

НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ

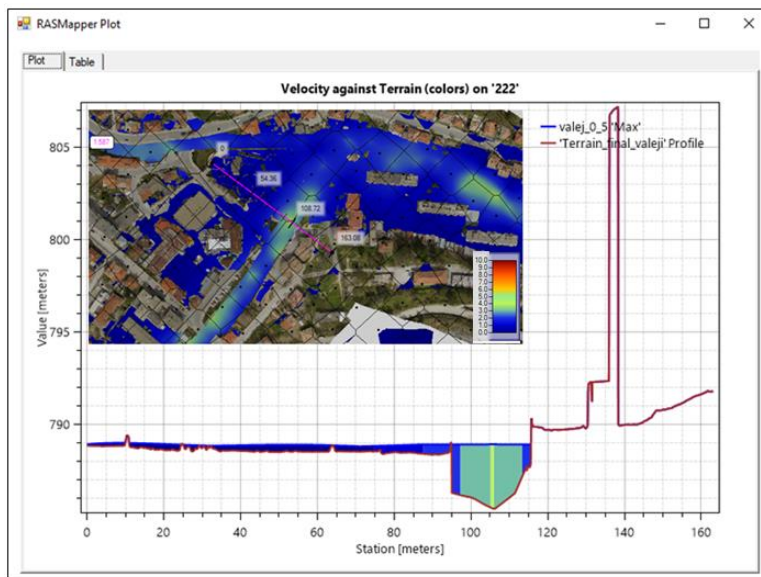
инж. Весела Цветанова Стоянова

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ХИДРАВЛИЧНИТЕ МОДЕЛИ В ПРОГНОЗИРАНЕ НА НАВОДНЕНИЯ И СЪЗДАВАНЕ НА КАРТИ ЗА ЗАПЛАХАТА ОТ НАВОДНЕНИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация

За присъждане на образователна и научна степен „Доктор“
в област на висше образование 5. Технически науки, професионално
направление 5.7. Архитектура, строителство и геодезия (Инженерна
хидрология, хидравлика и водно стопанство)



Научен ръководител: доц. д-р инж. Снежанка Стоянова Балабанова

гр. София, 2021 г.

Дисертационният труд е с обем 131 стр., съдържа 169 фигури, 13 таблици, и 6 уравнения и се състои от 6 глави. Използваната литература включва 52 заглавия.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширен научен семинар на департаменти „Прогнози и информационно обслужване“ и „Хидрология“, проведен на 18.12.2020 г., съгласно заповед № НД 04-12/15.12.2020 г. на Генералния директор на НИМХ.

Състав на научното жури:

проф. д-р Пламен Нинов

доц. д-р Снежанка Балабанова

проф. д-р Богдан Казаков - УАСГ

проф. д-р Николай Лисев - УАСГ

доц. д-р Мартина Печинова - Атанасова - УАСГ

Резервни членове:

доц. д-р Ирена Илчева - Михайлова

доц. д-р Венцислав Божков - УАСГ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 22.04.2021 г. в часа в Учебния център на НИМХ, гр. София

Материалите по защитата ще са на разположение на интересуващите се в канцеларията на НИМХ и на интернет страницата на института: www.meteo.bg

Номерата на фигурите, таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

ABSTRACT

Floods are natural phenomena as a result of a combination of natural, geological, and anthropogenic factors. Floods are one of the most common natural disasters worldwide causing enormous economic damages. Every year floods cause loss of lives and economic losses and affect environment and cultural heritage around the world. Flood forecasting and effective flood control have always been a challenge for governments and local authorities [1]. Reliable numerical models simulating the movement of high-wave peak during floods thus providing information about the propagation of water quantities and water levels in time and space are crucial for flood forecasting and flood protection. Floods are complex processes that have to be properly analyzed in order to know the exact spatial and temporal changes during a flood as well as the causes these changes. Hydraulic modeling is used to model river flows, to delineate floodplains, to analyze flood characteristics, to identify the causes of flood and flood consequences.

The complex relationships between hydraulic parameters along with the variety of hydraulic structures make describing hydraulic processes a complicated task.

Numerous mathematical methods have been developed - simple, one-dimensional analytical models at first up to complex, multi-dimensional numerical models simulating turbulent flows [2].

With the improvement of modern technology and computational capacity various multidimensional (2D, 3D) models that describe hydrodynamic river, estuarine and lake flows have been developed and applied.

This dissertation presented the application of a numerical model that has been designed in the 1970s and has been developed up to these days on hydraulic modeling of flow using a two-dimensional model.

In this dissertation a 2D hydraulic model using HEC-RAS software for river flow and floodplains modeling is presented. A comparison with the results of the 1D HEC-RAS model that was applied within ARDAFORECAST project to model river flow and floodplains is also presented. A summary of the important differences in data requirements, pre-processing, and model settings are provided as well.

The results show that both models are able to successfully represent historic floods. The 2D models provide more detailed information on flood propagation and water flow velocities in floodplains.

The dissertation examines the possibility of using drone survey data for flood hazard modeling for a selected urban area in Bulgaria.

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ	1
АКТУАЛНОСТ.....	2
ОСНОВНИ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ.....	3
I ГЛАВА : ОБЩ ПРЕГЛЕД НА СВЕТОВНИЯ ОПИТ В ОБЛАСТТА НА ХИДРАВЛИЧНОТО МОДЕЛИРАНЕ.....	4
I.1. Хидравлични модели - общи положения и видове	4
I.1.1. Еднодименционални хидравлични модели.....	4
I.1.2. Двудименционални хидравлични модели.....	4
I.1.3. Комбинирани 1D и 2D хидравлични модели	4
I.1.4. Тридименционални хидравлични модели	4
I.1.5. Сравнение на 1D и 2D хидравличните модели – предимства и недостатъци	4
I.2. Преглед на някои от най-често използваните хидравлични модели.	5
I.2.2. Двудименционални хидравлични модели.....	5
I.2.3. Тридименционалните хидравлични модели.....	5
I.3. Досегашен опит на секция „Хидрологични прогнози“ в използването на хидравлични модели	6
I.3.1. Проект “Установяване в речния басейн Арда система за предупреждение за наводнения за минимизиране на риска в трансграничния регион” - (ARDAFORECAST).....	6
I.3.2. „Подобряване на капацитета за прогнозиране на наводненията в българо-турския пограничен район“	6
I.4. Изводи	6
II ГЛАВА: ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ	6
II.1 Избор на район.....	6
II.2 Избор на хидравличен модел	7
II.3 Хидравлични уравнения използвани в модела HEC-RAS.....	7
II.3.1 Уравнения за изменение на количеството движение (формули 1 и 2).....	7
II.3.1 Уравнения на дифузната вълна	7
II.4 Избор на метод за получаване на данни за терена	8
II.5 Уравнение на Манинг (Шези) и стойности на коефициента на Манинг	8
II.6 Сценарии изследвани в разработката	9
II.7 Изводи	9
III ГЛАВА: ПРИЛАГАНЕ НА ХИДРАВЛИЧНО МОДЕЛИРАНЕ ЗА РАЙОНА НА Р. ЧЕРНА И Р. БЯЛА В ГР. СМОЛЯН.....	10
III.1 Необходими данни	10
III.1.1 Теренини данни	10
III.1.2 Данни за земното покритие и коефициент на Манинг.....	12
III.1.3 Данни за мостовите съоръжения	13
III.1.4 Неточности.....	14
III.2 Създаване на изчислителна мрежа	15
III.3 Гранични условия.....	16
III.3.1 Гранични условия в горната граница на 2D областта.....	16
III.3.2 Гранични условия в долната граница на 2D областта.....	19
III.3.3 Извършване на 2D симулация	20
III.3.4 Резултати от симулациите	21
III.3.4.1 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималните дълбочини на заливане (фиг. 73).....	21
III.3.4.2 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималните скорости на водата (фиг. 74)	22
III.3.4.3 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималното ниво на водната повърхност (фиг. 75).....	22
III.3.4.4 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималния обхват на наводнението (фиг. 76).....	23

III.3.4.5	Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималната степен на заплаха в зависимост от дълбочината на заливане и скоростите на водата (фиг. 77)	23
III.4	Изводи	24
IV	ГЛАВА: КАРТИ НА ЗАПЛАХАТА ОТ НАВОДНЕНИЯ	24
IV.1	Карта на заплахата от наводнение с обхвата на наводнението	24
IV.2	Карта на заплахата от наводнение с дълбочините на заливане	25
IV.3	Карта на заплахата от наводнение със скоростите на водата	26
IV.3	Карта на степента на заплаха от наводнение	27
IV.4	Изводи	28
V	ГЛАВА: СРАВНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ 1D И 2D МОДЕЛИТЕ	29
V.1	Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за обхвата на заливане при различните сценарии	29
V.2	Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за дълбочините на заливане и водните нива при различните сценарии	30
V.3	Изводи	32
VI	ГЛАВА: МОДЕЛИРАНЕ НА ПОРОЙНИ НАВОДНЕНИЯ В ГРАДСКИ РАЙОНИ С ПОМОЩТА НА HEC-RAS	32
VI.1	Влияние на климатичните промени върху появата на поройни наводнения	32
VI.2	Източници на данни за прогнозиране на поройни наводнения	33
VI.2.1	Наземни станции	33
VI.2.2	Радарна информация	33
VI.2.3	Сателитна информация	33
VI.2.3	Количествено прогнозиране на валежите (QPF)	33
VI.3	Прилагане на простия модел валеж – отток в HEC-RAS за моделиране на валеж с определен период на повторение	34
VI.4	Необходими данни, обработка на данни и създаване на модела	34
VI.4.1	Данни за терена	34
VI.4.2	Информация за коефициентите на Манинг	35
VI.4.3	Изчислителна мрежа	36
VI.5	Симулации с данни от хиетрографите с обезпечености 0.5%, 0.1% и 0.01 %	36
VI.5.1	Гранични условия за 2D района	36
VI.5.1.1	Анализ на данните за валежите, периоди на повторение и дизайн на валежите	37
VI.5.1.2	Създаване на синтетични хиетрографи	37
VI.5.2	Симулиране на наводнения от екстремни метеорологични събития (валежи) с обезпечености 0,1%, 1% и 5%	38
VI.6	Резултати от симулациите	38
VI.6.1	Симулация с валеж с период на повторение веднъж на 20 години	38
VI.6.1.1	Резултати с данни за дълбочините	38
VI.6.1.2	Резултати с данни за скоростите	39
VI.6.1.3	Профил с данни за дълбочините и скоростите	39
VI.7	Прилагане за случило се поройно наводнение 28-29.06.2018г.	40
VI.7.1	Информация за наводнението	40
VI.7.2	Необходими данни и изчислителна мрежа	40
VI.7.3	Гранични условия	40
VI.7.4	Стартиране на симулацията	40
VI.7.5	Резултати от симулацията	41
VI.8	Изводи	42
	ПРИНОСИ	43
	ПУБЛИКАЦИИ	44

ВЪВЕДЕНИЕ

Наводненията са част от сложните процеси, които протичат на сушата, във въздуха и във водата. Те могат да се разделят въз основа на техните характеристики. Трите най-често срещани типа наводнения са:

- речни наводнения - повишаване на водните нива в резултат на продължителни значителни валежи в горните части на водосборите и разливане над естествените брегове или диги на река или поток;
- поройни наводнения - наводнения с малка продължителност и голям пик на водното количество. Бързо развиващо се явление (обикновено до 6 ч.) от започването на интензивните валежи върху сравнително малка площ. Тези наводнения могат да се случат и в малки райони, които обикновено са сухи и без постоянна речна мрежа;
- морски наводнения - наводнение на земната повърхност от морска вода, от устия на реки или крайбрежни езера. Този източник може да включва наводнения от морето (например: екстремно ниво на приливите и отливите и/или повишаване на морското ниво вследствие пренос на водни маси към брега при продължително действие на вятъра) или повдигане на морското ниво вследствие на действие на вълни или крайбрежни цунами.

Най-често наблюдавани наводнения са речните, причинени от повишаване на водните нива над речните брегове, заливайки близките райони. От друга страна, има поройни наводнения, които възникват, когато интензивността на дъжда надвишава инфилтрационния капацитет на почвата, което води до формиране на повърхностен отток и/или когато в урбанизирани територии капацитетът на отводнителните системи е недостатъчен. И накрая, морските наводнения се причиняват от повишаване на нивата на морската вода, дължащо се на ветрове, вълни, климатични промени и др., засягащи ниските места до моретата [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

За да се прогнозира наводненията и последствията от тях, се прилагат различни подходи на моделиране. Речният отток се определя като се използва хидроложко моделиране. Хидравличното моделиране се прилага за изчисляване на дълбочините на водата и скоростите на водата, елементи, необходими за оценка на риска от наводнения, създаване на карти на заплахата и риска от наводнение, които са необходими за оценка на последици от дадено наводнение.

През последните десетилетия представителността на хидравличните модели се подобри значително в резултат на по-мощна изчислителна техника, а също така и на развитието на сателитната и радарната информация, които подобриха качеството на входните данни, например за валежите, топографията и земното покритие. Въпреки всичко, все още основен проблем си остава липсата на надеждни данни. Също така настоящите модели все още са далеч от възможността да представят всеобхватно сложността и променливостта на природната и градската среда.

Речните наводнения могат да се моделират, използвайки различни математически подходи. Традиционно реката и прилежащите заливни тераси се представят чрез набор от напречни сечения и оттока между тях се моделира с еднодименсионални (1D) модели. Тези модели дават добри резултати при реки, когато движението е в една посока, но когато речните тераси са много равнинни или със сложен релеф, тогава е необходимо да се приложи двуменсионално (2D) моделиране, за да се вземе в предвид движението на водата не само в речното корито, но и в заливните тераси при повишаване на водното ниво и последващото наводнение [10].

1D и 2D моделите се използват за прогнозиране на речни наводнения [11]. Сравняването на резултатите от прилагането на еднодименсионалните и двуменсионалните модели, при по-сложен характер на заливните тераси е показало, че е по-подходящо да се ползват комбинирани 1D - 2D модели, където речното корито се представя с 1D модел между напречните сечения, а заливните тераси се представят с изчислителна мрежа, където оттока се моделира с 2D. Тъй като тези модели изискват детайлно представяне на батиметрията на реката, времето за изчисления се увеличава значително. Също така по дължината на реката има различни хидротехнически съоръжения и методите за представяне на такива съоръжения са добре разработени само за целите на 1D моделирането [12].

