Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

РАЦИОНАЛЕН МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОРАЗМЕРИТЕЛНО ДЪЖДОВНО ВОДНО КОЛИЧЕСТВО.

ОСНОВНИ АРГУМЕНТИ ВЪВ ФУНКЦИЯТА ВОДНО КОЛИЧЕСТВО.

ПРИМЕРНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВРЕМЕОТТИЧАНЕ.

Марин Геров, дипл. инж.
октомври - декември, 2015 год.

ГЕРОВ ИНЖЕНЕРИ
Digitally signed by Marin Iliev Guerov
DN: email=marin.guerov@gmail.com, 0.9.2342.19200300.100.1.1=EGN7411236989, cn=Marin Iliev Guerov, ou=EIK7411236989, ou=eSign Qualified Profession, o=Marin Iliev Guerov - Stroitelen Inzhener, l=Sofiya, st=Sofiya (stolitsa), c=BG
Date: 2016.02.22 18:32:00 +02'00'

1. ВЪВЕДЕНИЕ.

Рационалният метод или т. нар. метод на пределната интензивност (преди години в България) е широко разпространен начин за определяне на оразмерителни дъждовни водни количества от малки водосборни области. Всички негови характеристики и параметри са добре познати на инженерната общност, но често той се спомена механично само като емпирична зависимост, без негово тълкуване и описание.

Основната цел, която си поставих при стартирането на настоящото изследване е създаване на един цялостен модел, който да обединява и тълкува неговите параметрите.

В последствие беше добавен и алтернативен начин за изчисляване на времеоттичане от дадена водосборна област, основният параметър който определя времетраенето на оразмерителния дъжд.

В заключителните стъпки ще намерите и смела процедура за определяне на оразмерителния хидрограф на дадена водосборна област в комбинация с рационалния метод.

Исторически погледнато рационалният метод датира от 1850 год., когато „Мълвани“ (Mulvaney), а след това „Куичлинг (Kuichling)“ през 1889 год. дават подробно и правдоподобно описание:

Ако продуктите на дъждовната интензивност и водосборната площ са постоянни величини за даден интервал от време (или по – дълъг), за който се отводнява изцяло дадена водосборна площ, то тогава водното количество за тази площ ще бъде равно на този продукт:

Водното количество „Q” = на продукта „I”.

или

*Q = C * I * F*

Където,

*C е отточния коефициент, даващ връзката между входното водно количество „ I * F” и изходното такова „Q”.*

I е интензивността на оразмерителния дъжд.

F е площта на водосборната област.

Въпреки, че често е считан за опростен, той дава правдоподобна представа относно очаквания максимален отток за малки водосборни области до 80 хектара, в които няма значителен потенциал от наводнения.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Използвани означения:

g – земно ускорение [m/s^2]

t, ° C – температура на флуида (течността);

g = 9,80665 m/s^2 – земно ускорение;

ϑ – коефициент на кинематична вискозност;

Qд - оразмерително дъждовно водно количество ,[l/s]

qt - интензивност на оразмерителния дъжд, [l/s.ha]

$\psi_{ср}$ или C - среден отточен коефициент за канализираната територия;

F или A – водосборна площ, [ha].

t - времетраене на дъжда, [min];

p - период на повтаряемост на дъжда, [год.]

t_o – сумарно времеоттичане, [min];

a - ретензионен коефициент;

t_k - времеоттичане по участък от канализационната мрежа,[min];

T_o – времеоттичане от плоска повърхност с наклон, [min];

T_t - времеоттичане при повърхностна концентрация, [min];

L_i - дължина на дадена повърхност / участък / поток, [m];

V_i – средна скорост на участъка / потока, [m/s];

V_t - скорост на потока при повърхностна концентрация, [m/s];

k - коефициент на прихващане при повърхностна концентрация;

J – среден наклон на повърхността, [m/m] или [%];

n - коефициент на грапавина по Маннинг;

V- скорост на потока, [m/s];

R - хидравличен радиус, [m].

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

2. ПРЕДПОСТАВКИ НА РАЦИОНАЛНИЯ МЕТОД.

2.1. Максималният отток (водно количество) от дадена водосборна плоча се създава тогава, когато се отчита цялата водосборна площ.

Тълкуване.

По дефиниция „Рационалния метод“ представлява един емпиричен метод описващ даден стационарен поток, при който водното количество за определен период от време не се променя по дължина (скоростта на потока не се променя до дължина), за разлика от нестационарните потоци (методи), където водното количество е функция, както на времето, така дължината.

Тоест определянето на оразмерително дъждовно водно количество за дадена водосборна област може да стане само в дадена принадлежаща на него точка (а не по нейната дължина), която обикновено представлява най-ниската кота по нейното протежение. Следователно, може да се каже, че рационалният метод е предназначен за определяне на максималното дъждовно водно количество от малки водосборни области.

2.2. Интензивността на падналия дъжд се разпределя еднакво (една и съща) в/у цялата водосборна площ.

Тълкуване.

На практика падналият дъжд варира пространствено и във времето по време на дадено дъждовно събитие, тоест той представлява един нестационарен поток. За малки водосборни области, предположението за еднакво разпределение на дъжда звучи правдоподобно. Същевременно с нарастване на площта, интензивността на дъжда започва да варира значително в пространството и времето. То тогава отточният коефициент става независима величина от интензивността и водното количество. Тази предпоставка е правдоподобна за непромокаеми площи, като например улици и покривни повърхности.

За промокаеми водосборни площи отточният коефициент варира с интензивността на дъжда, акумулираното водно количество и предходни (преди това) паднали валежи (наличие на влажни условия). Следователно, прилагането на „Рационалният метод“ включва избора на такъв отточен коефициент, който да бъде подходящ за дадения дъжд, почва и вида на урбанизираната територия. Ограничаването на водосборната площ до 80 хектара, правят тези предпоставки правилни и правдоподобни.

2.3. Оразмерителното дъждовно водно количество в дадена точка се получава при такава стойност на интензивността на дъжда, при която времетраенето на дъжда се изравнява с времеоттичането от най-отдалечената в хидравлично отношение точка от водосборна площ.

Тълкуване.

Това е така, защото интензивността на дъжда е постоянна величина и цялата водосборна площ спомага за максимално оттичане, когато времеоттичането е изтекло. Това предположение става невалидно с нарастване площта на водосборната област.

За големи водосборни области, времеоттичането може да стане толкова голямо, че предпоставката за постоянна интензивност на дъжда при толкова дълги периоди е невалидна, следователно за по-кратките, но по-интензивните валежи ще създадат съответно и по – големи водни количества (оттоци). Допълнително, интензивностите на дъжда обикновено варират по време дъждовната буря, тоест те се променят.

За полусухи и сухи климатични региони, дъждовните клетки са относително малки, но с екстремна вариативност в интензивността.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

2.4. Периодът на повтаряемост на максималното водно количество и еднакъв с този на оразмерителния дъжд при дадено времеоттичане и зависи от следните параметри:

- Повтаряемостта на оразмерителния дъжд.
- Предходни валежни състояние във водосборната област.
- Хидравличните и експлоатационни характеристики на канализационната (отводнителната) система.

Тълкуване.

Например, оразмерителен дъжд с 10-годишна повтаряемост ще създаде 10-годишен максимален отток (максимална водно количество).

За малки, почти непромокаеми площи, периодът на повтаряемост на дъжда е доминиращ показател. За по-големи водосборни басейни, отговорните характеристики са първично влият в/у периода на повтаряемост. За водосборни площи с по-малка антропогенна дейност (малко застрояване) или с няколко непромокаеми повърхности / площи, обикновено определящи са предходните влажни условия, особено за дъждовни събития в период на повтаряемост от 10 години или по-малко.

2.5. Отточният коефициент е един и същ за всички валежи и периоди на повтаряемост.

Тълкуване.

По правило отточният коефициент е функция на земното покритие. В някои източници, той варира в зависимост от наклона, вида на почвата и периодите на повтаряемост използвани за оразмерителните водни количества, инфилтрация и други хидроложки фактори.

Всъщност, той представлява един обемен коефициент, който дава връзката между максималното дъждовно водно количество паднало на земната повърхностност (брутно водно количество) и това, което се е оттекло по протежение на земната повърхност(нетно водно количество).

В настоящият случай, приемайки че рационалният метод определя максималното водно количество за дадена точка на водосборната област въз основа на една и съща интензивност на оразмерителния дъжд за целия водосбор и водосборната област само по себе си, можем лесно да заявим че те представляват едни постоянни величини.

Следователно, отточният коефициент също ще представлява една постоянна (една и съща) величина за дадената интензивност и площ.

3. ОСОБЕНОСТИ.

3.1. Водното количество, което протича в дадена точка на водосборната област (дъждовната канализационна мрежа) не се получава като сума от отделните водните количества на всички подобласти или повърхностни водоприемници. Общо казано, това количество е по-малко от тази сумата.

Тълкуване.

Изхождайки от това, че във емпиричната формула за определяне на максималното водно количество на дадена водосборна или прилежащи към нея области, параметъра времеоттичане определя времетраенето на оразмерителния дъжд, можем лесно да направим следния извод: с увеличаване на дължината на оттичане по протежение на водосборната област и съответно през канализационната мрежа се увеличава времетраенето на оразмерителния дъжд, а оттам намалява неговата оразмерителната интензивност.

