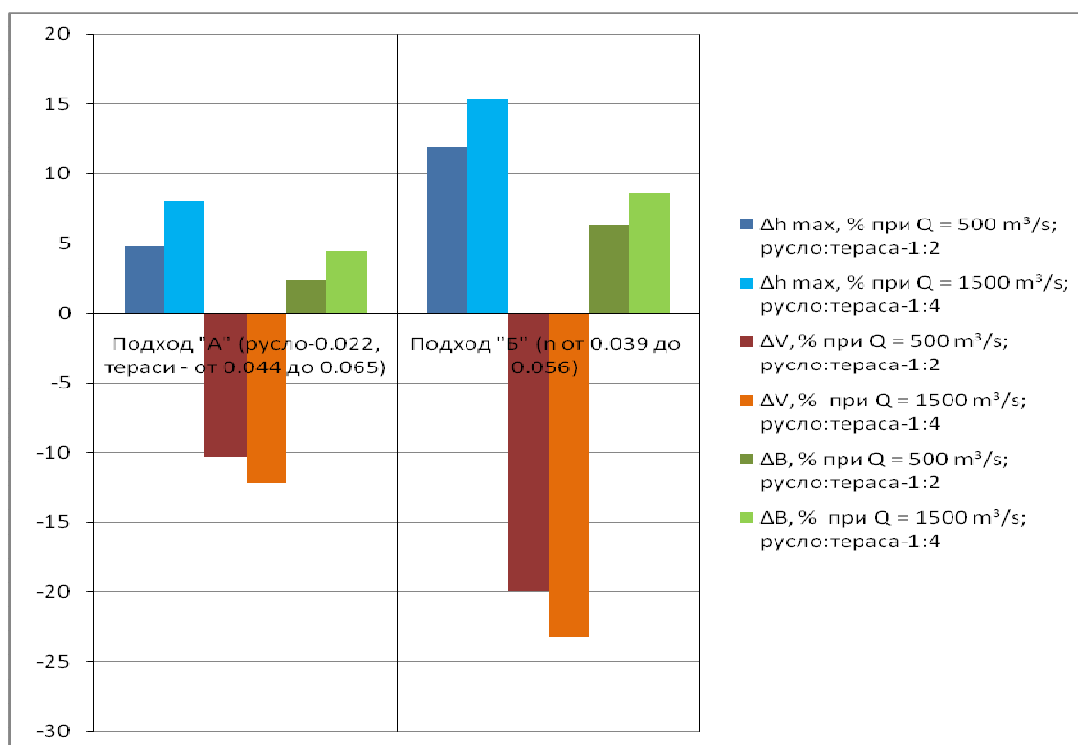
С цел лесно анализиране резултатите от експериментите бяха обобщени като средно аритметични стойности на отчетите характеристики в контролните сечения и показани е таблиците по-долу, които представят:

- 1) процентната разлика в пропускните характеристики при работа с единия и другия подход за задаване на грапавините,
- 2) процентната разлика в пропускните характеристики между избора за прилагане на единия или другия подход.

С „А” е отбелязан подходът на задаване на различни стойности на грапавина е руслото и терасите, а с „Б” - подходът на работа с еквивалентна грапавина по Павловски.

Таблица 43. Процентното изменение на характеристиките на пропускната способност при подход „А” и подход „Б”

Подходи за дефиниране на n	Δh max, % при Q = 500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:2	Δh max, % при Q = 1500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:4	ΔV, % при Q = 500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:2	ΔV, % при Q = 1500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:4	ΔB, % при Q = 500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:2	ΔB, % при Q = 1500 m <sup>3</sup> /s; русло:тераса-1:4
Подход "А" (русло-0.022, тераси - от 0.044 до 0.065)	5	8	-10	-12	2	4
Подход "Б" (n от 0.039 до 0.056)	12	15	-20	-23	6	9

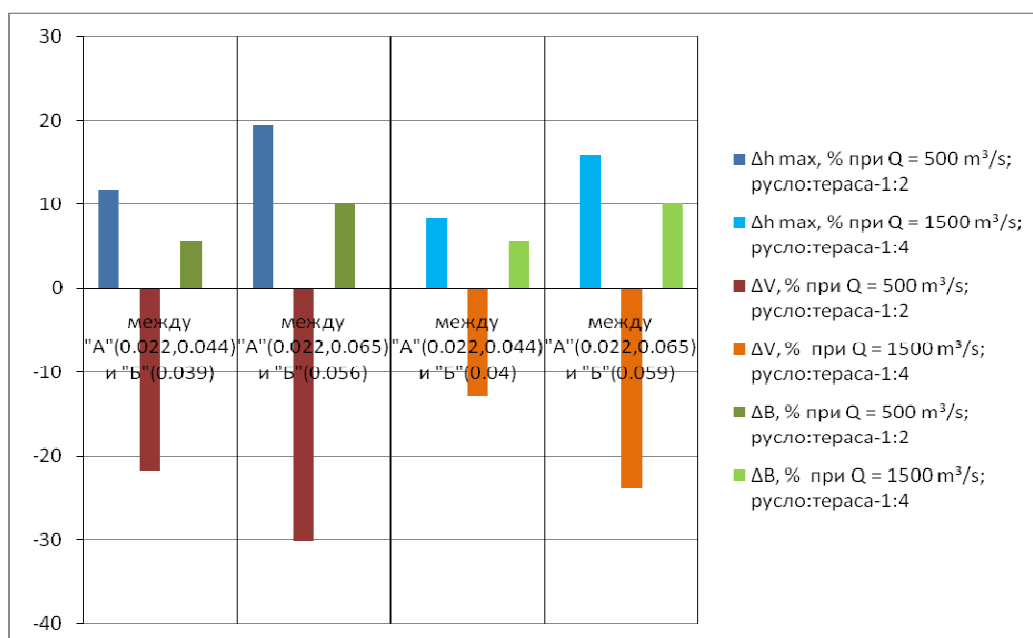


Фиг. 8. Процентното изменение на пропусните характеристики при прилагане на съответния подход

