ХИДРАВЛИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА КАНАЛИЗАЦИОННИ РЕВИЗИОННИ ШАХТИ, ПРОИЗВЕДЕНИ В ЗАВОДСКИ УСЛОВИЯ

HYDRAULIC INVESTIGATIONS OF PREFABRICATED SEWERAGE MANHOLES

Димитър Аличков, доц. д-р инж. d.alitchkov@aquains.bg, Таня Игнева-Данова, гл.ас. д-р инж. igneva@mail.bg, Емил Цанов, гл.ас д-р инж., e.tzanov@mail.bg, Борислав Инджов, ас. инж. bindjov4525@abv.bg, УАСГ-катедра ВКПВ

Dimiter Alitchkov, Assoc.Prof. PhD. Civ.Eng. d.alitchkov@aquains.bg, Tanya Igneva-Danova, Senior Ass.Prof. PhD, Civ. Eng., igneva@mail.bg, Emil Tzanov, Senior Ass.Prof. PhD, Civ. Eng., e.tzanov@mail.bg, Borislav Indzhov, Assistant. Civ.Eng. bindjov4525@abv.bg, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy-Department of Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment

РЕЗЮМЕ

Развитието на технологиите за строителство на ВиК инфраструктура е свързано все повече с използване на произведени в заводски условия готови елементи, възли и дори цели съоръжения. През последните години при строителството на канализационни мрежи се наблюдава засилено използване на фабрични ревизионни шахти. Производителите предлагат различни изделия, които имат своите специфични особености. Формата на кюнетите е от особена важност за правилната работа на изградените канализационни мрежи. Това налага тяхното оформяне да се определя още във фазата на проектиране и хидравлично оразмеряване. Предмет на настоящия доклад са резултатите, получени от хидравлични изследвания на стандартни фабрично произведени канализационни ревизионни шахти. Получените резултати показват, необходимостта от отчитане на коефициентите на местни съпротивления на различните видове типови шахти при проектиране на канализационните мрежи.

Ключови думи: канализационна мрежа, заводски ревизионни шахти, проектиране на кюнети

SUMMERY

The development of the technologies for water supply and sewerage infrastructure construction is connected with implementation of prefabricated elements, structures and even of whole installations. It is observed, during the construction of sewerage networks in the last years, increased use of prefabricated manholes. The producers offer different products, each having specific features. The channel shape is of great importance for the proper performance of the constructed sewerage networks. This requires that their shape is determined during the phase of design and hydraulic sizing of the networks. The subject of the present report is the results, achieved from the hydraulic investigation of prefabricated standard sewerage manholes. The achieved results show the necessity of reflecting the specific local loss coefficients of the different types of standard manholes during the design of sewerage networks.

Key words: sewerage network, prefabricated manhole, manhole channel design

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на технологиите за строителство на ВиК инфраструктура е свързано все повече с използване на произведени или заготвени в заводски условия на готови елементи, възли и дори цели съоръжения. През последните години при строителството на канализационни мрежи се наблюдава засилено използване на фабрични ревизионни шахти. Използването им в практиката крие известни рискове при липсата на правилно изготвено техническо задание за тяхното производство и особено геометрията на кюнентите.

Осигуряването на самоочистваща скорост и необходимата пропускна способност е от изключителна важност за правилното функциониране на канализационните мрежи, и особено при смесените канализационни системи, където освен битови се отвеждат и атмосферни води и където съществува опасност от наводнение на присъединените сгради и площи.

Канализационната мрежа включва два основни елемента, които имат различно хидравлично поведение: канализационен участък между две ревизионни шахти, който се характеризира с постепенно променящ се хидравличен режим и ревизионната шахта, която се характеризира с пространствено променливо движение на отпадъчната вода. Ако хидравличната картина в канализационните участъци между шахтите е добре изучена с известни хидравлични зависимости, даващи връзката между отделните параметри, то при ревизионните шахти поради индивидуалната

форма на кюнентите и пространствената вариация на потока се налага да се правят допълнителни изследвания, които да дадат практически насоки за проектирането канализационните мрежи.