Тъй като наводненията в световен мащаб са признати за едни от най-големите причинители на загуба на човешки живот, икономически загуби и инфраструктурни щети [13], е необходимо за намаляване на ефекта от тях да се съсредоточат усилията върху навременно прогнозиране на екстремните явления.

Тенденциите на промяна в климата през следващите десетилетия поставя ударение върху необходимостта от системи за ранно предупреждение и прогнозиране на наводненията, особено в зони с висок риск. Прогнозирането на наводнения допълва ефективно мерките за предпазване от наводнения, като осигуряване на ретензионни обеми, земеползване, структурни мерки, аварийни действия и повишаване съзнанието и осведомеността на обществеността.

АКТУАЛНОСТ

Използването на 2D хидравличното моделиране за създаване на карти на заплахата и риска от наводнения е от съществено значение за подобряване на точността на резултатите по отношение на обхвата на наводнението и данните за дълбочините и скоростите на водата. Използването на резултатите от моделирането ще подпомогне ангажираните институции при вземане на решения и за намаляване на последиците от наводненията. Доброто управление на заплахата и риска от наводнения е от съществено значение за опазване на човешкия живот и общественото здраве, по-висока степен на защита на критичната инфраструктура, повишаване защитата на

околната среда и подобряване на подготвеността и реакциите на населението.

ОСНОВНИ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Общата цел на тази дисертация е да се проучат и сравнят различни методи за моделиране на наводнения и създаване на карти на наводнените територии.

По-конкретно, ще бъдат разгледани:

Целите на дисертацията са:

- моделиране на наводнения в урбанизирана зона при различни сценарии с използване на 2D хидравличния модел HEC-RAS като софтуер;
- определяне на пространственото разпространение на наводнението, създаване на карти за различни параметри на заплахата (обхват, дълбочини, скорости и др.) и получаване на висококачествени и актуални карти на заплахата от наводнения.

Задачите на дисертацията са:

- представяне на разликите в моделите по отношение на изискванията за данни, предварителна обработка, конструиране на модела и резултати от модела;

- да се проучат важните различия между 1D и 2D моделирането с HEC-RAS;

- да се покаже как данни с голяма резолюция и относително евтини могат да се използват като входни данни в хидравличното моделиране. В тази работа ще бъдат използвани цифрови данни от Дрон за представяне на топографията (DEM) и на земната повърхност (DSM);

- по какъв начин изчислителната мрежа трябва да бъде проектирана в реката и в заливните територии;

- може ли поройни наводнения да се моделират с използване на HEC-RAS 2D;

- трансформиране на резултатите от модела в карти на заплахата от наводнения и дефиниране на параметрите на заплахата от наводнения;

- по какъв начин тези карти могат да се използват от институциите, вземащи решения.

И двете цели са важни елементи за управление на заплахата и риска от наводнения. Използването на резултатите ще подпомогне ангажираните институции при вземане на решения и за намаляване на последиците от наводненията.

Успешното завършване на изследването ще доведе до допълнителни приложения, както и до подобряване възможностите за намаляване на заплахата от наводнения и последиците.

I ГЛАВА : ОБЩ ПРЕГЛЕД НА СВЕТОВНИЯ ОПИТ В ОБЛАСТТА НА ХИДРАВЛИЧНОТО МОДЕЛИРАНЕ

I.1. Хидравлични модели - общи положения и видове

Хидравличното моделиране използва различни хидравлични математически модели, основани на основните уравнения на хидравликата в открити течения. Задълбочен преглед на професионалната литература показва, че има голямо разнообразие на модели за симулиране на наводнения, които изчисляват повишенията на водното ниво. Хидравличният модел може да се използва и като инструмент за планиране на бъдещи подобрения на вече изградена инфраструктура, разработване на стратегии за поддръжката ѝ и да бъде използван при планиране и изграждане на хидротехнически съоръжения, както и за прогнозиране на потенциални проблеми с изградени вече хидротехнически съоръжения. С развитието на компютърните технологии и изчислителните техники математическото моделиране е една от предпочитаните техники за хидравлично моделиране. Тук ще бъде отделено внимание на моделите, които представят пространственото движение на водното течение и са представени в еднодименсионални, двуменсионални или тридименсионални модели. Използваме моделите, за да опишем движението на водата в пространството.

I.1.1. Еднодименсионални хидравлични модели

1D моделите включват група от математически модели, които опростяват движението на водата в напречния профил в движение в една точка.

I.1.2. Двуменсионални хидравлични модели

При тези модели моделираната област се представя с изчислителна мрежа (обикновено квадрат или триъгълник), която позволява много подробно описание на наблюдаваните хидравлични характеристики, включително и равнинното им разпределение.

I.1.3. Комбинирани 1D и 2D хидравлични модели

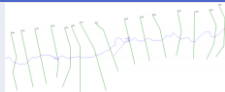
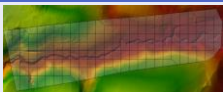
При тези модели обикновено 1D модула се използва за моделиране на речното корито, а 2D модула се използва за прилежащите територии.

I.1.4. Тридименсионални хидравлични модели

Те разглеждат течението в трите пространствени посоки, поради което прилагането им към настоящия момент е насочено почти без изключение към изследването на локални проблеми с голяма сложност, но малък пространствен обхват [15].

I.1.5. Сравнение на 1D и 2D хидравличните модели – предимства и недостатъци

таблица 1 Сравнение на 1D и 2D моделите

Признак	1D	2D
Посока на течението	Само една посока – перпендикулярна на напречните сечения / по посока на наклона на коритото	В X и Y посока на всяко лице на изчислителна клетка
Данни за терена	Заснети напречни профили	Цифров модел на терена
Геометрия		
Добавяне на съоръжения	Мостове, преливници и други	Мостове, преливници и други
Коефициент на Манинг	Отделна стойност за всяка част от всяко напречно сечение (ляв и десен бряг, основно корито и др.)	Присвоена стойност от земното покритие за всяко лице на клетка
Гранични условия на долната граница	-Известно водно ниво -Нормална дълбочина -Критична дълбочина -Хидрограф на водните нива -Ключова крива	-Нормална дълбочина -Хидрограф на водните нива -Хидрограф на водните количества -Ключова крива
Гранични условия на горната граница	За стационарно течение: -Водно количество	За нестационарно движение: -Хидрограф на водните нива
	За нестационарно движение: -Хидрограф на водните нива -Хидрограф на водните количества -Ключова крива	-Хидрограф на водните количества -Ключова крива
Методи на изчисление	За стационарно течение: -Уравнение на Бернули	За нестационарно течение -Уравнение за изменение на количеството движение (Saint Venant Full momentum)
	За нестационарно течение: - Уравнения на Сен Венан	-Уравнения на дифузната вълна (Diffusive wave)

I.2. Преглед на някои от най-често използваните хидравлични модели.

I.2.1. Еднодименсионални (1D) модели

Тук са разгледани моделите: HEC-RAS, MIKE HYDRO RIVER, SOBEK

I.2.2. Двудименсионални хидравлични модели

Тук са разгледани моделите: LISFLOOD-FP, HEC-RAS 2D, GeoHECRAS 2D, FLO-2D, SRH-2D, MIKE 21, TUFLOW

I.2.3. Трименсионалните хидравлични модели

Тук са разгледани моделите: FLOW-3D, MIKE 3

I.3. Досегашен опит на секция „Хидрологични прогнози“ в използването на хидравлични модели

I.3.1. Проект “Установяване в речния басейн Арда система за предупреждение за наводнения за минимизиране на риска в трансграничния регион” - (ARDAFORECAST)

Част от проекта е разработката „Хидравлично моделиране в чувствителна област - гр. Смолян”, по която работи част от екипа на секция „Хидрологични прогнози“ в НИМХ. В рамките на разработката са извършени множество геодезични заснемания, математически изчисления и анализи.

I.3.2. „Подобряване на капацитета за прогнозиране на наводненията в българо-турския граничен район“

Проектът е финансиран по програма ФАР Трансгранично сътрудничество България – Турция по финансов меморандум 2005 г. По този проект беше разработена система за ранно предупреждение от наводнение за река Тунджа и река Марица. Системата е разработена с помощта на моделиращата платформа MIKE11 на DHI. Състои се от хидравличен модел и хидроложки модели, които запазват хидравличния модел с приточност.

I.4. Изводи

- Развитието на моделите, използвани в хидравличното моделиране, е важно за прогнозиране на залетите територии и за вземане на адекватни решения за намаляване на неблагоприятните последици;

- Няма универсален модел, но в зависимост от наличната информация, целта и умението на моделиера може да се избере един или друг хидравличен модел;

- Описани са предимствата, недостатъците и развитието на хидравличните модели;

II ГЛАВА: ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ

II.1 Избор на район

За изследвана област е избран район на гр. Смолян, част от кв. Устово и жк. Прогреси в района на вливането на р. Бяла в р. Черна (приток на р. Арда). Град Смолян е от градовете със сравнително чести наводнения, причинени от високи вълни по р. Черна и р. Бяла (5-6.08.2005 г., 20.12.2009 г., 01.02.2015 г., 28.06.2018 г. и други). При всяко наводнение има нанесени значителни щети по пътната инфраструктура, жилищното строителство, индустрията и други. За района на гр. Смолян в рамките на проект ARDAFORECAST е направено 1D хидравлично моделиране. важна причина за избора на района е да се направи сравнение между получените резултати от 1D и 2D моделирането и да бъдат изтъкнати предимствата на единия и другия модел за по-добра оценка на заплахата и риска от наводнения в района, които да са в полза на отговорните органи за предпазване на

населението и инфраструктурата от природни бедствия (наводнения) в района.

II.2 Избор на хидравличен модел

За разработването на 2D хидравличния модел за избрания район е използван софтуерният продукт HEC-RAS версия 5.07 разработен от U.S. Army Corps of Engineers. Една от причините за избора на този софтуер е предишен опит при участие в проект ARDAFORECAST. Друга изключително важна причина за избора на модела, разбира се, е финансовата. HEC-RAS е от продуктите, които постоянно се развиват и надграждат, поддържат се и се подобряват постоянно, като в същото време е напълно безплатен и общо достъпен. Пространствените входни данни за модела са сравнително леснодостъпни и крайните резултати имат добра визуализация. Друго предимство е и фактът, че всички входни и изходни данни са съвместими с различни ГИС приложения, като ArcGIS например.

II.3 Хидравлични уравнения използвани в модела HEC-RAS

Изчисленията, които се извършват при 2D моделиране, се основават на уравнението за изменение на количеството движение (2D уравнение на Сен Венан).

II.3.1 Уравнения за изменение на количеството движение (формули 1 и 2)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = fv + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u - g \frac{\partial H}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = fu + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v - g \frac{\partial H}{\partial y} \quad (2)$$

където:

u и v - скорости в посоки x и y

g - земно ускорение

v_t - коефициент на вискозитет

c_f - коефициентът на триене на дъното

f - сила на Кориолис

II.3.1 Уравнения на дифузната вълна

При него се приема, че хидростатичното налягане и коефициента на триенето могат да се приравнят на „0“ (формула 3).

$$c_f v + g \frac{\partial H}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

следователно уравненията на дифузната вълна имат вида (формули 4 и 5):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = fv + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = fu + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

където:

u и v - скорости в посоки x и y

ν_t - коефициент на вискозитет

f - сила на Кориолис

II.4 Избор на метод за получаване на данни за терена

За разлика от 1D хидравличните модели, където са необходими множество напречни профили на речното корито и прилежащите им заливаеми територии, при 2D моделирането вече става дума за непрекъснатост на данните за терена на целия изследван участък. В случай на моделиране на заплахата и риска от наводнения и получаване на карти на заплахата за урбанизирани територии, наличието на актуална информация с висока разделителна способност е от изключително значение. За разработването на хидравличния модел за разглеждания участък от гр. Смолян е направено проучване на методите за създаване на цифров модел на терена (ЦМТ).

Методи за получаване ЦМТ са: LiDAR, радар, стерео фотограмметрия от въздушни изследвания, топографски карти, геодезически заснемания, доплеров радар, фотограметрично заснемане с Дрон.

В процеса на работа се появи възможността да бъде направено заснемане на района с Дрон и последващо обработване на данните до получаване на DEM и ортофото снимка. За целта са използвани средства от субсидията за издръжка на обучението на докторантите в БАН за 2018 година и заснемането е извършено от фирма ИГео ООД.

II.5 Уравнение на Манинг (Шези) и стойности на коефициента на Манинг

Разгледана е често срещана форма на уравнението на Манинг (формула 6):

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

където:

Q - водно количество, (m^3/s)

n - коефициент на грапавост на Манинг, ($s/[m]^{1/3}$)

A - площ на потока, (m^2)

R - хидравличен радиус, (m)

S - наклон на енергийната линия, (m/m)

Стойността на коефициента на Манинг n представлява характера на повърхностите, изграждащи коритото на течението (земното покритие). Терени с по-голяма грапавина имат по-висока стойност на коефициента, а тези с по-малка грапавина имат по-ниска стойност. Стойностите за коефициента на Манинг „ n “ са получени от експериментални изследвания и наблюдение. Най-често се изследват

характеристиките на канала и след това коефициента на грапавина се определя от литературни данни или чрез различни софтуерни продукти.

II.6 Сценарии изследвани в разработката

В настоящата разработка са изследвани шест сценария, за които са направени симулации със хидравличния модел. При определяне на сценариите, изследвани в разработката, е взет предвид и законът за изменение и допълнение на Закона за водите от 2010 год. [35], който транспонира Директива 2007/60ЕС (чл. 146е от Закона за водите, според който са приети съответните сценарии) (фиг. 16).