Следователно, общата сума на оразмерителните водните количества от всички отделни повърхностни водоприемници или подобласти в разглеждана водосборна област ще бъде различна от общата сума на оразмерителните водните количества по протежение (по дължина) за разглеждана точка от тази област.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

3.2. Оразмерителните дъждовни водни количества силно се влияят от времеоттичането, което се определя като необходимия период или време за транспортиране на водата от хидравлическо най-отдалечената точка до разглежданата такава на водосборната област.

Тълкуване.

Дължината на потока (участъка) имащ най-дългото времеоттичане до разглежданата (оразмерителна) точка от канализационната мрежа ще отредели стойността за времетраенето на интензивния оразмерите лен дъжд.

Обикновено, това времеоттичането включва 2 различни времеоттичания – от повърхностна концентрация около водоприемника и това от участъците при оразмеряване на канализационната мрежа:

- Времеоттичането до първия водоприемник е времето, което е необходимо на водата да се транспортира от хидравлическо най-отдалечената точка на дадения повърхност до него самия. Или това е сумата от времената, които са необходими на водата да се транспортира по вертикалната планировка и между самите водоприемници. Ако общата сума на времеоттичане до най-горния водоприемник е по-малка от 5 минути, се използва минимално времеоттичане от 5 минути. Времеоттичанията на отделните водоприемници се определят независимо един от друг по начина, който беше по-горе.
- Времеоттичането по участъците от канализационната мрежа се определя като времето, което е необходимо на водата да се транспортира от хидравлическо най-отдалечената точка в разглеждания общ водосбор до оразмерителната (разглежданата) точка.

4. УРАВНЕНИЕ.

Уравнението, което описва „Рационалния метод“ определя максималното оразмерително дъждовно водно количество във всяка точка на водосборната област като функция от нейната водосборната площ, отточният коефициент и средната интензивност на оразмерителния дъжд с времетраене, равно на времеоттичането до тази точка (времето необходимо за оттичане от най-отдалечената до разглеждана точка). То е изразено в „НАРЕДБА № РД-02-20-8 от 17 май 2013 г. за проектиране, изграждане и експлоатация на канализационни системи“ по следния начин:

$$Qд = q_t * \psi_{ср} * F, \quad (1)$$

където:

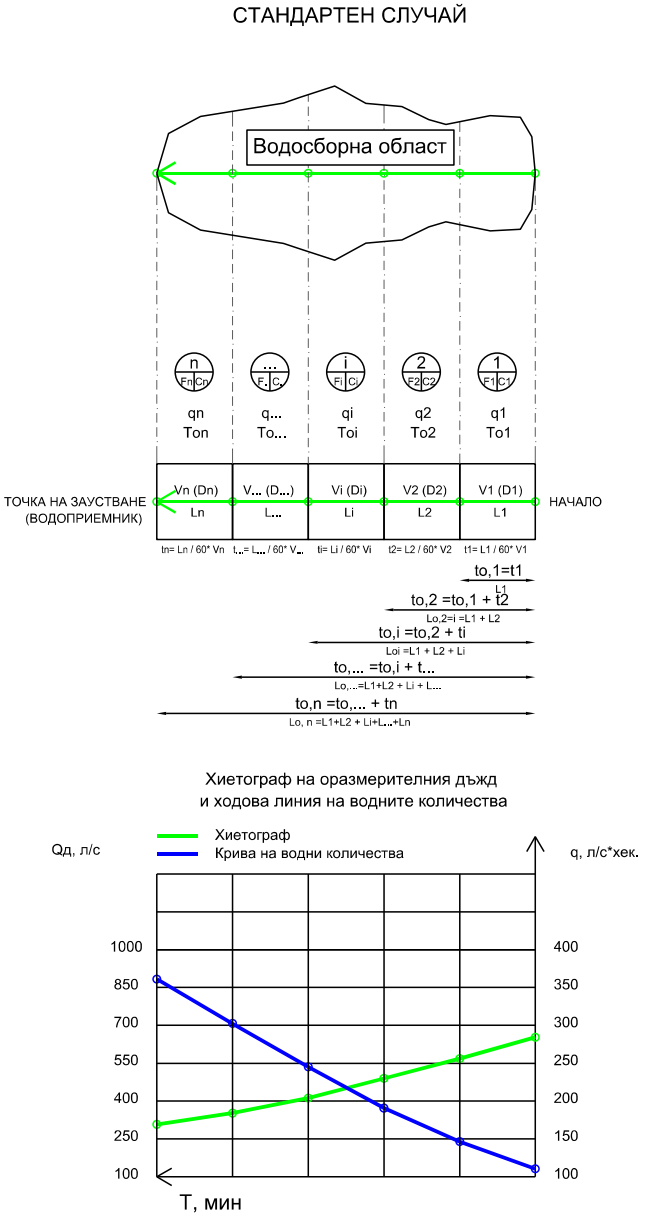
q_t *е интензивността на оразмерителния дъжд, l/s.ha;*

$\psi_{ср}$ *– средният отточен коефициент за канализираната територия;*

F – площта на канализираната територия, ha.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

СХЕМА № 1: Случай на водосборна област с един и същ отточен коефициент



5. ИЗКЛЮЧЕНИЯ.

По дефиниция в рационалния метод времетраенето на оразмерителния дъжд за дадена точка от водосборната област е времето, за което се водата се оттича от хидравлическо най-отдалечената точка до разглежданата точка.

Както знаем добре, за всяко правило съществуват дадени изключения. Например, при относително малка и водонепропусклива площ, намираща се в границите на по-голяма водосборна площ (повърхност) е възможно да генерира по-голямо водно количество от това, което се генерира от общата площ.

Тази аномалия може да се случи, когато водосборната област е висока стойност на отточния коефициент ($\psi_{ср}$) и висока стойност на интензивността на дъжда, вследствие на кратко времеоттичане. Разглеждат се 2 сценария:

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

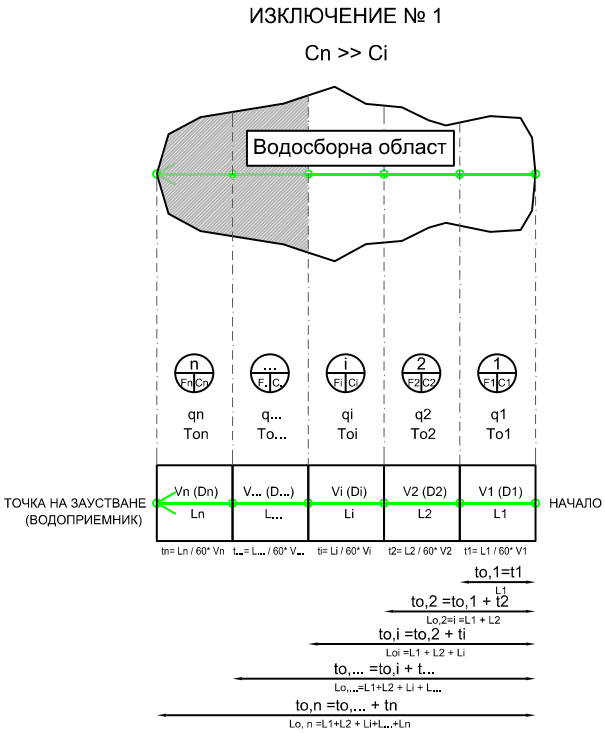
5.1. Сценарий № 1: Участък от канализационната мрежа е с голяма водонепропускливост (висок отточен коефициент) и се намира в най-долната водосборна област (повърхност) и оттокът от общата горна водосборна площ протича през по-малко водонепросклива повърхност (нисък отточен коефициент).

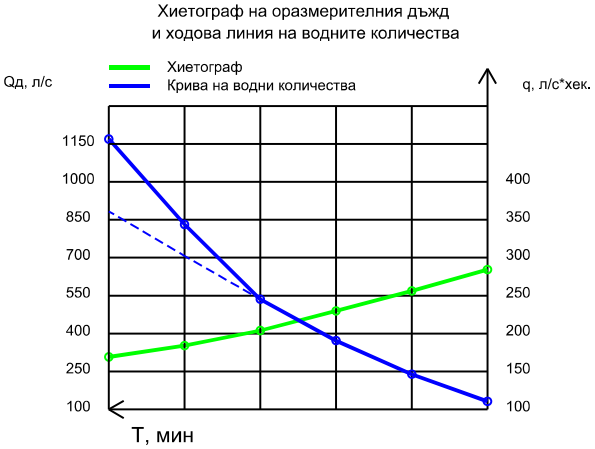
В този случай се извършват следните 2 изчисления:

- Изчислява се отточното водно количество от общата отводнявана площ, тежестта на нейния среден отточен коефициент (ψ_{cp}) и интензивността на дъжда за най-дългото времеотточане.
- Изчислява се отточното водно количество от по-малката по големина и по - малко водопропусклива площ. Типовата процедура е да се използва отточния коефициент за по-малката по големина и малко водопропусклива площ и интензивността на дъжда, свързана с по-кратко времеотточане.

ВАЖНО ! Резултатите се сравняват, след което се избира най-голямата стойност на водното количество като оразмерителна.

СХЕМА № 2: Случай на водосборна област с различен отточен коефициент в долната част.