За да се редуцира до минимум неконтролираното възникване на напорен режим и преливане на отпадъчни води на повърхността от ревизионните шахти и заливане на сутерените на сградите, те трябва да отговарят на редица конструктивни и хидравлични изисквания.

Ревизионните шахти са тези елементи от канализационната мрежа, където става смяна в геометричните и хидравлични характеристики на отделните участъци. В това число се включват:

- промяна на наклона на дъното;
- промяна на грапавината на стените;
- промяна в посоката на колектора;
- промяна в напречното сечение на колектора;
- промяна във водното количество.

Наклонът на дъното на тръбите може да нараства (в повечето случаи) или да намалява и е следствие на проектантско решение и в повечето случаи се контролира в зависимост от наклона на терена. Грапавината на новите тръби обикновено е постоянна, но може да се промени вследствие на експлоатационния режим. Промяната в посоката на движение на водата в колекторите е често срещана причина за проектиране на ревизионни шахти. Именно в шахтата се осъществява тази промяна в посоката на движение. Геометрията на колекторите може да се променя както по диаметър, така и по форма на напречното сечение. Водното количество може пространствено и времево да се променя. В събирателни шахти то се увеличава, докато в разделителни шахти – намалява.

В настоящият доклад са представени резултатите от хидравличните изследвания стандартни кръгли ревизионни шахти, при които водния поток преминава транзитно през тях.

2. ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА

Точното определяне на местните хидравлични загуби в ревизионните шахти е сложен процес, който в много голяма степен се базира на конкретни експериментални изследвания.

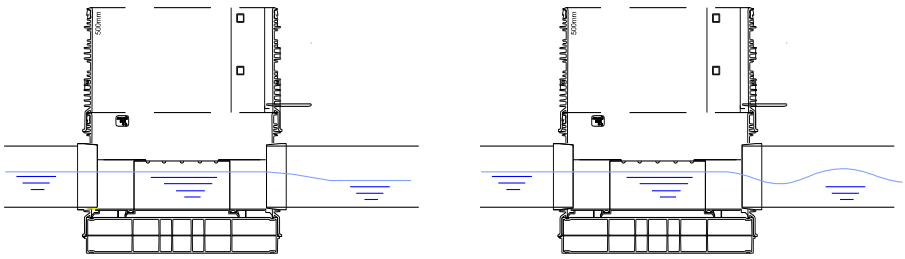
Поради сложното отчитане на тези загуби в редица изследвания те или се пренебрегват, или се изчисляват по опростени методики.

В редица литературни източници Willi H. Hager [1] се посочва, че при спокойно състояние на потока се реализират сравнително малки съпротивления, докато при бурните течения могат да се получат значителни съпротивления, които да се разпространят по дължина.

2.1. Форма на водната повърхност при изхода от шахтата и входа в отвеждащата тръба

При навлизане на течението от конструкцията на шахтата в отвеждащия тръбопровод може да възникнат следните форми на водната повърхност:

- течението може да остане спокойно, както в шахтата, така и в тръбния участък след нея;
- при преминаване от спокойно състояние на потока в бурно в началния участък на тръбата може да се получи хидравличен пад с неравномерна водна повърхност;
- при бурно течение на потока в шахтата може да се получи хидравличен скок в тръбния участък след нея с пулсиращи дълбочини;
- възможно е водното ниво в шахтата да се покачи и да се формира напорен режим в началото на тръбния участък след нея.



а) б)

Фиг. 1. а) Водна повърхност в случай на получаване на хидравличен пад; б) Водна повърхност в случай на получаване на хидравличен скок

В случай на бурно състояние на течението в ревизионната шахта най-често се наблюдават локални завихряния на потока в ревизионната шахта, които се разпространяват и по дължина на изходящия тръбен участък. Друго явление, което се наблюдава са странични контракции на основната струя на потока вследствие на формираните „ръбове“ по вътрешната повърхност на кюнетата на шахтата. Отчитането на всички тези фактори при определяне на местните съпротивления е сложно, а в някои случаи е невъзможно.