Scenario A

PF1 – водно количество с обезпеченост 1 на 1000 години по р. Черна

PF3 – водно количество с обезпеченост 1 на 100 години по р. Черна

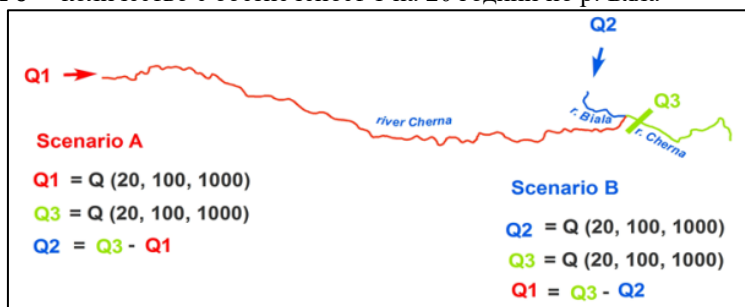
PF5 – водно количество с обезпеченост 1 на 20 години по р. Черна

Scenario B

PF2 – водно количество с обезпеченост 1 на 1000 години по р. Бяла

PF4 – водно количество с обезпеченост 1 на 100 години по р. Бяла

PF6 – количество с обезпеченост 1 на 20 години по р. Бяла



фигура 16 Хидроложки сценарии

II.7 Изводи

- За хидравличното моделиране се използват общоприети в литературата и практиката методи и модели.

- Параметрите на модела могат да бъдат получени от различни източници на данните за цифровия модел на терена и земното покритие.

- Избраните сценарии, изследвани в разработката, са съгласно разпоредбите за прилагане на Директива 2007/60ЕС в нашата страна.

III ГЛАВА: ПРИЛАГАНЕ НА ХИДРАВЛИЧНО МОДЕЛИРАНЕ ЗА РАЙОНА НА Р. ЧЕРНА И Р. БЯЛА В ГР. СМОЛЯН

III.1 Необходими данни

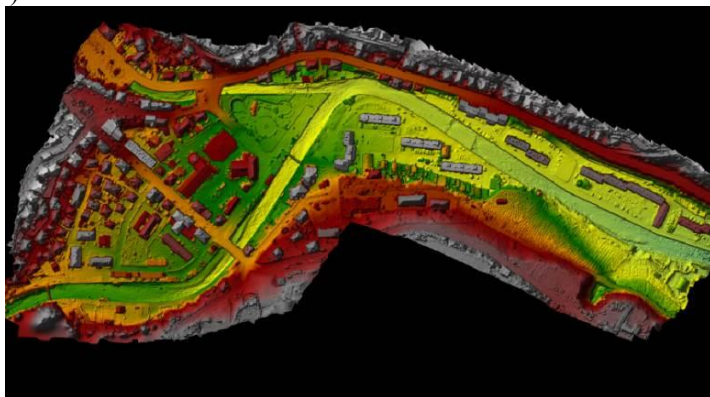
III.1.1 Теренни данни

Цифровият модел на терена (ЦМТ) е един от най-важните компоненти при хидравличното моделиране на наводненията, тъй като от една страна служи като основна входна информация за геометрията на речното корито и заливните тераси, а от друга служи за прецизно определяне на залетите територии, дълбочините на водата и разпределението на скоростите на водното течение.

Наличието и точността на топографските данни са се подобрили значително с напредването на технологиите и използването на LiDAR и Дрон. Изображенията, получени с Дрон, включват актуална информация за сгради и инфраструктура, позволяват да се идентифицират и да се планират местата с потенциален риск от наводнения и да определят местата, където трябва да се изградят отводнителни системи или предпазни съоръжения.

За създаването на цифров модел на терена е направено заснемане на изследвания район с Дрон. Поради необходимостта от подходящи метеорологични и хидрологични условия (заснемане по време на маловодие), физическото заснемане е извършено на 24-25.04.2019 г. от фирма ИГЕО с Дрон модел Phantom 3. Заснемането е извършено по предварително подготвен план за летене, съобразен с обхвата на обекта, необходимата точност и възможностите на безпилотен летателен апарат (БЛА). Резултатите от заснемането се обработват със специализиран софтуер за фотограметрична реконструкция, от който се получава тримерен (3D) модел.

Резултати от заснемането са DSM (фиг. 20) и ортофото изображение (фиг. 21).

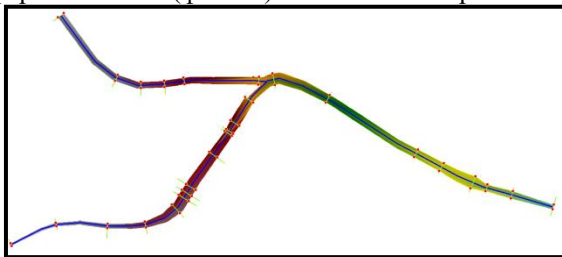


фигура 20 DSM след автоматична обработка на данните от заснемането



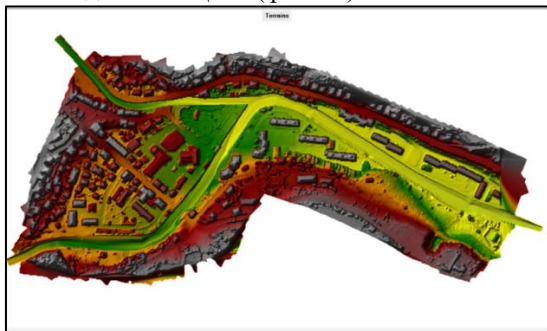
фигура 21 Ортофото изображение

Проблемът с получения ЦМТ е, че зоната, която се моделира, включва две реки, за които няма батиметрични данни от заснемането с Дрон, тъй като дъното на речното корито е покрито от водното течение. Тя може да бъде получена от интерполирани геодезически заснети напречни профили в среда на HEC-RAS и GIS приложението му RAS Mapper. При наличието на напречни сечения в цифров формат моделът позволява създаване на концептуална интерполирана повърхност. Полученият слой с данни за терена е във формат GeoTiff (фиг. 24) и е за частта на речното корито.



фигура 24 Батиметрия на р. Черна и р. Бяла

От комбинацията на данните от Дрона и интерполираната повърхност в речното корито се създава нов ЦМТ (фиг. 25).

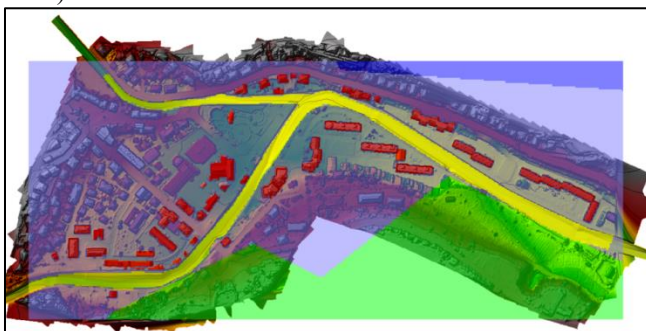


фигура 25 Цифров модел на терена след обработка на батиметрията

III.1.2 Данни за земното покритие и коефициент на Манинг

Данните за земното покритие играят важна роля при хидравличното моделиране, тъй като са пряко свързани с определяне на коефициента на грапавина в изследвания район. Използваните данни са от Corine Land Cover (CLC) 2018.

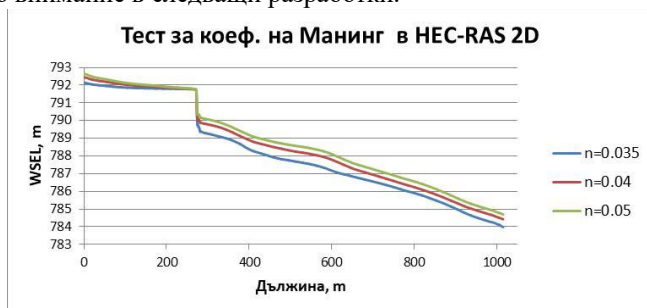
За всеки тип земно покритие се определя и присвоява стойността на коефициента на Манинг “n”. В изследвания район попадат 3 типа земно покритие по класификацията на CLC 2018. Тъй като става въпрос за малка урбанизирана територия, точността на разпределение на типовете покритие не е задоволителна. По тази причина с помощта на RAS Mapper са въведени още два типа на земното покритие за прецизиране на коефициента на грапавина и за по-добри резултати от хидравличното моделиране. Ръчно са въведени тип на земното покритие за дъното на реката и за сградите в района (фиг.28).



фигура 28 Слой с типовете земно покритие

Определянето на първоначални стойности на коефициентите на грапавина за 2D модели е подобно на 1D, тъй като моделът може да използва информация за земното покритие и въздушна фотография, за да създаде пространствени слоеве, които могат да бъдат свързани с литературните данни. Промяната на коефициентите на грапавина за процеса на калибриране обикновено е много по-трудоемка за 2D моделите, отколкото за 1D моделите. Причината за тази разлика е, че 2D моделите изискват да се определи грапавина за всяка клетка на 2D изчислителната мрежа. Освен това, процесът на калибриране е по-труден за 2D модели, тъй като трябва да се вземат решения, в каква степен на пространствена площ се изисква промяна на коефициента на грапавина, за да се калибрира модела. Малките промени в коефициента на грапавина оказват голямо влияние върху дълбочината на течението, следователно той трябва да бъде основен параметър при калибриране на модела. Нещо повече, коефициентът на грапавина първоначално е просто предположение, базирано на въздушни снимки или данни от CLC на разглеждания район. Много е трудно да се

определи дали конкретният малък участък, видян на изображение или на обобщената класификация в CLC, трябва да има коефициент на грапавина 0,035 или 0,040, като се използват литературните данни, представяни в таблици за коефициента на грапавина на Манинг. Коефициентите, използвани в даден модел, изискват фина настройка. На фигура 30 са представени резултати от направен тест с различни стойности за коефициента на Манинг за речното дъно в надлъжен профил по река Черна. Ясно се вижда как при минимална промяна в коефициента на грапавина водното ниво се изменя значително. Скокът, който се наблюдава на графиката на около 260-тия метър, е в резултат на мостово съоръжение, което не се симулира добре от модела и на този проблем ще бъде обърнато специално внимание в следващи разработки.



фигура 1 Тест за коефициент на Манинг в HEC-RAS 2D

За определянето на коефициента на грапавина в разработката са използвани няколко източника:

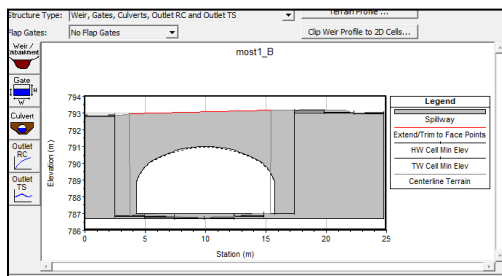
- За 2D зоната са ползвани данни от таблиците с класификация на видовете земно покритие и определените за тях стойности на коефициента
- За речното дъно е използван софтуерния продукт CES за определяне на коефициент, който е възможно най-близък до реалния. Избрани са вид растителност, материал на естественото речно дъно и наличност на различни наноси и отпадъци в речното корито
- За определяне на коефициента на грапавина за слоя със сгради е взето предвид, че наистина високите стойности на коефициента на Манинг отразяват адекватно водното течение в зони с естествени прегради. За разработвания модел е избрана стойност $n=10$.

III.1.3 Данни за мостовите съоръжения

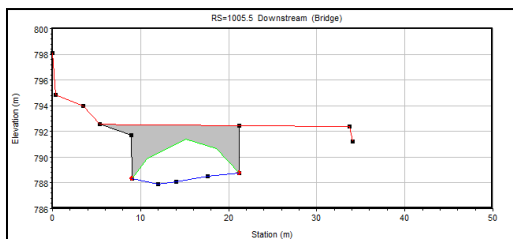
В използваната версия 5.0.7 на модела HEC-RAS няма директен начин да се зададе геометрия на мост в 2D областта, както се прави в 1D версията. Като се има предвид това, е използвана опцията на модела за моделиране на водостоци. Това е особено подходящ метод за по-широки мостове с относително малки отвори, когато пътното платно на моста е

засегнато по време на наводнението. Първо са въведени данни за моста като преграда, а след това и данни за отвора като водосток.

В изследвания район има два изградени моста – един на р. Черна и един на р. Бяла. На фигури 37 и 38 са представени данни за геометрията на моста на р. Бяла в 2D модела и в 1D модела. Формата на отвора в 2D наподобява геометрията на моста в 1D модела, но няма как да я представи напълно точно.



фигура 37 Геометрия на моста на р. Бяла в 2D модела



фигура 38 Геометрия на моста на р. Бяла в 1D модела

III.1.4 Неточности

- Неточности във входните данни
- Пространствени данни - най-критичният фактор при 2D хидравличното моделиране е топографията на речното корито и речните тераси, която от една страна влияе върху самите хидравлични изчисления, а от друга – оказва влияние върху определяне на залетите територии [38]. Точността на цифровия модел на терена се определя най-вече от начина, по който е получена и обработена информацията, необходима за неговото създаване. Много автори са провеждали изследвания относно влиянието на топографията и резолюцията на модела на терена върху хидравличното моделиране [39] и други. Всички единодушно достигат до заключението, че колкото е по-висока резолюцията, толкова по-добри резултати би дал хидравличният модел.

- Измерени данни – друг източник на неточности е, че измерените водни нива се трансформират във водни количества с помощта на ключови

криви. Тези косвени неточности на водните количества са в резултат на неточност при определяне на водните нива и определяне на водните количества при екстраполация на ключови криви извън диапазона на изчислени водни количества при регулярните измервания [41]. Освен това, измерванията са в хидрометричните станции - информация, която не винаги е достатъчна за определяне на водни количества в избрани точки по протежение на реката.