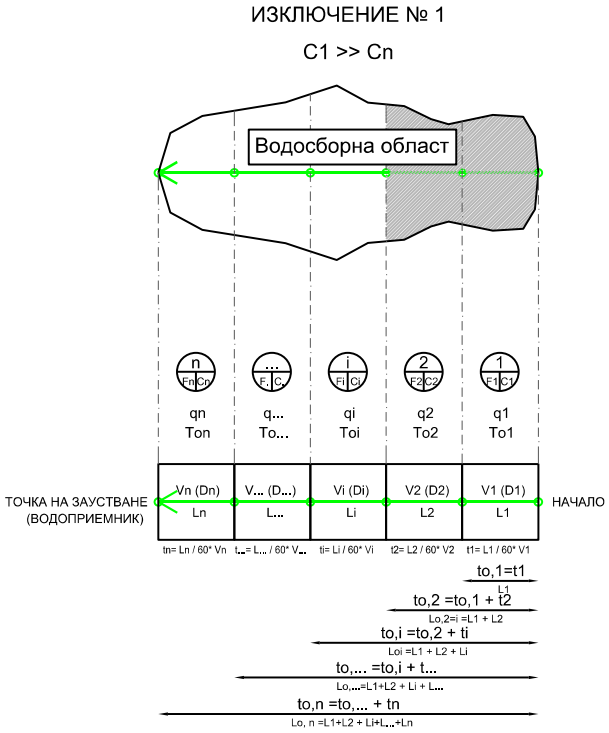
5.2. Сценарий № 2: По-малка по големина и водонепропусклива (висок отточен коефициент) водосборна площ е второстепенна (приточна) спрямо по-голяма основна водосборна площ.

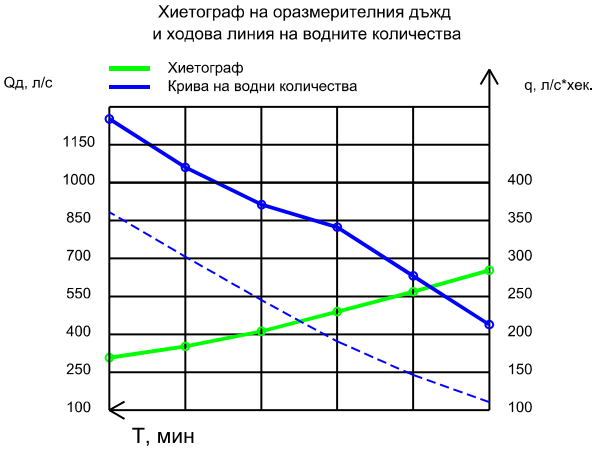
В този случай се извършват следните 2 изчисления:

- Изчислява се отточно водно количество от общата отводнителна площ, тежестта на нейния среден отточен коефициент (ψ_{cp}) и интензивността на дъжда с по - дълго времеоттичане.
- Изчислява се отточно водно количество, за да се отчете какво е отношението между по-голямата основна водосборна площ спрямо второстепенната, по-малко проницаема второстепенна площ.

В оттокът от малката водосборна площ участва и известна част на оттока от по-голямата основна площ. При това изчисление се използва интензивността на дъжда за времеоттичането от по-малко водопропусклива водосборна площ.

СХЕМА № 3: Случай на водосборна област с различен отточен коефициент в горната част.





Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Резултатите от тези изчисления се сравняват, като за меродавна се избира най – голямата стойност на водното количество.

Отношението между по-голямата основна площ се дава посредством уравнението:

$$Fc = F\ (tc_1 / tc_2) \qquad (2)$$

Където:

Fc е най-долният участък на по-голямата основна площ, която ще участва в оттока за времеоттичане от по- малко водопропусклива площ;

F е площта на по-голямата основна водосборна площ;

tc_1 е времеоттичане от по-малката, по-малко водопропусклива и второстепенна площ;

tc_2 е времеоттичане свързано с по-голямата площ, използвано при първото изчисление.

Стойността на отточния коефициент (ψ_{cp}) трябва да бъде тази стойност, която се получава от обединението на по – малката, малко водопропусклива и приточна площ и площта *Fc*.

Площта използвана в „Рационалния метод“ трябва да бъде сумата от площта на по – малко водопропускливата площ и (Fc). Второто изчисление се отчита, когато по - малко водопропускливата площ е приточна спрямо площта с по – дългото времеоттичане и е в или в близост до долния край на общата водосборна площ.

6. ОСНОВНИ НЕДОСТАТЪЦИ

- Субективност при определяне на отточния коефициент (данните се приемат въз основа на ограничена информация в табличен вид);
- Във дадена водосборна област рядко се случва интензивността на падналия дъжд да бъде еднаква за цялата област;
- Дъждовете не са с еднаква интензивност;
- Периодът на повтаряемост на максималното водно количество рядко съвпада с този на оразмерителния дъжд:
- Времеоттичане (повърхностната концентрация) от водосборната област може да се окаже неизвестна или в най-добрия случай - променлива;
- Приложим е за малки водосборни области и
- Изчислява само максималният отток от дадена водосборна площ.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

ОСНОВНИ АРГУМЕНТИ ВЪВ ФУНКЦИЯТА НА МАКСИМАЛНОТО ДЪЖДОВНО КОЛИЧЕСТВО

1. ВРЕМЕОТТИЧАНЕ

Елементът времеоттичане е много важна част от процеса на проектиране на дъждовните канализационни мрежи и от хидроложкото проучване на дадена водосборна област.

Той представлява основен параметър в „Рационалният метод“, който определя времетраенето и оразмерителната интензивност на дъжда, а оттам и максималните дъждовни водни количества.

Определя се като необходимия период от време, за което дъждовната вода се оттича от най-отдалечената точка в хидравлично отношение на водосборната област до разглежданата точка и отчита 2 отделни времеоттичания: времената за оттичане от плоска водосборна повърхност под наклон и повърхностна концентрация до достигане на отделните водоприемници и от времето за оттичане по протежение на канализационната мрежа.

Ако това времеоттичане на дъждовните води от плоска повърхност и повърхностна концентрация до първия (горния) водоприемник е по – малко от 5 минути, то тогава се приема минимално времеоттичане от 5 минути. За всеки последващ водоприемник се определя самостоятелно времеоттичането по начина, използван за първия (горния) водоприемник.

Факторите, които оказват влияние върху него са дължината на оттока, наклона и грапавината (съпротивлението) му. За оттоци намиращи се в горната част на водосборната област, дъждовните характеристики и най-вече на интензивността на дъжда могат също биха повлияли върху скоростта им.

Налични са различни методи за определяне на общото времеоттичане, но по своето тълкуване и характеристики, те включват гореспоменатите елементи по един или друг начин, а именно: времеоттичане от плоска повърхност и повърхностна концентрация и времеоттичане от участъците на канализационната мрежа.

Ще разгледаме 2 основни метода – първият, съгласно нашите норми и втори начин, построен въз основа на класическата хидравлична формула на „Манинг“.

1.1. Метод № 1: Хидравлично изчисляване на общото времеоттичане за дадена водосборна област в България.

Съгласно „НАРЕДБА № РД-02-20-8 от 17 май 2013 г. за проектиране, изграждане и експлоатация на канализационни системи“ стойността на времеоттичането (t_0) на дъждовната вода от най-отдалечената точка на водосборната област до разглежданото сечение, се определя по формулата:

$$t_0 = 5 + a\sum t_k \qquad (3)$$

където:

- a е ретензионен коефициент, отразяващ задържащата способност на мрежата; a = 1,2 до 2, като за по-стръмни терени се препоръчва по-малката стойност;

- $\sum t_k$ сумата от изчислителните времеоттичания по участъците от канализационната мрежа по пътя на водата от най-отдалечената точка на съответната водосборна област до оразмеряваното сечение.

Тълкуване.

Събираемото „5“ представлява елемента времеоттичане от плоска повърхност и повърхностна концентрация, $\sum t_k$ са времеоттичания от участъците на канализационната мрежа, докато параметъра „а“ е влиянието на релефа.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

1.2. Метод № 2: Хидравлично изчисляване на общото времеоттичане за дадена водосборна област съгласно Манинг.

Методът се основа на т. нар. „скоростен подход“, при който общото времеоттичане на падналия дъжд от хидравлическо най-отдалечената точка на водосборната област до разглежданата точка се получава като сума от времената за оттичане от плоска повърхност, повърхностна концентрация и за участъците от канализационната мрежа. По този начин времеоттичането е функция на дължината и средната скорост на оттока:

$t_o = T_o + T_t + T_к = \Sigma\, Li / Vi$ *(4)*

където:

t_o *– сумарно времеоттичане, min;*

T_o *– времеоттичане от плоска повърхност с наклон, min;*

T_t *- времеоттичане при повърхностна концентрация, min;*

$T_к$ *- времеоттичане от канализационен участък i, min;*

L_i *- дължина на дадена повърхност или участък, m;*

V_i *- скорост на потока, m/s;*

За изчисляване на отделните времеоттичания се използва уравнението на Манинг за скоростта на потока в открити и закрити канали / тръби и негови производни:

$V = (1/n) * R2/3 * J1/2$ *(5)*

където:

n - коефициент на грапавина по Манинг‘

V- скорост на потока, m/s;

R - хидравличен радиус, m ;

J – наклон (градиент), m/m;

1.2.1. Времеоттичане от плоска повърхност с наклон.