2.2. Коефициент на местните напорни загуби

В класическия случай местите загуби на напор при спокойно състояние на потока се използва формулата на Вайсбах:

$$h_{м.з.} = \zeta_м . \frac{v^2}{2.g} \qquad (1),$$

където $\zeta_м$ е коефициент на местни съпротивления, v – скорост на течението след съпротивлението, g – земно ускорение.

За определяне на коефициента на местни съпротивления се препоръчва използването на различни стойности или зависимости, изведени при конкретни експериментални условия.

В ATV-DVWK-A 110 са дадени препоръчителни стойности за коефициента на местните напорни загуби за ревизионни шахти с височини на кюнетите по-големи и по-малка от диаметъра на най-голямата тръба [2].

Основен недостатък на подхода за използване на горепосочените коефициенти е тяхната валидност, а именно предпоставката, че са в сила само при спокойни течения. В действителност в канализационните мрежови системи в много случаи се реализира бурно състояние на потока.

Според изследване на Liebmann (1970) [3] за тръби под напор и различни височини на кюнетата е изведена следната формула за местните загуби на напор

$$\Delta H_s = \frac{1}{6}.(\frac{v^2}{2.g}) \qquad (2),$$

където ΔH_s е местната загуба на напор,

v – скорост на потока,

g – земно ускорение.

При изследванията направени от Lindvall (1984) [4], местните загуби на напор са изведени като функция от диаметъра на ревизионната шахта D_s и диаметъра на тръбата D:

$$\Delta H_s = \frac{1}{12}.(D_s / D - 1)(\frac{v^2}{2.g}) \qquad (3),$$

Общите загуби на напор (енергия) в ревизионните шахти по изследвания на Stewart Stein и др.(1996) [5] зависят освен от диаметрите на шахтата и изходящата тръба, но така също от:

- C_1 - сравнителен коефициент, зависещ от размерите на шахтата и изходящия диаметър;
- C_2 - коефициент зависещ от дълбочината на водата в кюнетата;

- C_3 - коефициент зависещ от броя на входящите тръби;
- C_4 - сравнителен коефициент, зависещ от площите на напречните сечения на входящите и изходящите тръби;

$$\Delta E = \left(C_1.C_2.C_3 + C_4\right).\frac{\varpi v_0^2}{2.g} \qquad (4),$$

където ΔE е загубата на енергия(напор), ω - корекционен коефициент, който зависи от оформянето на кюнетата, $v_o^2/2g$-скоростната височина(напор).

Коефициент на местно съпротивление при крива под ъгъл 90^0 по формула, предложена от Гърданов [6]:

$$\xi_{90^0} = a + \frac{b}{Fr + 1} \qquad (5),$$

където a и b коефициенти, които се отчитат от номограма, Fr – число на Фруд.

При проектирането на канализационни мрежи се подхожда с количествено определяне на загубите на напор, като хидравличното оразмеряване зависи от конкретните конструктивни елементи изграждащи канализацията.

Оформянето на кюнетите, съгласно действащите стандарти следва да се извърши по такъв начин, че да осигури най-добри хидравлични условия. На практика, оформянето на кюнетите се осъществява по различни начини:

- ръчно оформяне в зависимост от уменията на майстора, който я изпълнява;
- фабрично производство, което също може да бъде с различни геометрични параметри;
- предварително заготвени от сегменти на тръби в полу-заводски условия;
- заводски изготвени кюнета за вграждане от полимерни материали;
- други.

От направените проучвания в тази област може да се направи извода, че оформянето на кюнетите (включително тяхната височина) има значение за осигуряване на най-добри хидравлични условия за протичане на отпадъчните водни количества през тях и осигуряване на необходимото седиментационно транспортиране на съдържащите се в нея суспендирани вещества, пясък и др.