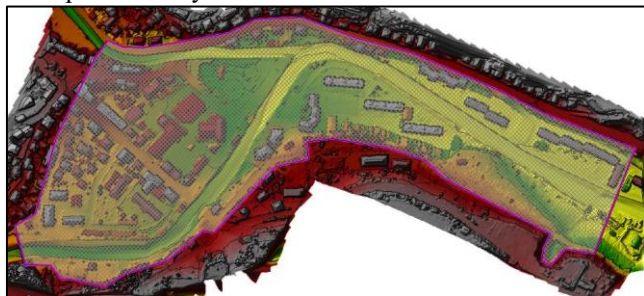
- Неточности в модела
- Водните количества в определени точки са на базата на статистическа обработка
- Параметрите на модела са на базата на литературни обобщени данни

III.2 Създаване на изчислителна мрежа

Важна част от създаването на 2D модела е изчислителната мрежа. HEC-RAS може да обработва структурирана мрежа или неструктурирана мрежа. В HEC-RAS клетките могат да бъдат с всякаква форма, но всяка клетка е ограничена с до осем страни. 2D областта се дефинира ръчно като многоъгълник, за да се представи външната граница на изчислителната мрежа. Големината на клетката на мрежата на 2D модела влияе на резултатите, тъй като определя подробността на физическите характеристики и поведението на водното течение. Моделите, които се разработват за райони в градска среда, трябва да имат по-малки размери на клетки. Препоръчително е размерите на клетките да са между 2/2 m и 5/5 m. В случая мрежата е разработена с размер на изчислителната клетка от 2,5/2,5 m.

Често след автоматичното генериране на изчислителната мрежа се получават грешки в някои клетки. Става въпрос предимно за гранични клетки, при които центърът им е извън клетката или клетката е с неправилна форма с повече от осем страни.

Грешките се коригират като се преместват клетъчните центрове, добавят се нови клетки или се изтриват клетки по преценка на специалиста. След отстраняване на грешките, изчислителната мрежа е готова (фиг. 43) за определяне на граничните условия.



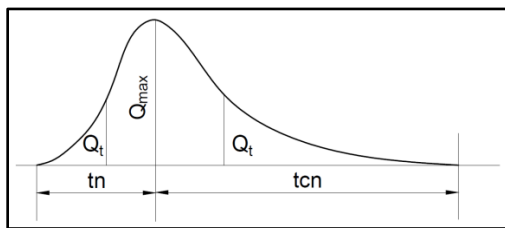
фигура 43 Изчислителна мрежа на изследвания район

III.3 Гранични условия

III.3.1 Гранични условия в горната граница на 2D областта

При 2D хидравличното моделиране моделът HEC-RAS дава възможност на моделиера да избере между няколко варианта на гранични условия в горната граница на 2D областта. Възможен е избор между хидрограф на водните стоежи, хидрограф на водните количества, нормална дълбочина и ключова крива.

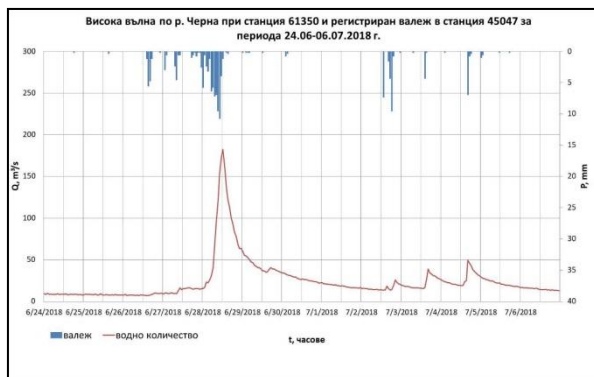
В настоящата разработка гранични условия в горната граница на 2D областта се въвеждат на две места, а именно на р. Бяла и на р. Черна. Избрано е въвеждането на хидрограф на водните количества за гранично условие. От резултатите на 1D хидравличното моделиране се разполага с данни за максималното водно количество с определена обезпеченост във всеки от напречните профили. Профили № 33 по р. Черна и № 1005 по р. Бяла съвпадат с местоположенията на профилите на граничните условия в горната граница. За да използваме тези данни обаче, е необходимо те да бъдат преобразувани в синтетични хидрографи. За целите на дисертационния труд ще бъдат изчислени 12 синтетични хидрографа, по два за всеки от двата сценария и при всяка от трите обезпечености (5%, 1% и 0,1%). Изчисленията са направени по метода на Д. Соколовски [42], обяснен в българската литература от Б. Марчинков [43]. Въз основа на изследванията на Д. Соколовски, хидрографът на високата вълна може да се представи чрез две параболи: едната на подема и другата на спадане на високата вълна (фиг. 45).



фигура 2 Схематично представяне на високата вълна

За да бъде синтетичният хидрограф най-близък до реалния такъв, е анализирана информация за преминавали високи вълни по р. Черна и р. Бяла по данни от автоматичните станции на р. Бяла при гр. Смолян (ХМС №61050) и на р. Черна при с. Търън (ХМС №61350).

Разгледани са данни за четири регистрирани високи вълни в периода от 2010 до 2019 година по р. Черна (фигури от 46 до 49) и 2 по р. Бяла (фиг. 50 и 51), представени са и данни за валежите, регистрирани в метеорологична станция Райково №45047. При анализа на получените графики се забелязва бърз процес на оттокообразуване във водосбора поради стръмния планински терен на района и тясната и дълга форма на водосбора.



фигура 49 Висока вълна, преминала по р. Черна (ХМС №61350) и регистриран валеж (станция №45047) в периода 24.06-06.07.2018 г.

Формите на отделните високи вълни и за р. Черна и за р. Бяла са еднотипни, въпреки голямата разлика в максималните водни количества. Ясно се вижда на всички графики, че пикът на високите вълни е приблизително на 1/4 от времетраенето на вълната, като за край на високата вълна е приета инфлексната точка на кривата на спадането. Следователно, времето на спада е три пъти по-голямо от времето на подема.

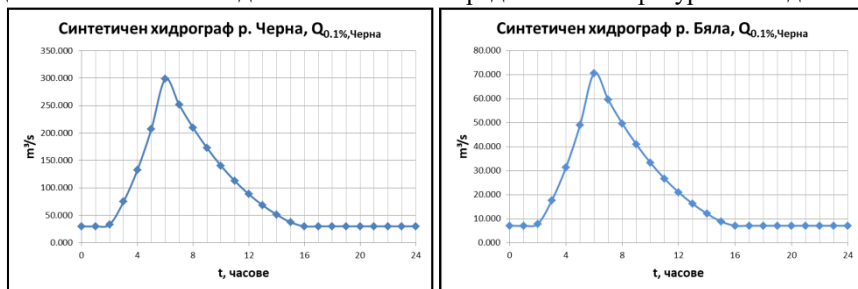
Граничните условия в разработката са избрани за 24 часов период, който е приет за базов. Синтетичният хидрограф трябва да се изчисли за 24 часов период. При запазване на пропорционалността между фазовите времена на наблюдаваните високи вълни за синтетичния хидрограф се получава пик на синтетичния хидрограф на шестия час от началото. Следователно, времето на подъем е 6 часа, а времето на спада – 18 часа. След направения анализ и получените резултати за t_n и $t_{сп}$ разполагаме с всичко необходимо за изчисляването на синтетичните хидрографи за шестте случая.

В таблица 2 са представени данните за максималните водни количества по р. Черна и р. Бяла за различните сценарии, които са изчислени от 1D модела, и се отнасят за началните профили, от които започва 2D модела.

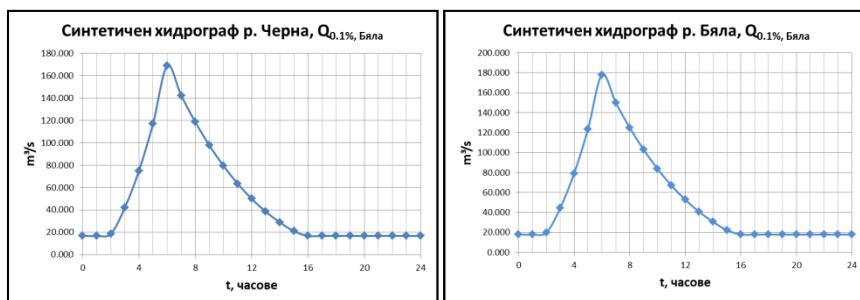
таблица 2 Данни за максималните водни количества от 1D модела по р. Бяла и р. Черна при различни сценарии

Сценарии	Обезпечености по р. Черна, %	Обезпечености по р. Бяла, %	Q_{max} по р. Черна, м³/с	Q_{max} по р. Бяла, м³/с
PF1	0.10		298.31	70.67
PF2		0.10	168.86	187.05
PF3	1		177.69	83.5
PF4		1	131.13	129.84
PF5	5		109.41	64.14
PF6		5	106.13	67.34

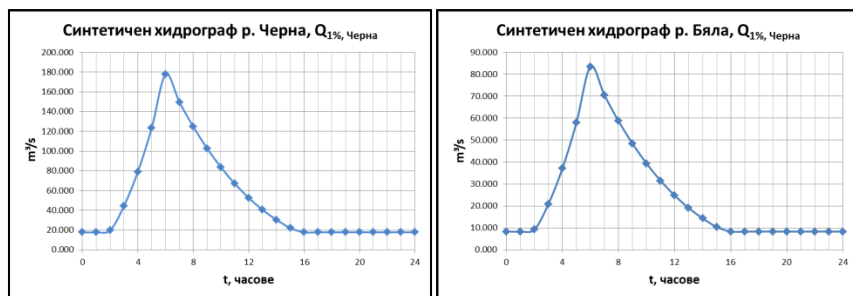
За да се избегне нестабилността в изчисленията на оттока от хидравличния модел, е приет базов отток от 10% от пика на хидрографа и е приложен преди и след високата вълна [44]. Получените хидрографи с добавените базови водни количества са представени на фигури от 58 до 63.



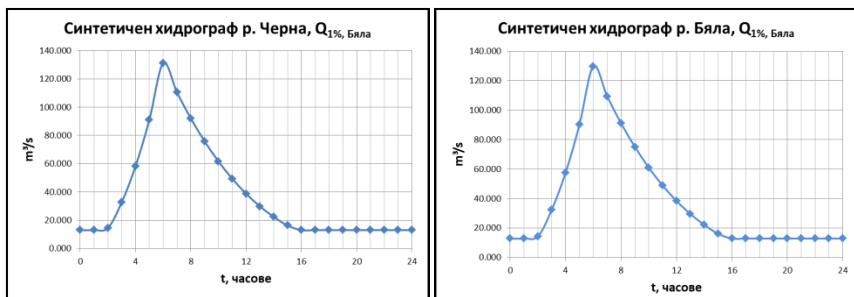
фигура 58 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF1



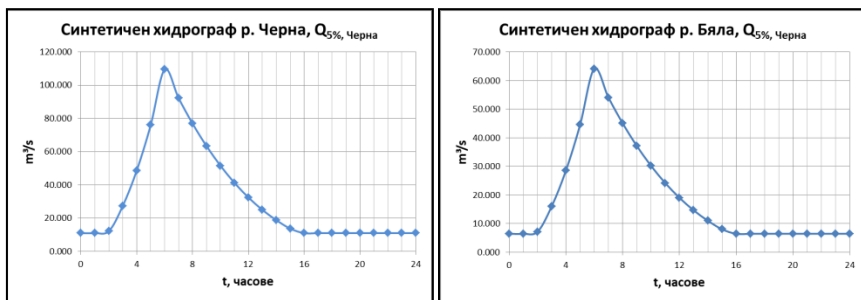
фигура 59 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF2



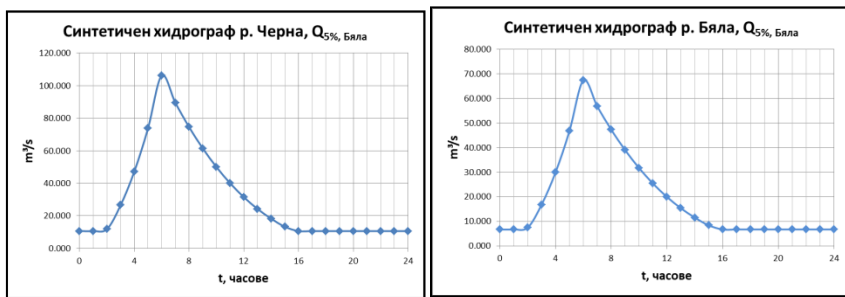
фигура 60 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF3



фигура 61 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF4



фигура 62 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF5



фигура 63 Синтетични хидрографи с базов отток на р. Черна и р. Бяла при сценарии PF6

III.3.2 Гранични условия в долната граница на 2D областта

За гранично условие в долната граница на 2D областта е избрана нормалната дълбочина. Изисква се да се въведе стойност на енергийния наклон. Обикновено енергийният наклон не съвпада с наклона на терена. Такова съвпадение може да се наблюдава само при равномерно движение, което се среща много рядко при естествените течения. Но поради липса на реални измервания е прието в модела да се използва наклона на терена.

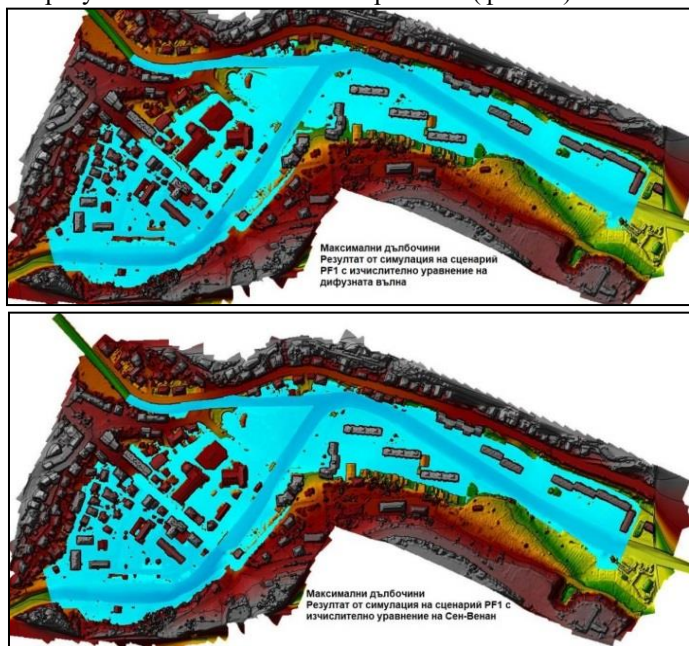
Полученият наклон е 0,0086% и за работа в модела за наклона е приета стойност 0,01%.