Този вид водосборната област е плоска и оттокът протича с еднаква дълбочина (до 5 см) и среден наклон за цялата повърхност. Обикновено се случва в главни оттоци на относително къси разстояния до 130 м (90 м) и най-често по-малко от 25 метра. Този отток може да бъде описан с уравнението на кинематична вълна, производна на уравнението на Манинг при следните предпоставки: приема се, че хидравличният радиус в уравнение (5) е равен на произведението между интензивността на дъжда (q_t) и времеоттичането (T_o) или:

$R = q_t * T_o$ *(6)*

Замествайки (R) в уравнение (5) и решавайки го спрямо времеоттичането (To), ще получим следната производна на уравнение (5):

$T_o = 6.92 / q_t^{0.4} * [n * L / SQRT(J)]^{0.6}$ *(7)*

Където:

T_o *– Времеоттичане от дадена повърхност с наклон, min;*

n - Коефициент на грапавина (вижте Таблица № 1);

Li - Дължина на плоската повърхност, m;

q_t *- Интензивност на падналия дъжд, mm/час;*

J – среден наклон на повърхността, m/m.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Алгоритъм на решение.

Поради това, че интензивността на оразмерителния дъжд „qt“ зависи от времеотичането “T_o” (рационалният метод) и първоначално стойността на “T_o” бива неизвестна величина, тоест времеотичането се изчислява итеративно:

- Приема се стойност за “T_o”, която е сходна с времетраенето на дъжда, която се използва за определяне на интензивността на оразмерителния дъжд „qt“ на оразмерителния дъжд за избран период на повтаряемост „p“.
- Времеотичане “T_o” се изчислява от уравнение (7).
- Сравняват се изчислената и приетата стойности за “T_o”.
- Ако стойностите се различават, повторно се изчислява“T_o”, докато приетата стойност и изчислената такава станат сходни (еднакви).

Таблица № 1: Коефициенти на грапавина (n) по Маниниг за оттичане от плоска повърхност (повърхностно оттичане)

Описание на повърхността	*Материал*	*n*
Гладък асфалт		*0.011*
Гладък бетон		*0.012*
Обикновенна бетонна облицовка		*0.013*
Дърво		*0.014*
Тухла с циментова замаска		*0.014*
Стъкло-керамика		*0.015*
Чугун		*0.015*
Гофрирана метална тръба		*0.024*
Циментова замазка с чакъл		*0.024*
Некултивирана почва		*0.05*
Култивирани почви		
Култивирани почви с остатъчно покритие # 20%		*0.06*
Култивирани почви с остатъчно покритие > 20%		*0.17*
Култивирани почви естествени		*0.13*
Трева		
Къса трева		*0.15*
Гъсти треви		*0.24*
Бермудска трева		*0.41*
*Гори **		
Гори с разредени храсти		*0.40*
Гори с гъсти храсталаци		*0.80*

**При избора на коефициента „n“, моля отчитайте покритие с височина от около 30 мм. То е част от растителното покритие, което ще затрудни оттичането.*

Източник на информация: McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

1.2.2. Времеоттичане на повърхностно концентрирани потоци

При разстояния над 130 м (90 м) дъждовният отток от плоска повърхност има свойството да се концентрира на малки оттоци (във вид на улеи, малки ручей, канали или дерета), след което започва неговото нарастване на части пред входа на водоприемниците. Обикновено, дълбочината му варира от 3 до 15 см. Такъв отток се дефинира като повърхностно концентриран поток.

Скоростта му може да бъде установена посредством връзката между скоростта и наклона, след като опростим уравнението на Манинг в следния вид:

$$V_t = k * J^{0.5} \quad (8)$$

Където:

V_t е скоростта на потока при повърхностна концентрация, m/s ;

k е коефициент на прихващане (Таблица № 2);

J е наклон, %;

Времеоттичането от повърхностно концентрирани потоци може да бъде изчислено отново чрез „пътната“ задача:

$$T_t = L_t / (60 * V_t) \quad (9)$$

Където:

T_t - Времеоттичане при повърхностна концентрация, мин;

L_t - Дължина на потока, m;

V_t - Средна скорост на потока, m/s.

Таблица № 2

Коефициенти на прихващане на скоростта спрямо наклона

Земно покритие (режим на оттичане)	*k*
Гора с тежка земна настилка, поляни (сухоземен поток)	*0.076*
Минимално култивирана почва, подстригана по контура или на лента, гориста местност (сухоземен поток)	*0.152*
Къса трева, пасища (сухоземен отток)	*0.213*
Култивирани лехи (сухоземен отток)	*0.274*
Почти гол и необработваем терен, алувиални терени	*0.305*
Затревени пътища (повърхностно концентриран отток)	*0.457*
Непавиран (повърхностно концентриран отток)	*0.491*
Паваж (повърхностно концентриран отток), малки планински дерета	*0.619*

Източник на информация: McCuen, R.H., Johnson, P.A., and Ragan, R.M., 2002. Highway Hydrology, Hydraulic Design Series No. 2, Second Edition, Publication No. FHWA-NHI-02-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

1.2.3. Средна скорост на потока в тръба / открит канал.

Средната скорост на потока в открити / закрити канали или кръгли тръби се изчислява съгласно уравнение (5). Знаем добре, че за кръгли тръби с пълно напречно сечение, хидравличният радиус е ¼ от техния диаметър. При широки канали (W > 10 d), хидравличният радиус е приблизително равен на дълбочината.

Следователно, времеоттичането по канализационните участъци може да бъде изчислено чрез:

$T_k = L_i / (60 * V_i)$ *(10)*

Където:

T_k *е времеоттичане за участък i, min;*

L_i *е дължина на участък i, m;*

V_i *е средна скорост в дадения участък i, m/s;*

Таблица № 3

Коефициенти на грапавина (n) по Маннинг за закрити канали

Материал	*Материал*	*n**
Азбесто-циментова тръба		*0.011 - 0.015*
Зидария		*0.013 - 0.017*
Чугунени тръби		*0.011 - 0.015*
Монолитен бетон		
Гладък бетон		*0.012 - 0.014*
Грапав бетон		*0.015 - 0.017*
Бетонова тръба		*0.011 - 0.015*
СМР		*0.011 - 0.037*
Пластмасова тръба (гладка)		*0.011 - 0.015*
Пластмасова тръба (гофрирана)		*0.018 - 0.025*
Гофрирана метална тръба (плоска)		*0.022 - 0.026*
Гофрирана метална тръба (паваж)		*0.018 - 0.022*
Гофрирана метална тръба (асфалт)		*0.011 - 0.015*
Стъклокерамични тръби		*0.011 - 0.015*
Стъклокерамично линейно		*0.013 - 0.017*

Източник на информация: ASCE (1982). Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY

Таблица № 4

Коефициенти на грапавина (n) по Маннинг за открити канали

Материал	*Материал*	*n**
Линейни канали (линейно отводняване)		
Асфалт		*0.013 - 0.017*
Зидария		*0.012 - 0.018*
Бетон		*0.011 - 0.020*
Чакъл или трошен камък		*0.020 - 0.035*
Растителност		*0.030 - 0.40*
Изгребни или изкопани		
Земя, права и еднаква		*0.020 - 0.030*
Земя, ветрилообразна и относително еднаква		*0.025 - 0.040*
Скала		*0.030 - 0.045*
Гола почва		*0.050 - 0.140*
Естествени канали (незначителни потоци, широчина в горния край при Q макс < 30 m)		
Сравнително правилно напречно сечение		*0.030 - 0.070*
Неправилно напречно сечение с басейни		*0.040 - 0.100*

Източник на информация: ASCE (1982). Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

2. ИНТЕНЗИВНОСТ НА ОРАЗМЕРИТЕЛНИЯ ДЪЖД

Интензивността на оразмерителния дъжд представлява средната интензивност на падналия дъжд в „л/с* хек“ (техническа интензивност) или в „mm/час“ (физическа интензивност) за определено времетраене и честота. Приема се, че времетраенето на дъжда е равно на времеоттичането.

Интензивността на оразмерителния дъжд (qt) в „l/s.ha“ за съответните зони в България се определя по следните формули:

а) за I зона:

$$q^{I}_{t,p} = [9,4771-3,1359\ lg\ (t+5)]3(1-lg.p)+[11,2883-3,5422\ lg\ (t+5)]3\ lg.\ p,\ l/s.ha; \quad (11)$$

б) за II зона:

$$q^{II}_{t,p} = [9,0899-3,0077\ lg\ .(t+5)]3\ (1-lg.p)+[10,8270-3,3974\ lg.(t+5)]3\ lg\ p,\ l/s.ha, \quad (12)$$

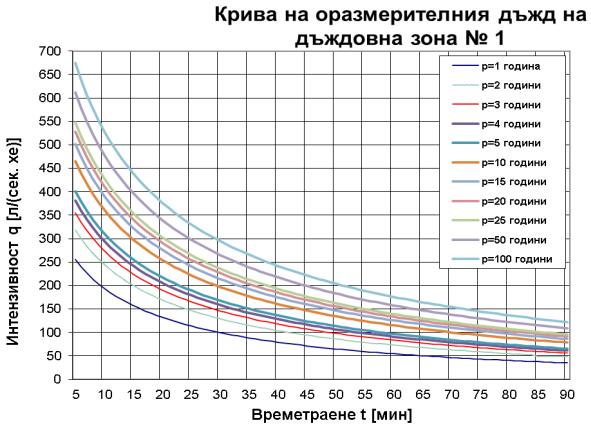
където:

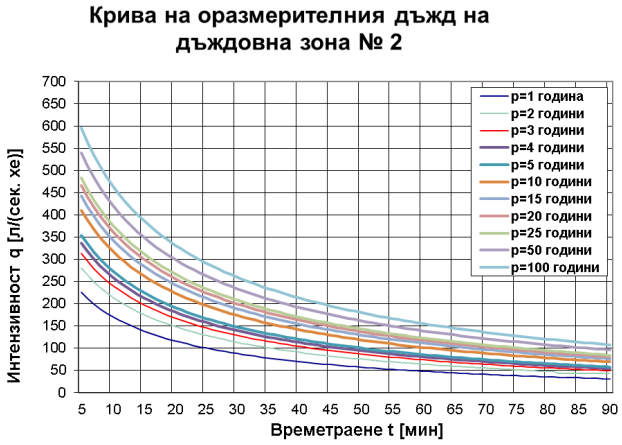
t е времетраенето на дъждовете, min;

p - периодът на повтаряемост на дъждовете в години, респективно периодът на еднократно препълване на канализационните мрежи.