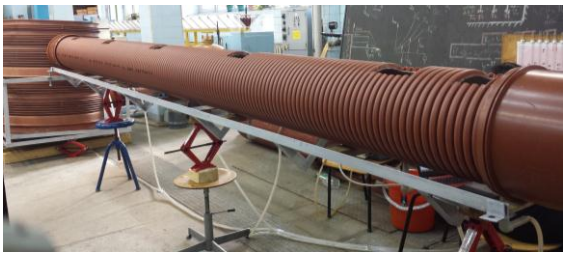
Определянето на коефициентите на местни напорни загуби са различните видове фабрично произведени ревизионни шахти има практическо значение за правилното оразмеряване на канализационните мрежи.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УСТАНОВКА

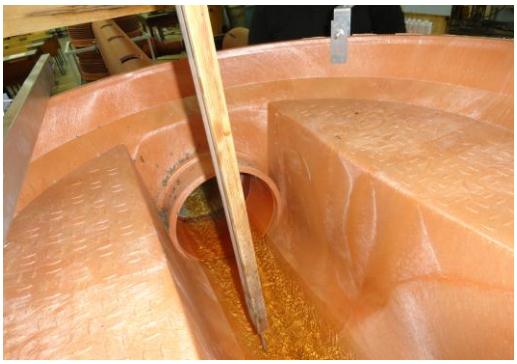
За хидравлично изследване на режима на движение на отпадъчната вода във фабрично произведени ревизионни шахти е проектирана и изпълнена експериментална установка, която отговаря на следните изисквания:

- позволява създаването на реалистични хидравлични условия за най-често срещаните в практиката параметри на потока отпадъчна вода;
- позволява непосредствено визуално наблюдение на потока в различни сечения на експерименталната установка;
- позволява извършването на експерименти, които да покрият диапазона на изменение на основните хидравлични параметри: водно количество; наклон на тръбите; дълбочина на потока в различни сечения, респективно скорост на течението и число на Рейнолдс;

Схема на експерименталната установка е показана на фиг. 1



Фиг. 1. Схема на експерименталната установка



Избраната ревизионна шахта е разположена централно. Същата е снабдена с установка за измерване на водните нива в три нейни напречни сечения (на входа, в центъра и на изхода). Измерването на нивата се осъществява с специално изработена за тази цел рейка.

Изследваната ревизионна шахта е свързана на вход с довеждащи тръби (1 до 3) и една изходяща тръба, която връща преминалата вода в черпателния резервоар за повторно използване. В началото на всяка от довеждащите тръби е монтирана ревизионна шахта за успокояване на потока, като водата в нея постъпва от напорно-регулиращата система потопено. За осигуряване на устойчивост на цялата тръбна система с шахтите е изпълнена метална конструкция. Наклоните на тръбите са постигнати, чрез серия от хидравлични крикове, разположени под началните шахти и през определени разстояния по дължина на канализационните тръби. Отчитането на дълбочините на водния поток в характерните напречни сечения е извършено чрез пиезометри, изведени на измервателно табло.

Фиг. 2. Регулиране на наклона на тръбите

За осигуряването на необходимите водни количества е използвана автоматизирана университетска напорно-регулираща система с успоредно свързани помпи, покриваща диапазона на изменение на водните количества от 0.5 dm^3/s до 70 dm^3/s.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ

В настоящия доклад са показани изследванията на фабрично произведени от фирма „Пайп лайф България" полипропиленови инжекционно ляти ревизионни шахти от полипропилен DN1000mm с една входяща и една изходяща тръба DN300mm :

Изследваните ревизионни шахти са показани на фиг. 3

а) б) в)

Фиг. 3. Изследвани ревизионни шахти: а) - ревизионна шахта с вход на 180° и изход на 0°; б) - ревизионна шахта с вход на 180° и изход на 0°; в) - ревизионна шахта с вход на 90° и изход на 0°

Изследванията са извършени през периода март 2015г. - март 2016г., като определянето на основните характеристики на потока са направени при следните изходни параметри:

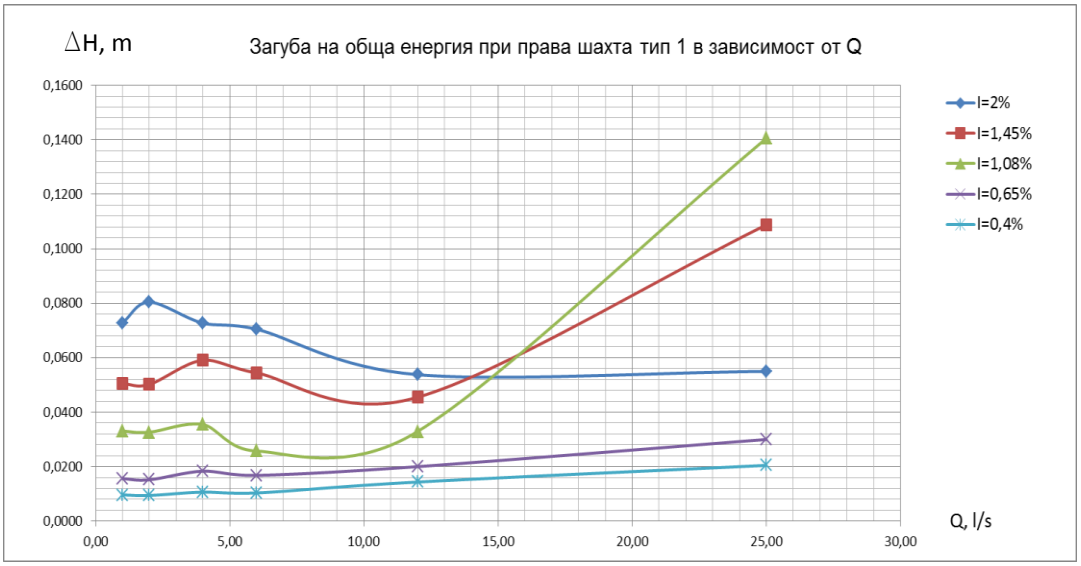
- Водни количества:1, 2, 4, 6,12, 25, 35 dm^3/s;
- Наклони на тръбите: 0,4%, 0,65%,1.0%, 1,5%, 2,0%.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

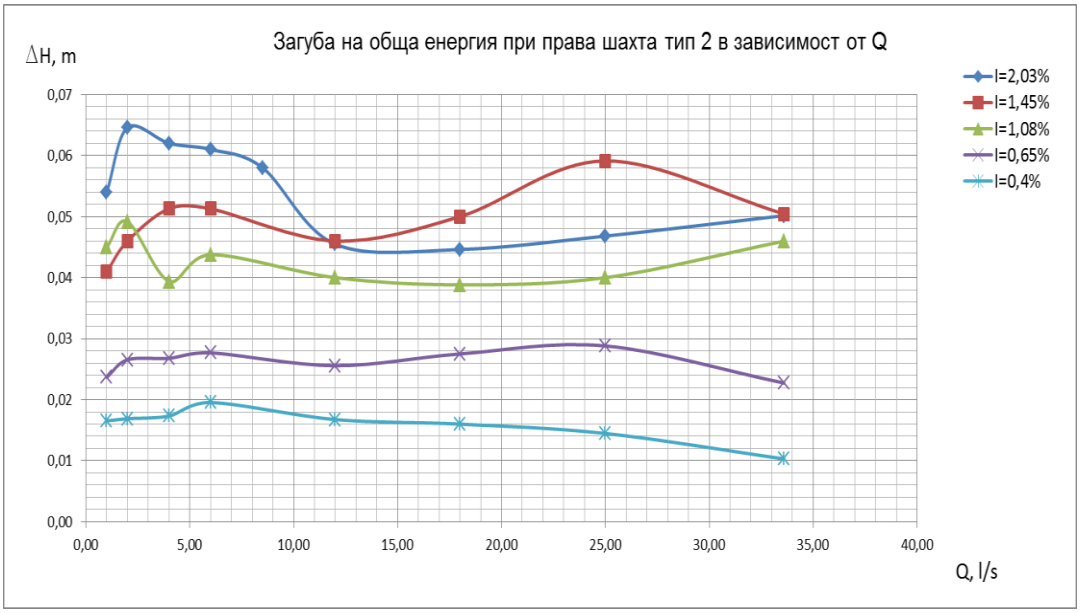
Местните напорни загуби в ревизионната шахта се получават, където линиите на потока преминават встрани от осовата посока на потока вследствие или на промяна на геометрията на стените, или намаляване на сечението на потока, или при промяна на основната посока на движение. Вследствие на това основният поток най-често се забавя. При забавен поток частиците в близост до ограждащата повърхност не могат да следват средната скорост на еднодименсиалното течение и се отделят странично на основния поток. Отделените потоци извличат значителна енергия от основния поток, като по този начин допринасят за значителните местни загуби. При промяна на посоката на движение възникват още по-сложни явления. Благодарение на високото налягане при външната извита стена, частиците не следват основния поток, а се изтеглят във вторична зона на потока. Аналогична е ситуацията и във вътрешната извита стена, където се наблюдава разделяне на потока.