III.3.3 Извършване на 2D симулация

След въвеждането на всички входни данни и определянето и въвеждането на всички необходими гранични условия, моделът е готов за последни настройки, определяне на изчислителната времева стъпка и избор на изчислително уравнение.

При изчисленията на синтетичните хидрографи е прието, че те се изчисляват с продължителност 24 часа. Следователно, всички други настройки на модела се правят за същия период. Симулациите за всички сценарии са за период от 24:00 часа. При всяка симулация се избира файл с граничните условия за конкретния сценарий.

Важна стъпка преди да бъде стартирана симулация е изборът на изчислително уравнение. При използването на уравнението на Сен-Венан изчислителното време за сценария е 2 часа и 18 минути, докато при уравнението на дифузната вълна, то е само 22 минути. Като се има предвид, че изчисленията се правят за 2D изчислителна мрежа, времето на симулацията с уравнението на Сен-Венан е значително по-дълго, а получените резултати нямат значителни разлики (фиг. 68).



фигура 683 Разлики в резултатите от симулации с уравнението на дифузната вълна и с уравнението на Сен-Венан

При резултатите, получени от изчисленията с уравнението на Сен-Венан, площта на залетите територии е $0,096 \text{ km}^2$. При изчисленията с уравнението на дифузната вълна площта на залетите територии е по-малка – $0,091 \text{ km}^2$. Разликата в максималните дълбочини при резултатите с двете уравнения е $0,36 \text{ m}$. Като максималната дълбочина с уравнението на Сен-Венан е $8,48 \text{ m}$, докато с използването на уравнението на дифузната вълна е $8,12 \text{ m}$. В резултат на направения анализ на резултатите от изчисленията с двете уравнения, в тази разработка е избрано да се работи с уравнението на дифузната вълна за всичките 6 сценария.

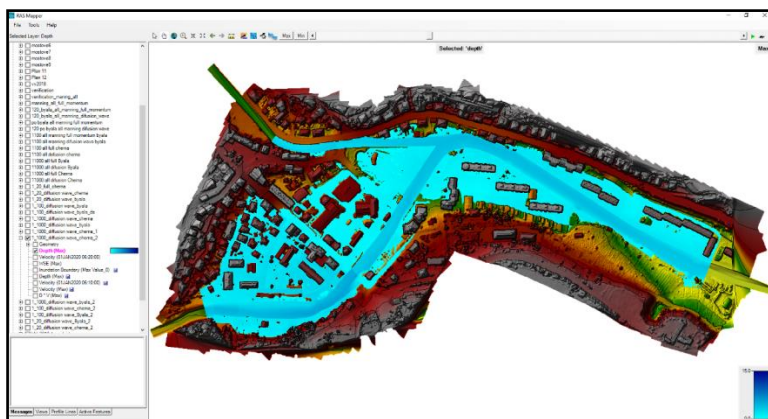
Изборът на времева стъпка зависи до голяма степен от приложението на получените резултатите. Изборът на правилната стъпка от време е баланс между точността и на времето за изпълнение на дадена симулация. Намирането на оптимална времева стъпка може да се получи при тестването на резултатите от няколко симулации. Широко разпространено сред специалистите е изборът на времевата стъпка в секунди да се приеме в същия порядък като половината от размера на клетката в метри [45]. След няколко симулации с различна времева стъпка за работа с модела е приета времева стъпка от 2 секунди за изчислителен интервал при размер на изчислителната клетка от $2,5 \text{ m}$.

III.3.4 Резултати от симулациите

Резултатите от всяка симулация се визуализират в няколко слоя – дълбочини, скорости и ниво на водната повърхност

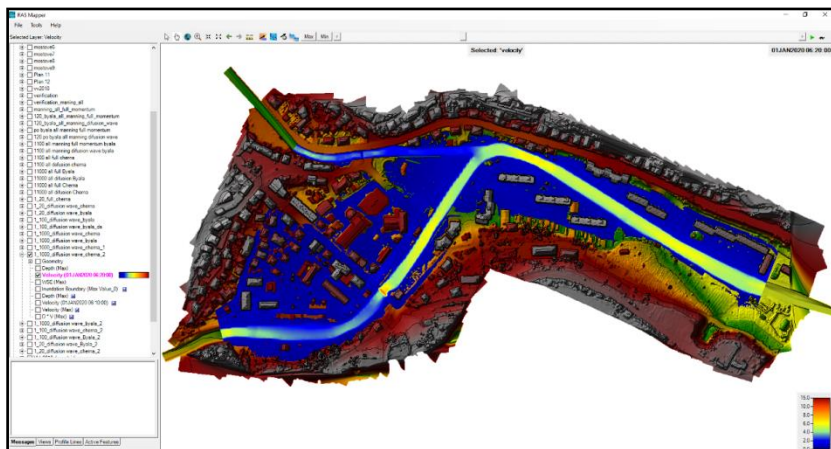
Според целите на всяка конкретна симулация специалистът има възможност да визуализира допълнителни слоеве, които представят различни характеристики на наводнението.

III.3.4.1 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималните дълбочини на заливане (фиг. 73)



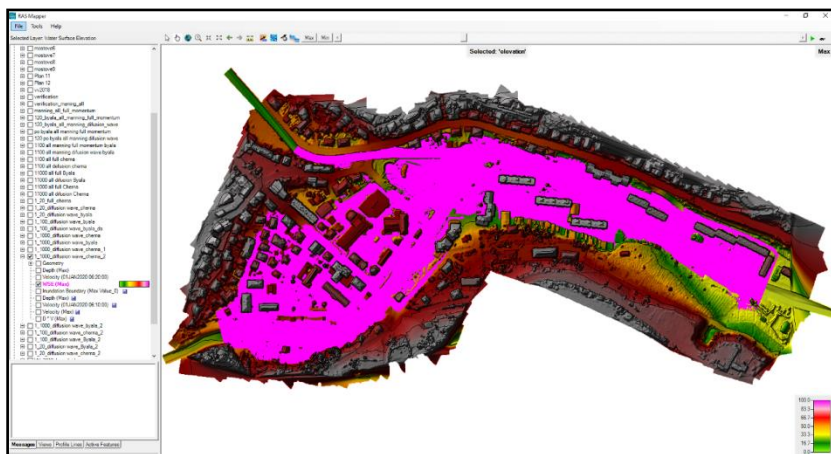
фигура 73 Карта с максимални дълбочини на заливане при случай PF1

III.3.4.2 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималните скорости на водата (фиг. 74)



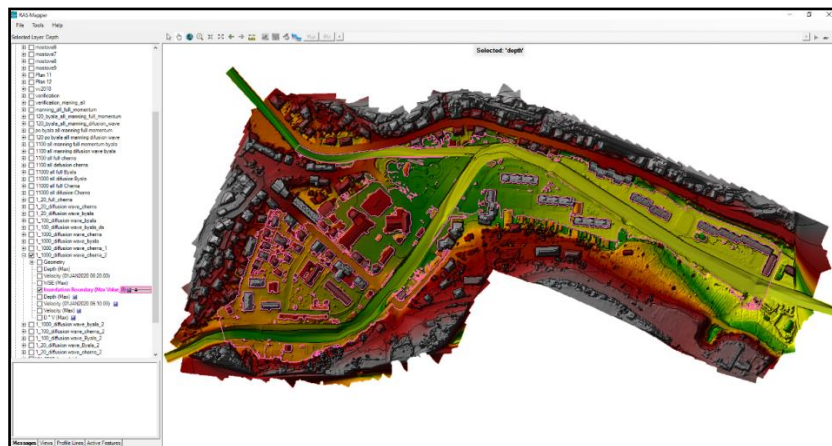
фигура 74 Карта с максимални скорости на водата при случай PF1

III.3.4.3 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималното ниво на водната повърхност (фиг. 75)



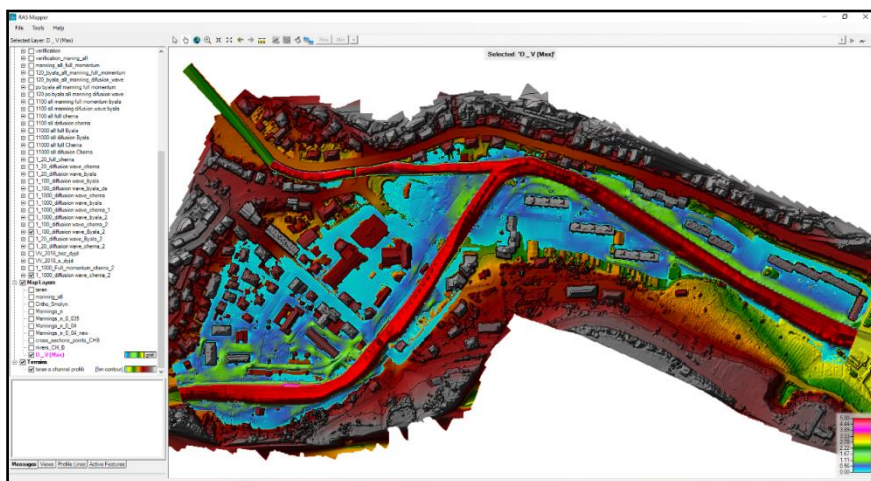
фигура 75 Карта с максималното ниво на водната повърхност при случай PF1

III.3.4.4 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималния обхват на наводнението (фиг. 76)



фигура 76 Карта с максималния обхват на наводнението при случай PF1

III.3.4.5 Карта с резултатите от симулация на случай PF1 за максималната степен на заплаха в зависимост от дълбочината на заливане и скоростите на водата (фиг. 77)



фигура 77 Карта с максималната степен на заплаха в зависимост от дълбочината на заливане и скоростите на водата при случай PF1

III.4 Изводи

- Използван е един съвременен метод за получаване на цифров модел на земната повърхност (Дрон).

- За да се стартира симулацията на HEC-RAS 2D модела, са използвани резултатите от еднодименсионалния модел като входни данни.

- Направени са тестове за чувствителност към коефициента на Манинг.

- Резултатите показват, че чрез модела HEC-RAS 2D се моделират големи дълбочини и по-голяма област на заливане при използване на уравнението за изменение на количеството движение (Saint Venant full momentum).

IV ГЛАВА: КАРТИ НА ЗАПЛАХАТА ОТ НАВОДНЕНИЯ

Карти на районите под заплаха от наводнения – покриват географските райони, които могат да бъдат наводнени при различни сценарии. Те представят резултати от хидравличното моделиране и са основа за оценка на риска от наводнения. Важно е да се отбележи, че зоните на заплаха не дават оценка на потенциални икономически и социални загуби, които са в резултат на наводнението.

На картите за всеки от така определените сценарии трябва да са представени следните елементи: обхват на наводнението, дълбочините на водата или водното ниво, скоростта на водното течение или съответните водни количества и карти, представящи различна степен на заплаха в зависимост от дълбочините и скоростите на водата.

В следващите точки от глава IV и в глава V от дисертацията е представена информация за шестте сценария разглеждани в разработката. Тук е представена информация само за един от сценариите, като информацията за останалите е аналогична.

IV.1 Карта на заплахата от наводнение с обхвата на наводнението

Тези карти представят границите на наводнените територии за всеки сценарий. Те се представят като полигон, като приложената цветова гама е жълт цвят за наводнения с голяма вероятност за настъпване (20 години), оранжев за наводнения със средна вероятност за настъпване (100 години) и червен за наводнения с малка вероятност (1000 години).

- Карта на заплахата от наводнение с обхват на наводнението за сценарий PF1 (фиг. 78)

При сценарий PF1 общият обхват на наводнението заема площ от 0,091 km² и засяга 62 сгради, от които 1 детска ясла, 1 хотел и 11 търговски обекта.



фигура 78 Карта на заплахата от наводнение с обхват на наводнението за сценарий PF1

- Сравнение на резултатите от картите на заплахата от наводнение с обхват на наводнението при различни сценарии

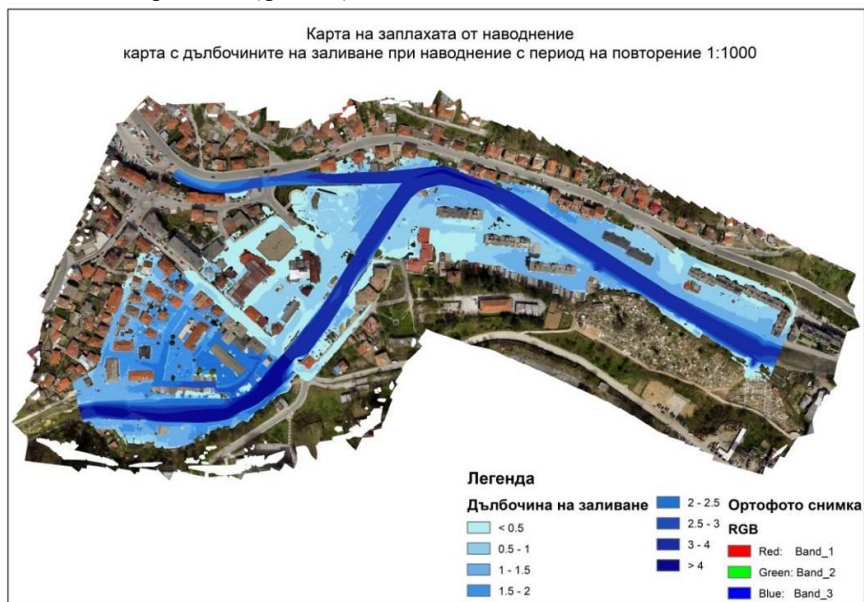
таблица 3 Засегната площ в km^2 и брой засегнати сгради от наводнение при различните сценарии

Сценарии	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6
Обхват на заливане [km^2]	0.091	0.076	0.052	0.049	0.035	0.034
Брой засегнати от наводнението сгради	62	51	15	14	12	12

IV.2 Карта на заплахата от наводнение с дълбочините на заливане

Дълбочината на заливането е един от най-важните параметри за определяне на щетите от наводнение и трябва да се представи на карти. Тя дава ясна и лесна за възприемане информация. Заливането е представено в градации на синия цвят, като водните нива са представени в няколко категории, като границите на тези категории – от 0 до 0,5 m, 0,5-1 m, 1-1,5 m, 1,5-2 m, 2-2,5 m, 2,5-3 m, 3 - 4 m и над 4 m. Картите представят максималната дълбочина за всяка клетка, която е моделирана през целия период на симулация.