Основната форма на хиетографите на оразмерителните дъждове за различни обезпеченост в България е показана на графиките по – долу:

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66





Тълкуване.

Когато времетраенето на падналия дъжд клони към нула, то тогава интензивността му клони към безкрайност. Поради това, че връзката между интензивността и времетраенето на дъжда се основата на приетото равенство между времетраене и времеоттичане на дъжда, то за малки водосборни площи с изключително малко времеоттичане би могло да се получат нереалистично високи оразмерителните интензивности. За да се минимизира тази възможност, е препоръчително употребата на минимално времеоттичане от 10 минути.

Когато времетраенето на падналия дъжд клони към безкрайност, то тогава дъждовната интензивност клони към нула. Обикновено, площ ограничена до 80 хектара би трябвало да ограничи ефекта от нереалистично ниски интензивности на дъжда. Например, ако получите времеоттичане с много висока стойност, при плоски водосборни площи, е необходимо да се отчита горния времеви праг или да се използва различен хидроложки метод.

3. ОТТОЧЕН КОЕФИЦИЕНТ

3.1. Определяне на средния отточен коефициент

Определянето на средния отточен коефициент ($\psi_{ср}$) на даден водосбор е субективна задача и изисква разбиране от страна на Проектанта .

Например, типичният отточен коефициент представлява една емпирична константа отчитаща интегрираните влияния на множество параметри на водосборната област. Избраната (приетата) стойност трябва да бъде подходяща за дъждовната интензивност, релеф, почвените характеристики (вид, съдържание на влага), растителност и степента на използваемост (антропогенна дейност).

В общият случай, средният отточен коефициент на дадена водосборна област състояща се различен на брой подводосборни области, се получава като се изчислят средната тежест на отделните отточни коефициенти за отделните области, които я образуват.

$$\psi_{ср} = (\psi_1 * F_1 + \psi_2 * F_2 + \psi_3 * F_3 \ldots) * F \qquad (13)$$

където:

$\psi_{ср}$ *– средният отточен коефициент на водосборна област;*

$\psi_{1, 2, 3, \ldots}$ *– средният отточен коефициент на отделните подводосборни области;*

$F_{1, 2, 3, \ldots}$ *– обща площ на отделните водосборни области, hек.;*

F *– обща площ на водосборните области, hек.;*

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

3.2. Особености.

3.2.1. Емпиричните стойности на отточния коефициент се различават за интензивните дъждове с честа (веднъж на 5-год., веднъж на 10-год.) и рядка повтаряемост (веднъж на 50 год. или веднъж на 100 год.).

3.2.2. Параметърът „среден наклон на водосборна област“ – с увеличаване наклона на даден водосбор, би трябвало да нараства и стойността на отточния коефициент, поради увеличаване на средните скорости на оттичане от повърхността и каналите, като по този начин се намалява възможността за инфилтрация на дъждовния отток в земната повърхност. Следователно, дъждовния отток от разглежданата водосборна област ще нарасне, а с това и нейния отточен коефициент.

Интересен и алтернативен подход за определянето на средния отточен коефициент на дадена водосборна зона е използването на почвените характеристики и антропогенна дейност във водосборната зона (нейната водопропускливост и водонепропускливост) вместо класическите емпирични стойности, взети от нормативните документи.

Въз основа на тези стойности, по начина за определяне тежестите им спрямо дадена водосборна или подводосборни области, може да бъде получен средния процент на водонепропускливост. Този процент е сходен с коефициента на оттичане.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

ПРИМЕРНО ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ВРЕМЕОТТИЧАНЕ

ПРИМЕР № 1: Дадено е идеализирано и канализирано (урбанизирано) населено място състоящо се от 10 водосборни зони с прилежащи канализационни участъци и дължина до 100 м. Отделните водосбори имат сходни покрития, наклон и характеристики.

ЗАДАЧА:Задачата е да се определят общото времеоттичане за отделните участъци и максималното дъждовно водно количество. Допълнително, ще се построим хидрографа на високата вълна за 2 години в точката на заустване.

В първия случай ще определим времеоттичането съгласно наредбата за канализационни системи, докато във втория - времеоттичането съгласно метода на кинематичната вълна.

Резултатите ще бъдат представени в табличен и графичен вид.

Входни данни за 2-та варианта:

Среден наклон на терен	J=0.01	m/m
Ретензионен коефициент	a=1.6	
Времетраене на дъжда	$t_{пк}$=5	min.
Дъждовна зона	I	
Повтаряемост на дъжда	p=2	година
Ср. скорост по Манинг	V =(1/n) * $R^{2/3}$ * $S^{1/2}$	M/s
Коеф. на грапавина	n=0.015	
Дълж. на водосборите	L=100	m

Метод № 1: Хидравлично изчисляване на общото времеоттичане на водосбор и максималните дъждовни водни количества съгласно НАРЕДБА № РД-02-20-8 от 17 май 2013.

Използва се методиката, заложена в „НАРЕДБА № РД-02-20-8 от 17 май 2013 г. за проектиране, изграждане и експлоатация на канализационни системи“, Приложение № 2 към чл. 6, ал. 2, чл. 18 и чл. 156, т. 3.

За да бъде улеснен целия процес на изчисляване, ще бъде визуализирана таблица със следните основни групи:

Местоположение и водосборни области – включва номерация на разглежданите точки и размерни характеристики като дължина и площ на водосборна област, включително суми на отделните водосбори.

Времеоттичане - изчисляват се отделните оттичания по канализационната мрежа от най-отдалечената точка на разглеждания водосбор до разглежданата такава съгласно уравнение (3), приемат се стойностите за ретензионния коефициент. Получените времеоттичане за разглежданите участъци ще определят времетраенето на оразмерителния дъжд.

Дъждовно водно количество – приравнява се времетраенето на дъжда за отделните участъци към времеоттичането им и се изчисляват интензивността на оразмерителния дъжд съгласно формули (11) или (12), средния отточен коефициент за целия водосбор и оразмерително дъждовно водно количество съгласно уравнение (1).

Резултатите продължават на следващата страница.

Таблица № 5: Резултати съгласно метод 1

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ		ВОДОСБОРНИ ПЛОЩИ				ВРЕМЕОТТИЧАНИЯ								ДЪЖДОВНО ВОДНО КОЛИЧЕСТВО				
Пореден № на вод. площ	Дължина на клон Li м	Водосб. площ участък Fуч. хек	Предходна водосб. площ Fпр. хек	Обща водосб. площ участък F хек	Ср. наклон терен J м/м	Приет диаметър DN/ID мм	Хидрав. радиус R м	Наклон тръба S м/м	Ср. скорост на потока Vi м/с	Време за пов. конц-я tпк мин	Ретенз. коеф. a 0	Изч. времеотт. tk мин	Времеотт. участък to мин	Времетраене на дъжда t мин	Интенз. на дъжд i л/с/хек	Среден от. коеф.	Ораз. дъжд. в-но к-во Qi л/с	Оразм. дъжд. в-но к-во $Qi_{,2-год}$ л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	100	1.000	0.000	1.000	0.01	400	0.100	0.01	1.44	5	1.6	1.16	6.9	6.9	285.6	0.40	114.2	114.2
2	100	1.000	1.000	2.000	0.01	400	0.100	0.01	1.44	5	1.6	1.16	8.7	8.7	259.6	0.40	103.8	218,1
3	100	1.000	1.000	3.000	0.01	400	0.100	0.01	1.44	5	1.6	1.16	10.6	10.6	238.2	0.40	95.3	313,3
4	100	1.000	1.000	4.000	0.01	500	0.125	0.01	1.67	5	1.6	1.00	12.2	12.2	222.6	0.40	89.0	402,4
5	100	1.000	1.000	5.000	0.01	500	0.125	0.01	1.67	5	1.6	1.00	13.8	13.8	209.0	0.40	83.6	486,0
6	100	1.000	1.000	6.000	0.01	600	0.150	0.01	1.88	5	1.6	0.89	15.2	15.2	198.3	0.40	79.3	565,3
7	100	1.000	1.000	7.000	0.01	600	0.150	0.01	1.88	5	1.6	0.89	16.6	16.6	188.6	0.40	75.4	640,7
8	100	1.000	1.000	8.000	0.01	800	0.200	0.01	2.28	5	1.6	0.73	17.8	17.8	181.3	0.40	72.5	713,3
9	100	1.000	1.000	9.000	0.01	800	0.200	0.01	2.28	5	1.6	0.73	18.9	18.9	174.6	0.40	69.8	783,1
10	100	1.000	1.000	10.000	0.01	1000	0.250	0.01	2.65	5	1.6	0.63	20.0	20.0	169.2	0.40	67.7	850,8
Сума L	1000															Сума Qi	850.8	
										Сума tk, мин		9.3		Средно i, л/с/хек	212.7			
										Проверка за to, мин		20.0		Изчислено I, л/с/хек	212.7	чрез Q и F		