Анализирайки обобщените резултати в таблица 43 и фигура 8 може да се каже, че при задаване на грапавината с различни стойности в руслото и терасата и при изменение на коефициента на грапавина в терасите от 0,044 на 0,065 се получават по-малки процентни изменения в дълбочините, обхвата и скоростите, докато при задаване на еквивалентните им стойности, изчислени по Павловски (съответно при  $n_{\text{русло}}=0,022$  и  $n_{\text{тераси}}=0,044$  – еквивалентна  $n=0.039$  и при  $n_{\text{русло}}=0,022$  и  $n_{\text{тераси}}=0,065$  – еквивалентна  $n=0.056$ ) се получават по-големи процентни изменения в пропусните характеристики. Ако процентното увеличение в дълбочините е 5% при различни стойности на грапавина в руслото и терасите, то при еквивалентната им стойност по Павловски, това увеличение вече е 8%. Същото може да се каже и за увеличението на обхвата и намаляването на скоростта.

Таблица 44. Процентни разлики в характеристиките на пропусната способност между прилагането на подход „А” и подход „Б”

Процентна разлика	$\Delta h$ max, % при $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:2	$\Delta h$ max, % при $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:4	$\Delta V$ , % при $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:2	$\Delta V$ , % при $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:4	$\Delta B$ , % при $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:2	$\Delta B$ , % при $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; русло:тераса-1:4
между "А"(0.022,0.044) и "Б"(0.039)	12		-22		6	
между "А"(0.022,0.065) и "Б"(0.056)	19		-30		10	
между "А"(0.022,0.044) и "Б"(0.04)		8		-13		6
между "А"(0.022,0.065) и "Б"(0.059)		16		-24		10



Фиг. 9. Процентните разлики в пропусните характеристики в зависимост от избора метода за задаване на грапавините

От таблица 44 и фигура 9 следва, че ако се предпочете 1D модела да работи с изчислена еквивалентна грапавина по метода на Павловски вместо с различни стойности в руслото и терасите, то ще бъде допусната грешка от около 8-19% в полза на завишаване на дълбочините, 6-10% в полза на по-голям обхват на разливане и до 30% в полза на намаляване на скоростите.

При съотношение на русло към тераса 1:2, съпоставяйки двата подхода, разликите в дълбочините са 12-19%, а при скоростите – 22-30%, докато при отношение на русло към тераса 1:4 тези разлики са по-малки – за дълбочини 8-16%, за скорости 13-24%.

В заключение на втория експеримент може да се направят следните обобщени изводи:

1) При задаване на различни стойности на грапавина в руслото и терасите се отчита разлика в дълбочините, скоростите и обхвата в по-нисък порядък, отколкото при задаване на еквивалентни стойности на грапавина, определена по формулата на Павловски. Получената разлика в прилагането на единия или другия подход за задаване на грапавина е от порядъка на 8-19% за дълбочини, за скорости – 13-30% и за обхват – 6-10% в зависимост от съотношението на заливане на русло към тераси.

2) При по-малки съотношения между русло и тераса (1:2) се наблюдават по-големи разлики в пропускните характеристики между избора на единия или другия подход в сравнение със случая, когато съотношението русло към тераса е по-голямо – 1:4.

#### **4. Заключение и препоръки**

В обобщение на направените изводи могат да бъдат изведени няколко концептуални заключения, базирани на резултатите от експериментите, проведени с програмен продукт Mike 11 и изложени в този доклад.

1) Грапавината е важен фактор в хидравличното моделиране и от коректното ѝ задаване зависи точността на моделите. За изследваните участъци от

реки при избор на грапавина, например  $p=0.05$  вместо  $p=0.03$ , се наблюдава разлика в стойностите на дълбочините в порядък от 18-19%. По отношение на скоростите разликата е около 16 до 35%, при широчината на разливане от 6 до 43% в зависимост от особеностите на терена и водните количества.

- 2) Моделите с еквивалентна грапавина (изчислена по Павловски) водят до завишени стойности на дълбочини и обхват на заливане (респективно занижени скорости), в сравнение със същите параметри, получени от моделите, при които се работи с различни стойности на грапавина в руслото и прилежащите заливни тераси.
- 3) Прилагането на еквивалентни стойности на грапавина, вместо задаването на различни стойности в руслото и терасите, би могло да се предпочете в полза на сигурността, когато за конкретната задача е по-добре да бъдат получени завишени резултати, отколкото занижени.

#### Литература

- [1] Massachusetts Institute of Technology, An Introduction to Sensitivity Analysis, Lucia Breierova, Mark Choudhari, September 6, 1996
- [2] Triantaphyllou, E.; A. Sanchez (1997). "A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods". *Decision Sciences* 28 (1): 151–194. Retrieved 2010-06-28.
- [3] A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models, Hamby, D. M., 1994-09
- [4] Test Analysis and Computers, Cornelia Zuell, Janet Harkness, Juergen H.P. Hoffmeyer-Zlotnik, May 1996
- [5] What is Sensitivity Analysis?, Hayward Medical Communications, a division of Hayward Group Ltd., 2009
- [6] Fassò, Alessandro, Sensitivity Analysis for Environmental Models and Monitoring Networks
- [7] A Modeling System for Rivers and Channels – Reference Manual, DHI, 2011
- [8] Хидравлика, Емил Маринов, Богдан Казаков, Мариана Мараджиева, Иван Минков, София 2003 г.