- Карта на заплахата от наводнение с дълбочините на заливане за сценарий PF1 (фиг. 84)



фигура 84 Карта на заплахата от наводнение с дълбочините на заливане за сценарий PF1

- Сравнение на резултатите от картите на заплаха от наводнение с дълбочините на заливане при различните сценарии

таблица 4 Процент на уязвимите сгради, които са потенциално засегнати при различна дълбочина на наводнение

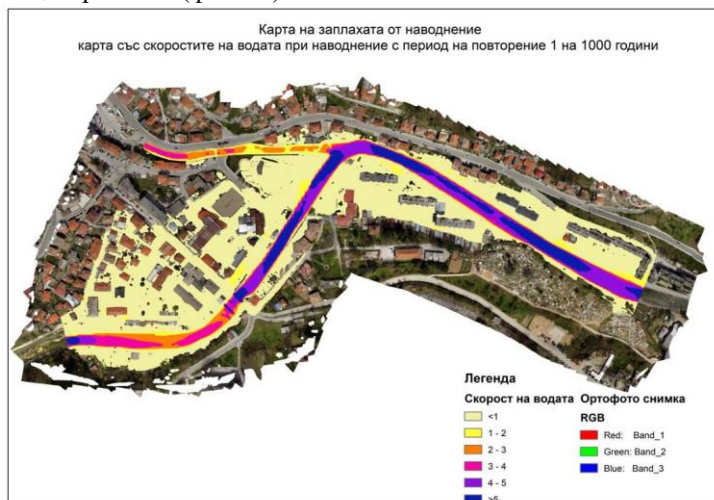
Сценарии Дълбочина	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6
H<0.5m	100%	100%	100%	100%	100%	100%
H=0.5÷1m	93.55%	84.31%	80%	78.57%	-	-
H=1÷1.5m	67.74%	29.41%	6.67%	14.28%	-	-
H=1.5÷2m	40.32%	7.84%	-	7.14%	-	-
H=2÷2.5m	8.06%	1.96%	-	-	-	-
H=2.5÷3m	1.61%	-	-	-	-	-

IV.3 Карта на заплахата от наводнение със скоростите на водата

Скоростта на течението е важна информация. 2D хидравличните модели представят коректно промяната на скоростите в целия обхват на наводнението

Скоростите на водата са представени в шест категории – цветови спектър от жълт – < 1 m/s до син – над 5 m/s, през интервал от 1 m/s. Картите представят максималната скорост за всяка клетка, която е моделирана през целия период на симулация.

- Карта на заплахата от наводнение със скоростите на водата за сценарий PF1 (фиг. 91)



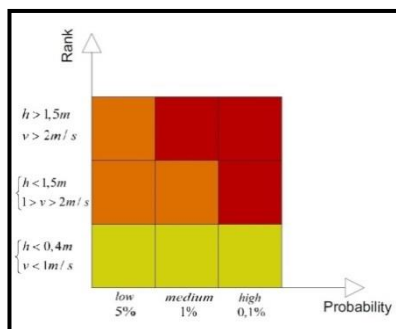
фигура 91 Карта на заплахата от наводнение със скоростите на водата за сценарий PF1

- Сравнение на резултатите от картите на заплахата от наводнение със скоростите на водата при различните сценарии

При резултатите от всички сценарии скоростта на водата в речното корито е > 2 m/s. При резултатите от сценарий PF1 в залетите територии има малки участъци, главно около реката преди моста на р. Черна и около някои сгради, в които скоростта на водното течение е между 1 и 2 m/s. В останалата част от залетите територии при сценарий PF1 и при всички останали сценарии скоростите на водното течение са под 1 m/s.

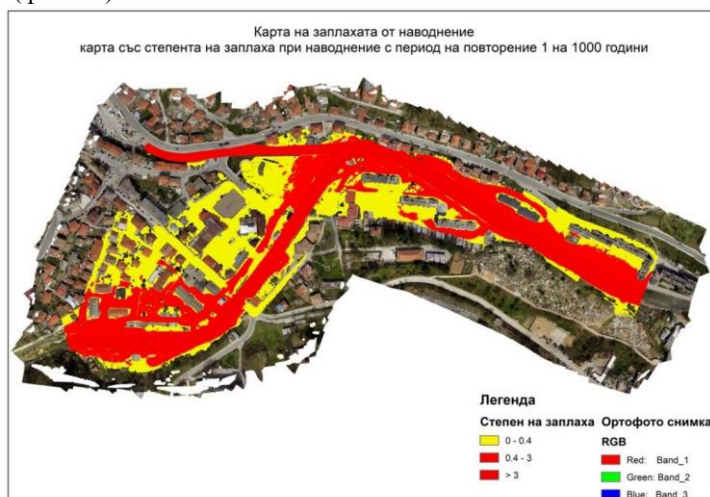
IV.3 Карта на степента на заплахата от наводнение

В това изследване е представена оценка на опасността от наводнения, като се използва комбинацията от скорост на водата и дълбочина на наводнението (фиг. 97). В зависимост от вероятността и комбинацията на скорост и дълбочина, степента на заплахата се дели на ниска (жълт цвят), средна (оранжев цвят) и висока (червен цвят).



фигура 4 Степен на заплаха при 0,1%, 1% и 5% обезпеченост [47]

- Карта на степента на заплахата от наводнение в зависимост от дълбочината на заливане и скоростта на водата за сценарий PF1 (фиг. 98)



фигура 98 Карта на заплахата от наводнение в зависимост от дълбочината на заливане и скоростта на водата за сценарий PF1

- Сравнение на резултатите от картите на заплаха от наводнение със степента на заплаха

Степента на заплаха при сценариите с водни количества 1 на 1000 години в района на вливане на р. Бяла в р. Черна и след него са с висока степен на заплаха, както и в района на левия бряг на р. Черна преди моста.

IV.4 Изводи

- Наводненията причиняват големи щети, особено в урбанизирани зони. Дори при изградени защитни съоръжения съществуват заплахи от

наводнения. Резултатите от направените изследвания показват, че най-голям брой жилищни сгради са засегнати от заплахата от наводнение при сценариите с обезпеченост 0,1% главно в района на вливането на р. Бяла в р. Черна и след това. По-голям е броят на засегнатите сгради при сценарий PF1 (висока вълна с обезпеченост 0,1% преминаваща по р. Черна).

- Комбинирането на 2D хидравличните модели с данни с висока резолюция от Дрон е подходящ метод за създаване на карти на заплахата от наводнения и представяне на различни елементи на наводнението.

- Възможността, която 2D модела дава за представяне на пространственото разпределение на скоростите, е основа за определяне на степента на заплахата в зависимост от дълбочината и скоростта. Това е много важна оценка за градски зони.

- Информацията от картите на заплахата от наводнения с различните елементи на наводнението е основа за оценка на риска от наводнения.

V ГЛАВА: СРАВНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ 1D И 2D МОДЕЛИТЕ

V.1 Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за обхвата на заливане при различните сценарии

При сравнението на резултатите от 1D и 2D моделите за всеки от сценариите има значителна разлика в обхвата на залетите територии. Както се очаква, поради по-детайлните данни за терена и батиметрията на реката, обхватът на наводнението при симулация с 2D модела е по-голям и детайлен.

- Сценарий PF1 (фиг. 104)



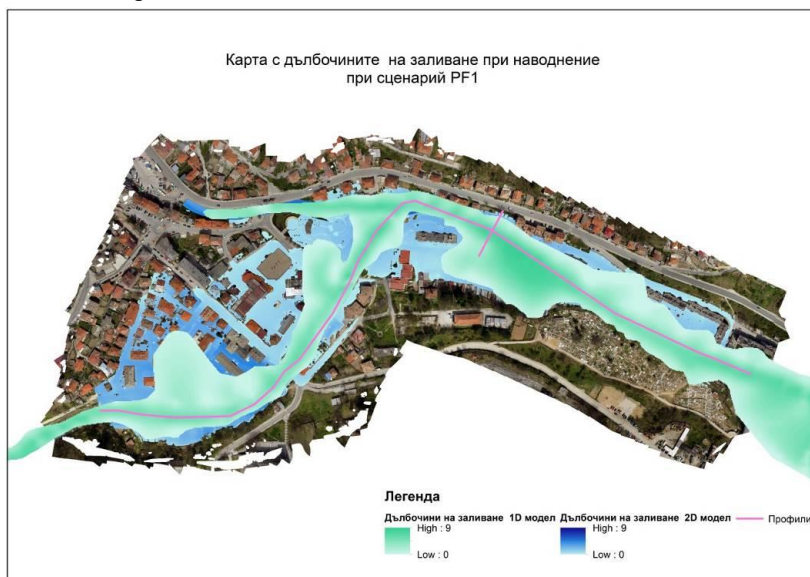
фигура 104 Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за обхвата на наводнението при сценарий PF1

V.2 Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за дълбочините на заливане и водните нива при различните сценарии

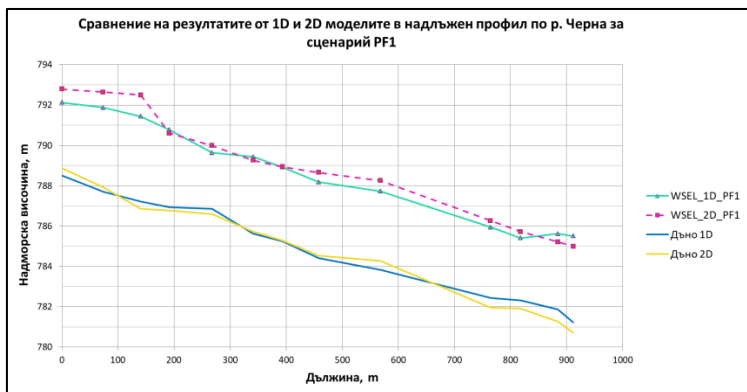
В тази част на дисертацията са представени сравненията на резултатите от 1D и 2D моделите във вид на карти (фиг. 110), във вид на надлъжен профил по р. Черна (фиг. 111) и във вид на напречен профил (фиг. 112) за всеки сценарий. В таблица 6 са посочени разликите на водните нива в надлъжния профил. Резултатите показват, че разликите варират от 1 cm до 83 cm и по-големите разлики са в резултат на по-точното описване на речното корито. Данните за първите три точки от надлъжния профил са нереалистични, поради не доброто моделиране на района около моста на р. Черна (турбулентно движение).

Важна разлика в резултатите от 1D и 2D моделите се вижда при водното ниво в напречните профили. Резултатът от 1D модела за дадено напречно сечение има една стойност за целия профил, докато при 2D модела резултатът за водното ниво е различен за всяка изчислителна точка от профила. Следователно, водното ниво в един напречен профил е променливо по дължината му.

- Сценарий PF1



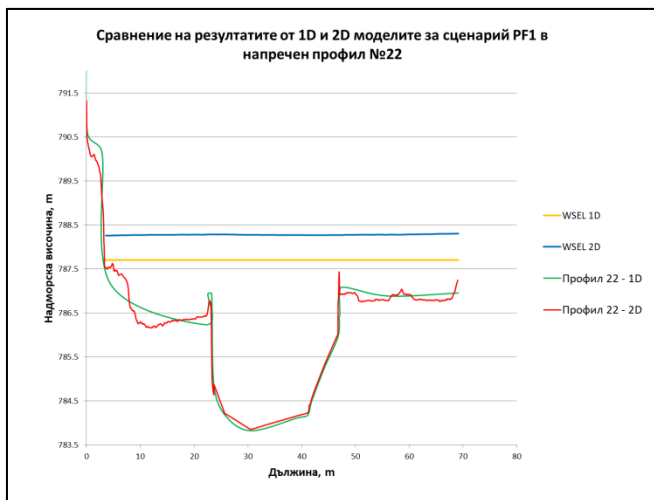
фигура 110 Сравнение на резултатите от 1D и 2D моделите за дълбочините на наводнението при сценарий PF1



фигура 111 Надлъжен профил с дълбочините от 1D и 2D моделите за при сценарий PF1

таблица 5 Данни за водните нива в надлъжния профил при сценарий PF1

Профил	WSEL 1D	WSEL 2D	Разлики
32	792.13	792.789	0.659
31	791.88	792.641	0.761
30	791.44	792.498	1.058
28	790.78	790.608	-0.172
27	789.63	789.991	0.361
25	789.43	789.263	-0.167
24	788.92	788.935	0.015
23	788.18	788.653	0.473
22	787.723	788.25	0.527
21	785.94	786.268	0.328
20	785.41	785.723	0.313
19	785.62	785.213	-0.407
18	785.51	784.987	-0.523
максимална разлика			0.527



фигура 112 Напречен профил с дълбочините от 1D и 2D моделите за при сценарий PF1

При сравнението на резултатите от 1D и 2D моделите за всеки от сценариите има значителна разлика в дълбочините. Както се очаква поради по-детайлните данни за терена и батиметрията на реката, дълбочините на наводнението при симулация с 2D модела са по-големи.

V.3 Изводи

- Има сходство между резултатите от двата модела по отношение на обхвата на залетите територии

- 2D модела взема предвид промените в батиметрията, тъй като изчислява всички хидравлични параметри и водната повърхност във всяка клетка на изчислителната мрежа. 1D модела изчислява водната повърхност във фиксирани точки за изчисление на напречни сечения и между тях използва техниката на интерполация и не взема предвид никакви промени в характеристиките на дъното на реката.

- В 1D модела нивото на водата е постоянно в напречното сечение, а при 2D моделът има променливост в нивото на водата в напречното сечение.

VI ГЛАВА: МОДЕЛИРАНЕ НА ПОРОЙНИ НАВОДНЕНИЯ В ГРАДСКИ РАЙОНИ С ПОМОЩТА НА HEC-RAS

Интензивността на валежите е най-важният фактор, влияещ върху поройните наводнения. Поройните наводнения са бързо развиващи се явления (обикновено до 6 ч. от започването на интензивните валежи) върху сравнително малка площ. Те са наводнения с малка продължителност и голям пик на водното количество. Тези наводнения могат да се случат и в райони, които обикновено са сухи и без постоянна речна мрежа. Поройните наводнения са бързо настъпващи наводнения, причинени от интензивни валежи, но могат да се случат и при повреда на язовир или друго хидротехническо съоръжение.