Резултати: to = 20 минути

Забележки:

Колона № 1: Пореден номер на водосборна област;

Колона № 2: Дължина на водосборна област до разглежданата точка;

Колона № 3: Площ на разглежданата водосборна област;

Колона № 4: Площ на приточна (по – горна) водосборна област до разглежданата точка;

Колона № 5: Обща водосборна площ до разглежданата точка

Колона № 6: Среден наклон на водосборна площ до разглежданата точка;

Колона № 7: Приет вътрешен диаметър на тръбата;

Колона № 8: Хидравличен радиус R = ID/4;

Колона № 9: Наклон на тръба;

Колона № 10: Средна скорост на потока в тръбата $V= (1/n) * R^{2/3} * S^{1/2}$;

Колона № 11: Време за повърхностна концентрация съгласно норми;

Колона № 12: Ретензионен коефициент, приет;

Колона № 13: Времеоттичане в канализационния клон за разглежданата площ, $t_к = L / V * 60$

Колона № 14: Времеоттичане до разглежданата точка

$t_o = t_{пк} + сума (a * t_k)$

Колона № 15: Времетраене на дъжда, $t = t_o$

Колона № 16: Интензивност на оразмерителния дъжд

съгласно емпирични формули I = f (зона в България, t , p)

Колона № 17: Средния отточен коефициент за целия басейн;

Колона № 18: Оразмерително дъждовно водно количество на разглежданата водосборна област, $Qд = q_t * ψ_{ср} * F$

Колона № 19: Сумарно оразмерително дъждовно водно количество до разглежданата точка, сума на приточни водни к-ва ($Qд = q_t * ψ_{ср} * F$)

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Изводи:

Еднакви стойности на отточни коефициенти за отделните водосбори, правят средната интензивност на дъжда за тези площи определяща максималното водно количество.

Еднакви пред-лежащи и след-лежащи водосборни площи, правят средната интензивност на дъжда за тези площи определяща максималното водно количество.

Скоростта на потока е определяща за времеоттичането: по-ниска скорост, по-голямо времеоттичане, по-ниска интензивност.

По-големи водосборни площи в горната част на разглеждания басейн генерират по-голямо водно количество за целия басейн (по-висока средна интензивност на дъжда за целия басейн)!

По-малки водосборни площи в долната част на разглеждания басейн генерират по-малко водно количество за целия басейн (по-ниска средна интензивност на дъжда за целия басейн)!

По-големи водосборни площи с по-висок отточен коефициент в горната част на разглеждания басейн генерират по-ниска средна интензивност на дъжда за целия басейн!

По-големи водосборни площи с по-нисък отточен коефициент в горната част на разглеждания басейн генерират много по-висока средна интензивност на дъжда за целия басейн!

По-големи водосборни площи с по-висок отточен коефициент в долната част на разглеждания басейн генерират по-висока средна интензивност на дъжда за целия басейн!

По-големи водосборни площи с по-нисък отточен коефициент в долната част на разглеждания басейн генерират много по-ниска средна интензивност на дъжда за целия басейн!

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Метод № 2: Хидравлично изчисляване на общото времеоттичане за дадения водосбор съгласно скоростта на кинематична вълна и максималните дъждовни водни количества

Използва се „скоростния метод“ за определяне на отделните времеоттичания: от плоска повърхност; повърхностна концентрация и по канализационната мрежа от хидравлическо най-отдалечената точка до разглежданата такава.

Отново процесът се визуализира посредством таблица, която включва същите групи.

Местоположение и водосборни области – включва номерация на разглежданите точки и размерни характеристики като дължина и площ на водосборна област, включително суми на отделните водосборни области.

Времеоттичане - изчисляват се за всеки участък както следва:

- Времеоттичане от плоска повърхност- изчислява се итеративно съгласно уравнение (7). Приема се дължина на повърхността до 25 метра.
- Повърхностна концентрация – изчисляват се средната скорост и оттичане съответно съгласно уравнения (8) и (9). Приема се дължина на повърхността до 75 метра.
- Времеоттичане по канализационна мрежа – изчислява се средната скорост на протичане в участъка съгласно уравнение (5) и оттам оттичането чрез уравнение (10).

Сумират се различните видове времеоттичания от предходни участъци до разглежданата точка (участък). Получените суми за разглежданите участъци ще определят времетраенето на оразмерителния дъжд.

Дъждовно водно количество – приравнява се времетраенето на дъжда за отделните участъци към времеоттичането им и се изчисляват интензивността на оразмерителния дъжд съгласно формули (11) или (12), средния отточен коефициент за целия водосбор и оразмерително дъждовно водно количество съгласно уравнение (1).

Продължава на следващата страница.

Таблица № 6: Резултати съгласно метод 2

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ	ВОДОСБОРНИ ПЛОЩИ				ВРЕМЕОТТИЧАНИЯ															ДЪЖДОВНО ВОДНО КОЛИЧЕСТВО				
					Плоска повърхност с наклон					Време за повърхността на концентрация					Отичане в канализираните участъци					Общо					
Пореден № на вод. площ	Дължина на клон L м	Водосб. площ участък Fуч. хек	Предходна водосб. площ Fпр. хек	Обща водосб. площ участък F хек	Ср. наклон терен J м/м	Дължина Lo м	Вид покритие	Коеф. на грапавина n	Изчис. време Tti мин	Дължина Lt м	Вид покритие	Коеф. на прихващане к	Ср. скорост на потока Vt	Изчис. време tпк мин	Приет диаметър DN/ID	Хидрав. радиус R	Наклон тръба S	Ср. скорост на потока V	Изч. времеотт. tk мин	Времеотт. участък to мин	Времетр. на дъжда t мин	Интенз. на дъжд i л/с/хек	Среден от. коеф. 0	Ораз. дъжд. в-но к-во Qi л/с	Оразм. дъжд. в-но к-во Qi,2-год л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	100	1.000	0.000	1.000	0.01	25	Обикновенна бетонна облицовка	0.013	1.4	75	Плавак (повърхностно концентриран отток), малки планински дерета	0.619	0.62	2.02	400	0.100	0.01	1.44	1.16	4.62	5	318.1	0.40	127.3	127.3
2	100	1.000	1.000	2.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	400	0.100	0.01	1.44	1.16	5.78	5.8	303.5	0.40	121.4	248.7
3	100	1.000	1.000	3.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	400	0.100	0.01	1.44	1.16	6.94	6.9	284.3	0.40	113.7	362.4
4	100	1.000	1.000	4.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	500	0.125	0.01	1.67	1.00	7.94	7.9	269.8	0.40	107.9	470.3
5	100	1.000	1.000	5.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	500	0.125	0.01	1.67	1.00	8.94	8.9	256.8	0.40	102.7	573.0
6	100	1.000	1.000	6.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	600	0.150	0.01	1.88	0.89	9.82	9.8	246.4	0.40	98.5	671.6
7	100	1.000	1.000	7.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	600	0.150	0.01	1.88	0.89	10.71	10.7	236.8	0.40	94.7	766.3
8	100	1.000	1.000	8.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	800	0.200	0.01	2.28	0.73	11.44	11.4	229.5	0.40	91.8	858.1
9	100	1.000	1.000	9.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	800	0.200	0.01	2.28	0.73	12.17	12.2	222.6	0.40	89.0	947.1
10	100	1.000	1.000	10.000	0.01	25		0.013	1.4	75		0.619	0.62	2.02	1000	0.250	0.01	2.65	0.63	12.80	12.8	217.0	0.40	86.8	1 033.9
Сума L	1000																						Сума Qi	1 033.9	
																					Средно i, л/с/хек	258.5	0.40		
																					Изчислено I, л/с/хек	258.5	чрез Q и F		

Резултати: to = 12,8 минути

Забележки:

Колони №№ 1 до 6: Както предходния пример;

Определяне на времеотттичания

Колона № 7: Дължина на плоска повърхност

Колона № 8: Вид покритие от таблица

Колона № 9: Коефициент на грапавина съгласно Маниng;

Колона № 10: Изчислително време T_{ti} на плоска повърхност;

Колона № 11: Дължина на плоска повърхност

Колона № 12: Вид на покритие от таблица

Колона № 13: Коефициент на прихващане k от таблица

Колона № 14: Средна скорост на потока $V_t = k * J^{0.5}$

Колона № 15: Изчислително време $t_{пк}$ за повърхностна концентрация

Колона №№ 16 до 19: Както предходния пример

Колона № 20: Изчислително времеоттичане за разглежданата водосборна площ $t_к = L / V * 60$

Колона № 21: Времеоттичане до разглежданата точка

$t_o = T_{ti} + t_{пк} + t_к$

Колона № 22: Времетраене на дъжда, $t = t_o$

Колона № 23: Интензивност на оразмерителния дъжд

съгласно емпирични формули I = f (зона в България, t , p)

Колона № 24: Средния отточен коефициент за целия басейн;

Колона № 25: Оразмерително дъждовно водно количество на разглежданата водосборна област, $Qд = q_t * ψ_{ср} * F$

Колона № 26: Сумарно оразмерително дъждовно водно количество до разглежданата точка, сума на приточни водни количества

($Qд = q_t * ψ_{ср} * F$)

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

ОРАЗМЕРИТЕЛЕН ХИДРОГРАФ. ПОСТРОЯВАНЕ НА БЕЗДИМЕНСИОНЕН ЕДИНИЧЕН ХИДРОГРАФ.

4. ПОСТРОЯВАНЕ НА БЕЗДИМЕНСИОНЕН ЕДИНИЧЕН ХИДРОГРАФ

4.1. Какво е хидрограф?

Хидрографът представлява потока на повърхностния отток във времето. Този отток може да бъде представен като водно количество или воден стоеж. Този повърхностен отток зависи от следните показатели:

- пространствено и времевото разпределение на валежите;
- водно количество от снеготопене;
- хидравлика на потока;
- водосборна област и задържателна способност на каналите;
- инженерно-геоложки и почвени характеристики;
- повърхността на водосборната област и нейните покрития.

4.2. Определение за единичен хидрограф.

Единичният хидрограф е хидрограф за определен период от време на валежи с превишение и равномерно разпределение и чийто обем на оттока е равен на 1 мм воден стоеж за цялата водосборна област. Той се основава на принципа за пропорционалност, при който обема оттока варира от височината на оттичане.

При този вид за дадена водосборна област всички хидрографи в резултат от паднали дъждове за същия период на превишение (единично времетраене) имат еднаква времева основа.

Ординатите на всеки хидрограф са пропорционални на обема на отток, ако времето и разпределението на валежите са сходни.

4.3. Какво представлява бездименсионния единичен хидрограф?

Това е един криволинеен единичен хидрограф за единица време и единица отток, при който нарастващата и намаляващата части на хидрографа покриват съответно 37.5 % и 67,5 % от общия обем отток. Или можем да кажем, че това е един безразмерен единичен хидрограф, който може да бъде представен като еквивалентен триъгълен хидрограф имащ същите единици време и водно количество.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Въвеждат се следните означения:

T_c е времеоттичане или време на повърхностна концентрация, час.

T_b е общо време (от начало до края) на триъгълния хидрограф, час.

T_r е време на спад (от максималния отток до края) на триъгълния хидрограф, час.

T_p е време на растеж (от начало до максималния отток) на триъгълния хидрограф, час.

L е време на забавяне, час.

D е единично времетраене, час.

q_p е максимално водно количество за водосборната област, m^3/s.

q е максимално водно количество по всяко време, m^3/s.

Q_D е общия обем от директно оттичане, mm.

Q е обем вода от директно оттичане по всяко време, mm.

A е площта на водосборна област, km^2.

K_p е константа равна на 484.

α е константа на превръщане от „imperial“ към метрична, равна на 0.00043.

Времеви отношения в триъгълния хидрограф са следните:

$T_b = 2,67 * T_p$

$T_r = 1,67 * T_p$

$D = 0,133 * T_c$

или $T_p = 0,667 * T_c$

4.4. Определяне на максималния повърхностен отток за водосборна област

Уравнение на максималното водно количество за водосборната област се .

$$q_p = \alpha * K_p * A * Q_D / T_p \qquad (14)$$

4.5. Отношения между бездименсионния единичен хидрограф и крива на водните маси.

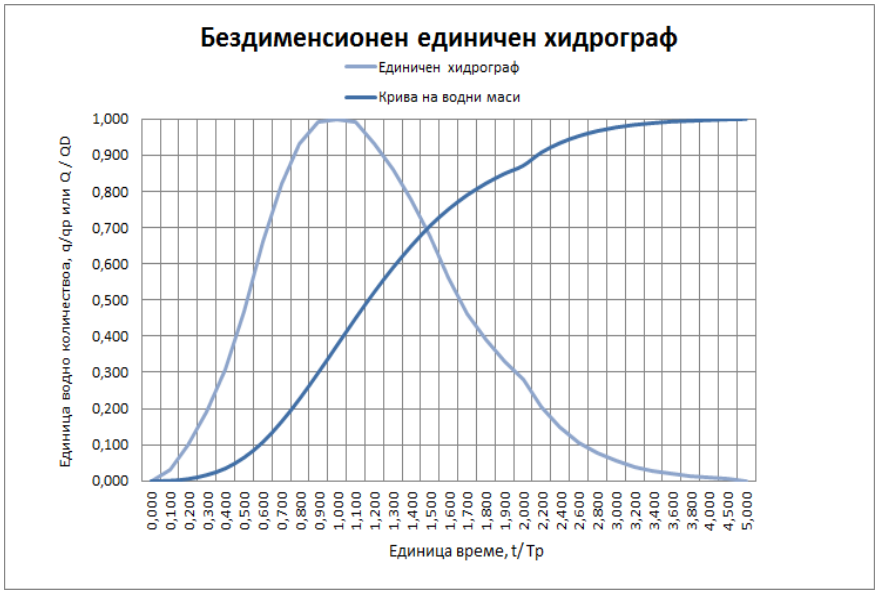
Отношенията в бездименсионния единичен хидрограф са разработени от „Victor Mockus“ през 1957 год.

Те се основат върху множество естествени единични хидрографи от различни водосборни области, които широко варират като по размер, така и в географско местоположение.

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Таблица № 7: Отношения в бездименсионния единичен хидрограф при показател на максимално водно количество 484

Времеви отношения (t/T_p)	Единични водни количества (q/q_p)	Крива на водни маси (Q_a/Q)
0,000	0,000	0,000
0,100	0,030	0,001
0,200	0,100	0,006
0,300	0,190	0,017
0,400	0,310	0,035
0,500	0,470	0,065
0,600	0,660	0,107
0,700	0,820	0,163
0,800	0,930	0,228
0,900	0,990	0,300
1,000	1,000	0,375
1,100	0,990	0,450
1,200	0,930	0,522
1,300	0,860	0,589
1,400	0,780	0,650
1,500	0,680	0,705
1,600	0,560	0,751
1,700	0,460	0,790
1,800	0,390	0,822
1,900	0,330	0,849
2,000	0,280	0,871
2,200	0,207	0,908
2,400	0,147	0,934
2,600	0,107	0,953
2,800	0,077	0,967
3,000	0,055	0,977
3,200	0,040	0,984
3,400	0,029	0,989
3,600	0,021	0,993
3,800	0,015	0,995
4,000	0,011	0,997
4,500	0,005	0,999



4.6. Пример № 2 за построяване на единичния хидрограф на оттичане от дадена водосборна област

Дадена е водосборната област от пример № 1 със следните характеристики и параметри:

C	=	0,4		
A	=	10	ha	
A	=	0,1	km^2	*1 ha * 0,01*
tc	=	0,333	h	
Tb	=	0,888	h	$T_b = 2,67 * T_p$
Tr	=	0,555	h	$T_r = 1,67 * T_p$
D	=	0,044	h	$D = 0,133 * T_c$
T_p	=	0,222	h	$T_p = 0,667 * T_c$
α	=	0,00043		
K_p	=	484		
Q_D	=	1	mm	

Решение:

Изчисляване на максималното водно количество за цялата водосборна област чрез формула (14)

q_p	=	0,09384	$m^3/s/mm$	$q_p = \alpha * K_p * A * Q_D / T_p$
T_p	=	0,222	h	

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Въз основа на отношенията дадени в таблица № 7 се построява нова таблица със следните стъпки:

Колона 1: от бездименсионния единичен хидрограф.

Колона 2: от бездименсионния единичен хидрограф.

Колона 3: Умножават се единичните времена с времето за постигане на максимално водно количество.

Колона 4: Умножават се единичните водни количества с изчисленото максимално водно количество.

Времеви отношения	Единични водни количества	Време	Водно количество
1	2	3 = 1 * Tp	4 = 2 * q_p
(t/T_p)	(q/q_p)	t, h	q, $m^3/s/mm$
0,000	0,000	0,000	0,000
0,100	0,030	0,022	0,003
0,200	0,100	0,044	0,009
0,300	0,190	0,067	0,018
0,400	0,310	0,089	0,029
0,500	0,470	0,111	0,044
0,600	0,660	0,133	0,062
0,700	0,820	0,155	0,077
0,800	0,930	0,177	0,087
0,900	0,990	0,200	0,093
1,000	1,000	0,222	0,094
1,100	0,990	0,244	0,093
1,200	0,930	0,266	0,087
1,300	0,860	0,288	0,081
1,400	0,780	0,311	0,073
1,500	0,680	0,333	0,064
1,600	0,560	0,355	0,053
1,700	0,460	0,377	0,043
1,800	0,390	0,399	0,037
1,900	0,330	0,421	0,031
2,000	0,280	0,444	0,026
2,200	0,207	0,488	0,019
2,400	0,147	0,532	0,014
2,600	0,107	0,577	0,010
2,800	0,077	0,621	0,007
3,000	0,055	0,665	0,005
3,200	0,040	0,710	0,004
3,400	0,029	0,754	0,003
3,600	0,021	0,798	0,002
3,800	0,015	0,843	0,001
4,000	0,011	0,887	0,001
4,500	0,005	0,998	0,000
5,000	0,000	1,109	0,000



5. ПОСТРОЯВАНЕ НА ЕДИНИЧЕН ТРИЪГЪЛЕН ХИДРОГРАФ НА МАКСИМАЛНО ВОДНО КОЛИЧЕСТВО И ВРЕМЕОТТИЧАНЕ ДО РАЗГЛЕЖДАНАТА ТОЧКА.