VI.1 Влияние на климатичните промени върху появата на поройни наводнения

Хидрологичната система е много чувствителна към измененията в климата. Последниците от изменението на климата като промени на количеството на валежите и тяхното пространствено и времево разпределение, промяната на температурата на въздуха, ще имат пряк ефект върху хидроложкия режим.

IPCC посочва в своя специален доклад за екстремните явления [48], че изменението на климата „осезаемо е повлияло“ на някои от свързаните с водите променливи, които допринасят за наводнения, като валежи и снеготопене. Промените, свързани с климата като повишен риск от интензивни валежи и по-чести бури, увеличават риска от наводнения. Разбира се, интензивните валежи не водят автоматично до наводнения, но увеличават потенциала за тях. Дори умерените количества валежи могат да причинят сериозни щети, особено на места, където градските наводнения се увеличават.

VI.2 Източници на данни за прогнозиране на поройни наводнения

VI.2.1 Наземни станции

Традиционният подход за прогнозиране на наводненията е да се използват измерените валежите от редица дъждомерни станции. Наблюдателната мрежа предоставя ценна информация, но пространственото разпределение на дъждомерните станции обикновено е ограничено и като цяло недостатъчно, за да осигури достатъчна гъстота и времево покритие за точно прогнозиране на оттока и предупреждения за наводнения.

Поради краткия интервал от време (по-малко от шест часа) между наблюдаваните валежи и наводнението, закъсненията, присъщи на системите за наблюдение от хора, докладване и запис, обикновено са твърде големи, за да бъдат направени навреме прогнози и предупреждения. Необходимо е автоматично събиране на данни в реално време.

VI.2.2 Радарна информация

Тъй като много от ситуациите с поройни наводнения са в резултат на гръмотевични валежи, точната оценка на валежите в района е основен проблем при прогнозирането на наводненията. Водосборите често са малки, много от тях са в планински райони, където орографските особености увеличават вариативността на валежите в района. Радарът може да бъде особено полезен при оценката на наземните валежи, тъй като дава перспектива на областта и има възможност за бързо оценяване на наземните валежи.

VI.2.3 Сателитна информация

Сателитните данни могат също да се използват за оценка на количествата на валежите. Сателитните изображения показват жизнения период на кумулус облака и силата на издигането като функция от височината или дебелината на облака. С известни техники може да се оцени влагата в облачната система, получаването на облаци с нарастваща интензивност на валежите. Както при радарите, е необходимо да се автоматизират тази техники, като се използват данни от цифрови изображения, за да се осигурят в реално време количествените характеристики на валежите, необходими за моделите за прогнозиране на наводненията.

VI.2.3 Количествено прогнозиране на валежите (QPF)

QPF показва както реалното разпределение, така и количеството на валежите, които се очаква да настъпят за даден период от време. Най-важната характеристика на QPF е, че те предупреждават прогнозиращия за възможността за значителни интензивни валежи.

VI.3 Прилагане на простия модел валеж – отток в HEC-RAS за моделиране на валеж с определен период на повторение

Наличието на метеорологични данни за валежа позволява прилагане на директно моделиране на оттока в резултат на валежи. Хидроложният инструмент в HEC RAS е приложен за моделиране на процеса валеж – отток. Валежите се добавят като гранично условие.

Когато в 2D модела се включва симулация с валеж (дъжд върху мрежата), тя протича дълго време, тъй като всяка клетка от 2D зоната се намокря. Времето за симулация е дълго, тъй като тя трябва да обхване цялото време на концентрация за водосбора.

Основните недостатъци при използването на 2D HEC-RAS за прогнозиране на поройни наводнения са:

- Проблем при симулиране на условието сухо речно легло, което е най-честото първоначално състояние при симулация на наводнения в градските райони.
- Филтрацията не може да бъде моделирана в HEC-RAS

VI.4 Необходими данни, обработка на данни и създаване на модела

Избран за това изследване е водосборът на р. Черна до станция №61350 с. Търън (фиг. 128). Площта на водосбора е 237,395 km². Релефът е планински, със стръмни склонове. Разликата в надморската височина на най-ниската и най-високата точка е около 1300 m.

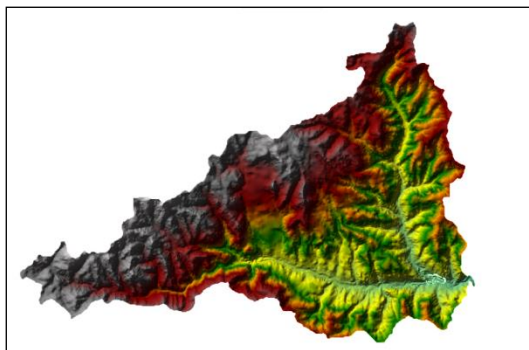


фигура 128 Карта на водосбора на р. Черна до станция с. Търън

VI.4.1 Данни за терена

Използвана е комбинация от няколко различни източника на данни за терена с различна резолюция (фиг. 129):

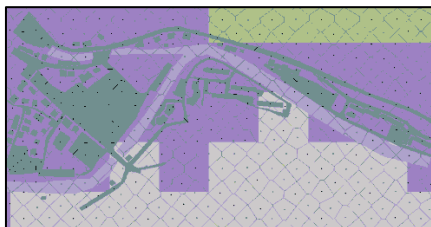
- Слой с батиметрията в района на кв. Устово с резолюция 0,05 m
- Слой от Дрон за района на кв. Устово с резолюция 0,05 m
- Слой за поречието на р. Черна до станцията при с. Търнене, дигитализиран от карти, с резолюция 5 m
- Слой с ЦМТ за целия водосбор с резолюция 50 m



фигура 1295 Комбиниран ЦМТ за водосбора на р. Черна до станция Търгов

VI.4.2 Информация за коефициентите на Манинг

За определяне на коефициентите на Манинг е използвана информация за земното покритие от CLC 2018 за разглеждания район. В него попадат 13 различни вида на земно покритие като са добавени още два вида ръчно за района на кв. Устово – един за речното корито и един за сгради и улици (фиг. 131). Описание на видовете земно покритие и за избрания коефициент на Манинг за всеки вид покритие са представени на фигура 132.



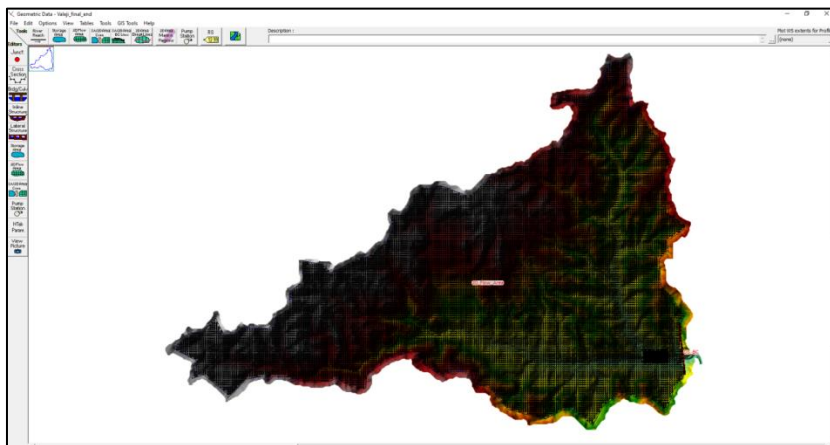
фигура 131 Земно покритие на изследвания участък

Color	Value	Name	Default Manning's n
	0	nodata	
	1	river	0.3
	10	313 mixed forest	0.75
	11	321 natural grasslands	0.03
	12	324 transitional woodlands...	0.6
	13	121 industrial or commercial ...	0.5
	14	333 sparsely vegetated areas	0.05
	15	131 mineral extraction sites	0.005
	2	ulici i sgradi	0.02
	3	142 sport and leisure facilities	0.5
	4	231 pastures	0.03
	5	112 discontinuous urban fa...	0.5
	6	242 complex cultivation patt...	0.3
	7	243 land principally occupie...	0.3
	8	311 broad-leaved forest	0.75
	9	312 coniferous forest	0.75

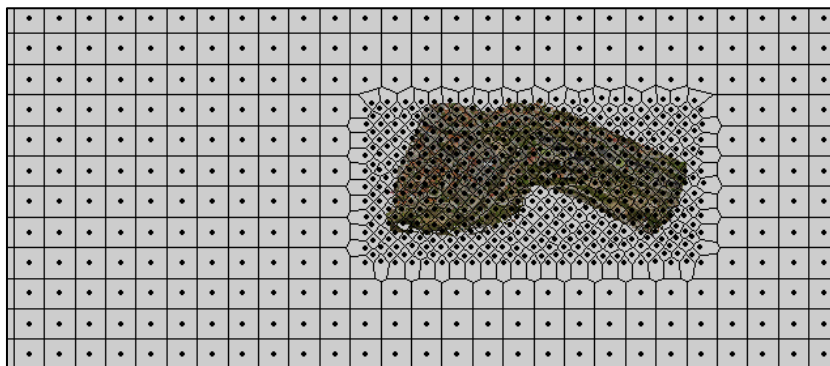
фигура 1326 Стойности на Манинг за изследвания участък и целия водосбор

VI.4.3 Изчислителна мрежа

Размерът на клетките от изчислителната мрежа за целия изследван район е 100/100 m (фиг. 133). Мрежата е сгъстена ръчно в района на кв. Устово за получаване на по-точни резултати (фиг. 134).



фигура 1337 Изчислителна мрежа



фигура 134 Сгъстена изчислителна мрежа в района на кв. Устово

VI.5 Симулации с данни от хиетографите с обезпечености 0.5%, 0.1% и 0.01 %

VI.5.1 Гранични условия за 2D района

Граничното условие за 2D района е синтетичен хиетограф. По-долу е представена информация за видовете синтетични хиетографи и създаването им.

VI.5.1.1 Анализ на данните за валежите, периоди на повторение и дизайн на валежите

Използвана е информация за денонощния максимум на валежа от климатична станция Райково №45040. Определена е стойността на денонощния максимум на дъжда при обезпеченост 5%, 1% и 0,1%. Денонощният максимум на валежа с период на повторение веднъж на 20, 100 и 1000 години към климатична станция 45040 Райково е определен и ни е предоставен от секция „Метеорология“ с използване на различни вероятностно-статистически модели на разпределение на базата на серията от изходни данни. Използвани са:

GEV_LM - Generalised Extreme Value model with L-moments method for parameters estimation

GEV_NS - Generalised Extreme Value non-stationary model

GEV_ML - Generalised Extreme Value model with Maximum Likelihood method for parameters estimation

PE3_LM - Pearson type 3 model with L-moments method for parameters estimation

Резултатите са показани в таблица 12.

таблица 12 Денонощния максимум на дъжда при обезпеченост 5%, 1% и 0,1%

GEV_LM			Best fitted model				GEV_ML			PE3 LM *		
P_5% (mm)	P_1% (mm)	P_0.1% (mm)	P_5% (mm)	P_1% (mm)	P_0.1% (mm)	Type	P_5% (mm)	P_1% (mm)	P_0.1% (mm)	P_5% (mm)	P_1% (mm)	P_0.1% (mm)
87.0	103.4	121.9	84.4	98.1	113.1	GEV_NS	85.5	100.2	116.1	86.8	103.6	124.5

Резултатите от различните разпределения са много близки като стойности. За създаване/моделиране на единични събития за валежи са избрани резултатите от GEV_ML.

За определяне на максималната височина на валежа с определена обезпеченост и времетраене е използвана „Методика за изчисляване на максималните дъждове с различна обезпеченост и продължителност“, разработена основно от проф. Герасимов за нашата страна [51]. Районът на гр. Смолян попада в 9-ти район за редукионни криви на валежите.

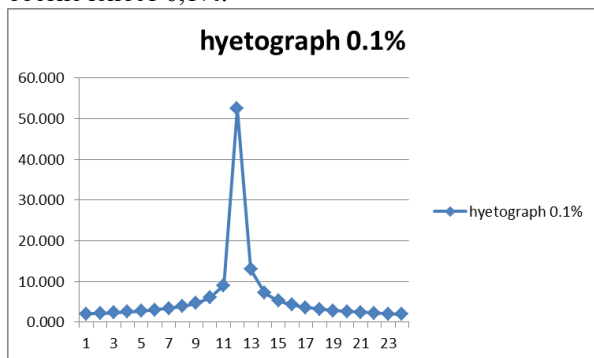
Между параметрите на дъжда времетраене - t , интензивност - I и повтаряемост - n съществува корелативна връзка, изразяваща се в общата тенденция, по-интензивните дъждове да имат по-малко времетраене и по-малка повтаряемост. В англоезичната специализирана литература тази връзка е известна под името Intensity-Duration-Frequency curves.

VI.5.1.2 Създаване на синтетични хистографи

В литературата са описани много методи за създаване на синтетични хистографи. Повечето от тях са емпирични [52].

В настоящата работа е приложен метода за атернативен блок/стълб синтетичен хистограф за създаване на синтетични хистографи за

обезпеченост на валежа 0,1%, 1% и 5%. На фигури 139 е представен резултата за обезпеченост 0,1%.



фигура 139 Синтетични хьетографи за обезпеченост на валежа 0,1%

Моделираните наводнения в района на гр. Смолян, както и симулациите на интензивни валежи с различна обезпеченост, показаха, че градските характеристики като сгради и улици са много важни характеристики, които трябва да се включат в прогнозата за градско наводнение. Обсегът на наводнението, както и дълбочините и скоростите на водата, се влияят от градските характеристики. Когато водата се движи по улиците, преминаващи между сградите, тя се ускорява в някои сегменти и се застоява в други.

VI.5.2 Симулиране на наводнения от екстремни метеорологични събития (валежи) с обезпечености 0,1%, 1% и 5%

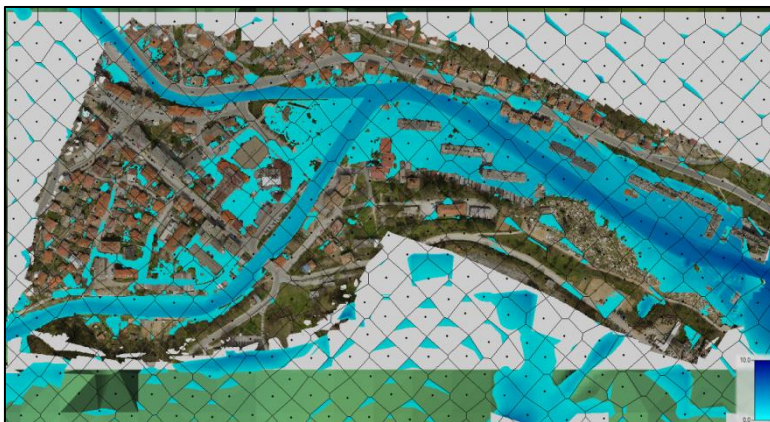
Понастоящем филтрацията не може да бъде моделирана в HEC-RAS и е пренебрегната, като се приема водонаситена земя по време на периода на симулация. Симулацията се провежда за период от 24 часа. Симулациите на дъжда са проведени с уравнението на дифузната вълна и времева стъпка от 1s.

VI.6 Резултати от симулациите

VI.6.1 Симулация с валеж с период на повторение веднъж на 20 години

VI.6.1.1 Резултати с данни за дълбочините

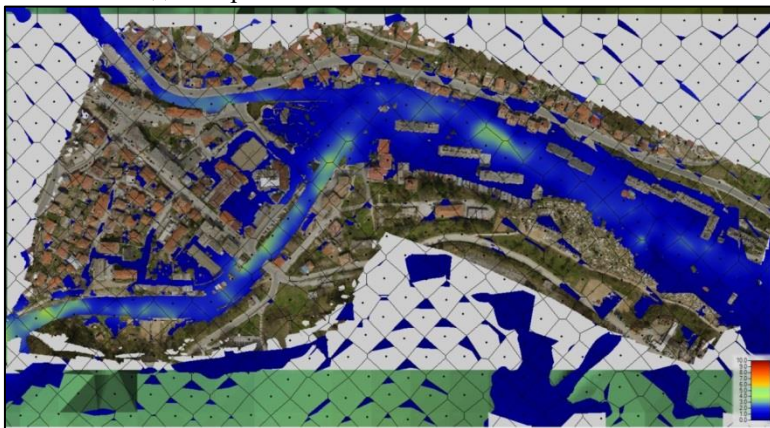
На фигура 142 са представени засегнатите части от наводнение и разпределението на дълбочините на заливане.



фигура 8 Резултати с данни за дълбочините

VI.6.1.2 Резултати с данни за скоростите

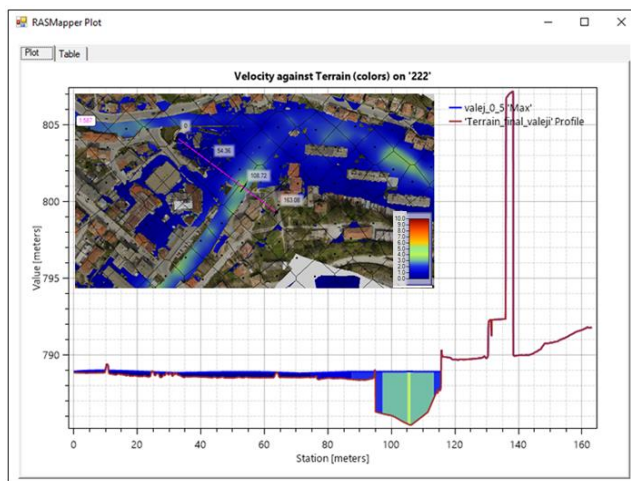
На фигура 144 е представена информация за разпределението на скоростите във вид на карта.



фигура 144 Резултати с данни за скоростите

VI.6.1.3 Профил с данни за дълбочините и скоростите

На фигура 146 са представени резултати с разпределението на скоростите в произволен напречен профил и в план.



фигура 14610 Профил с данни за дълбочините и скоростите

В точки VI.6.2 и VI.6.3 са представени аналогично резултатите на симулациите в вероятност веднъж на 100 и веднъж на 1000 години.

VI.7 Прилагане за случило се поройно наводнение 28-29.06.2018г.

VI.7.1 Информация за наводнението

В тази точка е разгледано реално случило се наводнение в района на гр. Смолян на 28 и 29.06.2018 г. Представена е прогнозна информация за наводнението и данни за пространственото разпределение на валежите, както и регистрирани данни от автоматичната хидрометрична станция на р. Черна при с. Търън.

VI.7.2 Необходими данни и изчислителна мрежа

При тази симулация данните за терена, за коефициентите на Манинг и за изчислителната мрежа за същите като в точка VI.4.

VI.7.3 Гранични условия

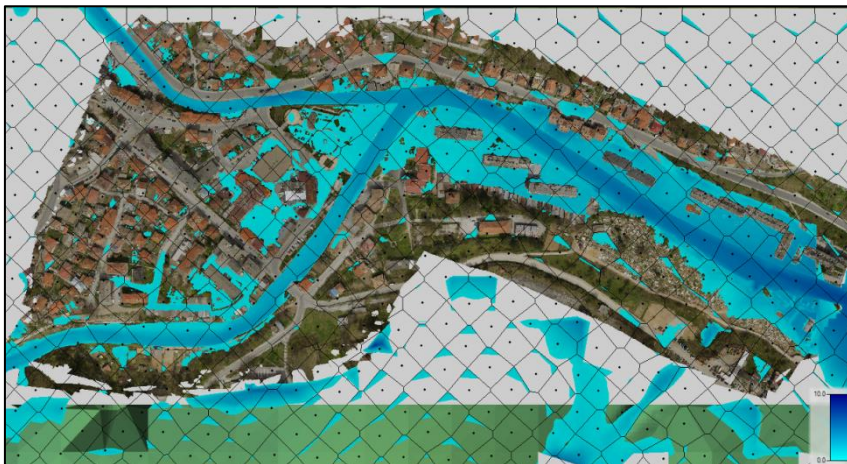
- За 2D зоната – като гранично условие е използвана информация от регистрирания валеж за периода 24.06 - 06.07.2018 г. от автоматична станция Райково - № 45047
- За долната граница на изчислителната мрежа – като гранично условие е използвана нормалната дълбочина изчислена, както в точка III.3.2.

VI.7.4 Стартиране на симулацията

Използвано е уравнението на дифузната вълна за изчисленията и е зададена изчислителна времева стъпка от 2 минути.

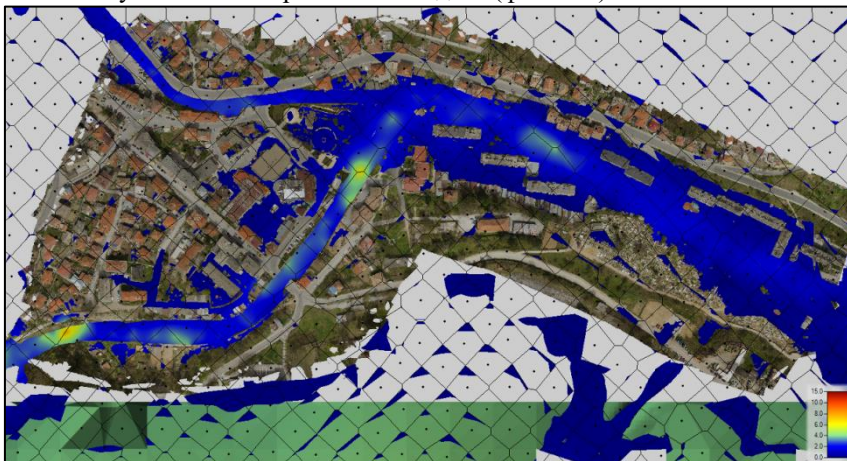
VI.7.5 Резултати от симулацията

- Резултати с дълбочините на водата (фиг. 167)



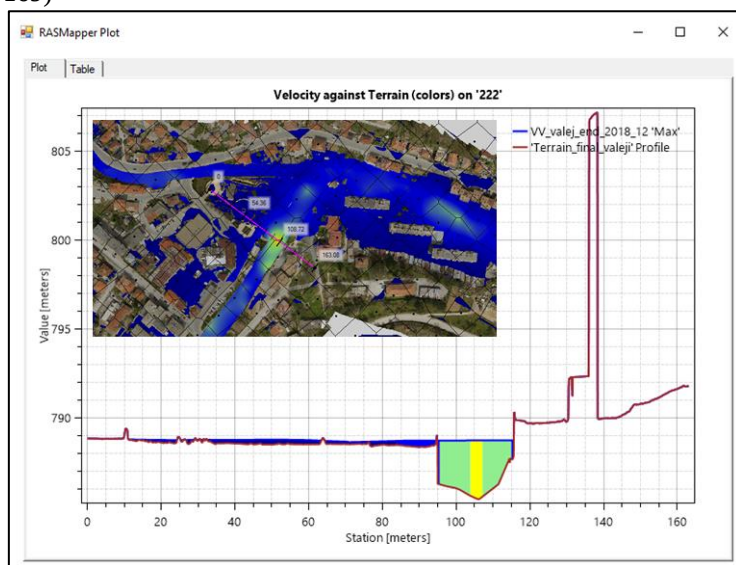
фигура 167 Резултати с данни за дълбочините

- Резултати със скоростите на водата (фиг. 168)



фигура 168 Резултати с данни за скоростите

- Напречен профил с резултати за дълбочините и скоростите (фиг. 169)



фигура 169 Профил с данни за дълбочините и скоростите

Резултатите от симулацията на реалното наводнение в гр. Смолян от 2018 г. са реалистични. Паради все още началната фаза на разработка на модула валеж-отток в модела HEC-RAS, липсата на данни за инфилтрацията в модула, недостатъчната точност на данните за земното покритие и други фактори, резултатите няма как да са достатъчно точни на този етап. В бъдещите версии на модела се очаква тези пропуски в модула да се запълнят и резултатите значително да се подобряват. Посоката, в която се развива моделът, е към обединяване в един общ, свободно достъпен продукт, за хидроложното и хидравличното моделиране.

VI.8 Изводи

- Моделираното историческо наводнение в района на гр. Смолян, както и резултатите от симулираните интензивни валежи с различна обезпеченост, показаха, че градските характеристики, като сгради и улици, са много важни и влияят върху обсега на наводнението, дълбочините и скоростите на водата.

- Картите на наводненията от симулациите с 20-, 100- и 1000-годишни хиетрографи са класифицирани според сценариите на заплахата. Картите на заплахата посочиха местата, които са най-уязвими в трите сценария. Определените в населените места заливни зони трябва да се използват от местните власти за приемане на структурни и неструктурни мерки.

ПРИНОСИ

Приноси с научно-фундаментален характер:

- Въз основа на съвременните постижения в областта на хидравличното моделиране е доказана възможността и е показан начинът за приложение на 2D хидравлични модели за моделиране и прогнозиране на заплахата от наводнения.

- Установено е, че 2D-моделите са много чувствителни към стойностите за коефициента на грапавината на заливаните площи, като от техният правилен подбор зависи в най-висока степен реалистичното определяне на дълбочината на водата при наводнение.

- Установено е, че при 2D моделирането се представя пространствено разпределение на скоростите и изчислено водно ниво във всеки пиксел на ЦМТ, като отразява промените в батиметрията.

- Представен е начин за прилагане на 2D хидравличен модел при моделиране на поройни наводнения.

Приноси с научно-приложен характер:

- Доказана е възможност и начин за използването на относително евтини данни, които са с голяма резолюция, за представяне на цифровия модел на терена (DEM) и цифровия модел на земната повърхност (DSM) в хидравличното моделиране.

- Създаден е и е приложен на практика 2D хидравличен модел за речни и поройни наводнения на урбанизирана зона в гр. Смолян.

- Разработени са актуални карти на заплахата от наводнение за различни обезпечености и сценарии за урбанизирана зона в гр. Смолян. На картите са представени характеристиките на заплахата от наводнение: обхват, дълбочина на водата, скорост на водата, както и степента на заплахата от съчетанието на скорост и дълбочина на водата.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Balabanova, S.; Koshinchanov, G.; Stoyanova, V.; Yordanova, V. „GEODATABASE FOR OCCURRED FLOODS TO SUPPORT PRELIMINARY FLOOD RISK ASSESSMENT“. SGEM Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Book number 3.1 Pages: 225-232“ .

2. Stoyanova, V.; Yordanova, V. „CREATION OF DIGITAL SURFACE MODELS AND DIGITAL ELEVATION MODELS FOR THE PURPOSES OF TWO-DIMENSIONAL HYDRAULIC MODELING“ SGEM Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Book number 3.1 Pages:113-120

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам искрени благодарности на своя научен ръководител за доверието в мен, за професионализма, ясните и целенасочени напътствия, търпението и неограничената подкрепа през целия период на работа.

Изказвам най-сърдечната си благодарност и на проф. д-р т.н. Евелин Монеv, за неговата помощ, ценните му съвети и насоки по време на разработването на дисертацията.

Изказвам своята благодарност към колегите от департамент „Хидрология“, които ми подготвиха и предоставиха информация за избрани високи вълни.

Изказвам своите благодарности към колегите от департамент „Метеорология“ за предоставената метеорологична информация.

Бих искала да изкажа огромни благодарности на моите колеги от секция „Хидрологични прогнози“ за желанието им да споделят идеи, опит и знания с мен. Както и за толерантността им към ангажираността ми по време на написването на дисертационния ми труд.

Благодаря и на родителите си за цялостната подкрепа и обич и на всички близки, които ми вдъхваха вяра и кураж, за да продължавам успешно напред.

Запазвам края, за да благодаря на моя съпруг и дъщеря ми, които изтърпяха цялото творческо напрежение и ангажираност, с които бе свързано написването на настоящата работа. Тяхната любов и подкрепа през последните години бяха безценна опора за мен.