Основната идея е да бъдат комбинирани рационалния метод и единичния триъгълен хидрограф. За да стане това е необходимо да бъдат изпълнени следните стъпки:

5.1. Определяне на максималното водно количество за дадената водосборна област

Използва се познатата ни формула за определяне на максималното водно количество от рационалния метод съгласно уравнение (1).

5.2. Приема се, че формата на хидрографа е триъгълна и максималното водно количество настъпва за максимално времеоттичане.

Изчислява се времеоттичането до разглежданата точка на водосборната област съгласно нормите.

За да представим полученото водно количество като единица воден стоеж от 1 мм за цялата водосборна област, трябва да разделим максималното водно количество на интензивността на оразмерителния дъжд с времетраене до разглежданата точка.

Следователно, уравнение (1) вида на:

$$q_p = Qд \ / (q_t \ * \psi_{cp} * t_o) \qquad (15)$$

Забележки:

1. *Qд се представя в m^3/s, умножава се по „0,001“.*
2. *q_t се представя в mm/h, умножава се по „0,36“.*
3. *t_o е времеоттичане до разглежданата точка в h.*

5.3. Пример № 3 за построяване на триъгълен хидрограф на оттичане с време на пик съвпадащо с времеоттичането до разглежданата точка.

Приема се, че времеоттичането до разглежданата точка е равно на времето за достигане на максимално водно количество ($t_o = T_p$), след което се прилага сходната процедура като тази в пример № 2.

Характеристики на водосборна област:

C	=	0,4	
A	=	10	ha
A	=	0,1	km^2
to	=	20,0	min

Характеристики на дъжда:

t	=	0,333	h
i	=	212,7	l/s/ha
i	=	76,6	mm/h

Времеви отношения в хидрографа:

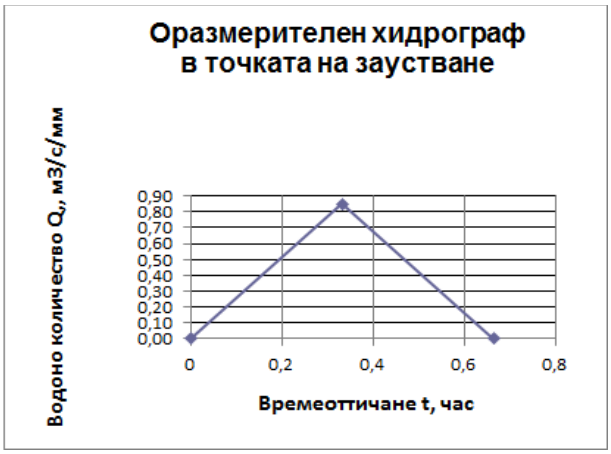
T_b	=	$2,0 * T_p$
T_r	=	T_p
D	=	$0,133 * t_o$
T_p	=	t_o

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Свойства на хидрографа:

T_p	=	0,333	h
T_r	=	0,333	h
T_b	=	0,665	h
Q	=	0,851	$m^3/s/m$
V	=	1 018,4	m^3

m



Решение:

Времетраене на дъжда	Оразм. дъжд. в-но к-во
t	2-год
h	$m^3/s/mm$
0,00	0
0,33	0,851
0,67	0

5.4. Пример № 4 за построяване на триъгълен хидрограф на оттичане с време на пик различно с времеоттичането до разглежданата точка.

Приема се, че времеоттичането до разглежданата точка е различно от времето за достигане на максимално водно количество ($T_p = 0,67 * t_o$).

Характеристики на водосборна област:

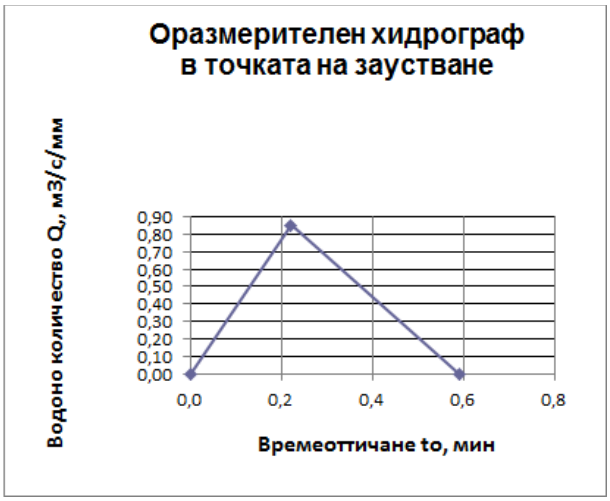
C	=	0,4	
A	=	10	ha
A	=	0,1	km^2
to	=	20,0	min

Характеристики на дъжда:

t	=	0,333	h
i	=	212,7	l/s/ha
i	=	76,6	mm/h

Времеви отношения в хидрографа:

T_b	=	$2,67 * T_p$
T_r	=	$1,67 * T_p$
D	=	$0,133 * t_o$
T_p	=	$0,667 * t_o$



Решение:

Времетраене на дъжда	Оразм. дъжд. в-но к-во
t	2-год
h	$m^3/s/mm$
0,0	0
0,22	0,851
0,59	0

5.5. Пример № 5 за построяване на единичен хидрограф на оттичане въз основа на бездименсионния единичен хидрограф.

Приема се, че времеоттичането до разглежданата точка е различно от времето за достигане на максимално водно количество ($T_p = 0,67 * t_o$), след което се прилага сходната процедура като тази в пример № 2.

C = 0,4
A = 10 ha

Решение:

Времеоттичане t_o = 20 минути – от пример № 1.

t_o = 0,333 h

Изчисляване на максималното водно количество съгласно „рационалния метод“ от пример № 1.

Qд = 850,8 l/s.

Q = 0,851 m^3/s

Изчисляване на максимално водно количество съгласно уравнение (15):

Средна интензивност на дъжда i = Q / (C*A)

i = 212,7 l/s/ha
i = 76,6 mm/h
K = 0,0982
q_p = 0,0835 $m^3/s/mm$

Времеви отношения в хидрографа:

T_b = 2,67 * T_p
T_r = 1,67 * T_p
D = 0,133 * t_o
T_p = 0,667 * t_o

Построяване на хидрографа съгласно следните стъпки:

Колона 1: от бездименсионния единичен хидрограф.

Колона 2: от бездименсионния единичен хидрограф.

Колона 3: Умножават се единичните времена с времето за постигане на максимално водно количество.

Колона 4: Умножават се единичните водни количества с изчисленото максимално водно количество.



Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Времеви отношения	Единични водни количества	Време на протичане, t	Водно количество, Q	Водни маси, V
1	2	3 = 1 * Tp	4 = 2 * q_p	5 = 3 * 4
(t/T_p)	(q/q_p)	t, h	$m^3/s/mm$	m^3
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,100	0,030	0,022	0,003	0,200
0,200	0,100	0,044	0,008	1,334
0,300	0,190	0,067	0,016	3,802
0,400	0,310	0,089	0,026	8,271
0,500	0,470	0,111	0,039	15,675
0,600	0,660	0,133	0,055	26,413
0,700	0,820	0,155	0,069	38,286
0,800	0,930	0,177	0,078	49,625
0,900	0,990	0,200	0,083	59,43
1,000	1,000	0,222	0,084	66,700
1,100	0,990	0,244	0,083	72,636
1,200	0,930	0,266	0,078	74,437
1,300	0,860	0,288	0,072	74,571
1,400	0,780	0,311	0,065	72,836
1,500	0,680	0,333	0,057	68,034
1,600	0,560	0,355	0,047	59,763
1,700	0,460	0,377	0,038	52,159
1,800	0,390	0,399	0,033	46,823
1,900	0,330	0,421	0,028	41,821
2,000	0,280	0,444	0,023	37,352
2,200	0,207	0,488	0,017	30,375
2,400	0,147	0,532	0,012	23,532
2,600	0,107	0,577	0,009	18,556
2,800	0,077	0,621	0,006	14,381
3,000	0,055	0,665	0,005	11,006
3,200	0,040	0,710	0,003	8,538
3,400	0,029	0,754	0,002	6,577
3,600	0,021	0,798	0,002	5,043
3,800	0,015	0,843	0,001	3,802
4,000	0,011	0,887	0,001	2,935
4,500	0,005	0,998	0,000	1,501
5,000	0,000	1,109	0,000	0

Геров инженери
гр. София, 1407
бул. Черни връх 66

Използвана информация от:

[1] „Хидравлика“, проф. Емил Маринов, 1994 год, Издателство на УАСГ.

[2] НАРЕДБА № РД-02-20-8 от 17 май 2013 г. за проектиране, изграждане и експлоатация на канализационни системи.

[3] Hydraulic Design Series No. 2, Second Edition, Highway Hydrology.

[4] URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL, Publication No. FHWA-NHI-10-009 September 2009.

[5] Resources Conservation Service Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Issued September 1997.

[6] Use of the Rational and Modified Rational Methods for TxDOT Hydraulic Design.

[7] WP4..2 Fllood Esttiimattiion iin Smallll and Urbaniised Cattchmentts.

[8] Итеративно определяне коефициента на съпротивление на триене по дължина за преходната зона на съпротивление, Марин Геров, 2013 год.