Получените резултати за загубите на напор в графичен вид са показани както следва:

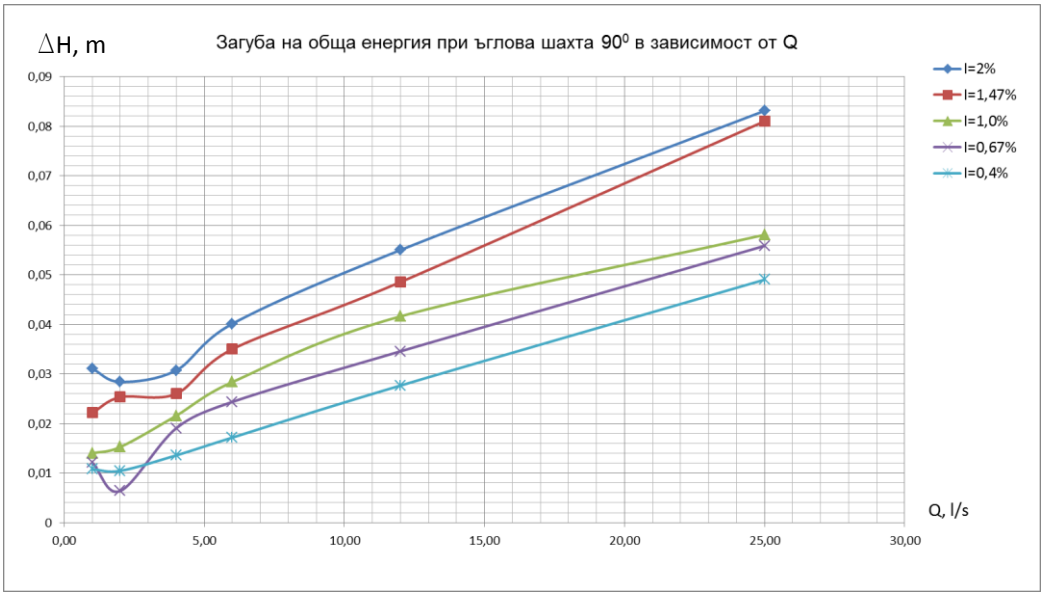
- за права шахта тип 1 са представени на Фиг. 4;
- за права шахта тип 2 – на Фиг. 5;
- за ъгловата шахта – на Фиг. 6.



Фиг. 4. Загуби на напор при ревизионна шахта с вход на 180° и изход на 0°



Фиг. 5. Загуби на напор при ревизионна шахта с вход на 180° и изход на 0°



Фиг. 6. Загуби на напор при ъглова ревизионна шахта с вход на 90° и изход на 0°

Загубената енергия при правите шахти варира от около 0,015 m за малките наклони (0,45%, 0,65%) и малки водни количества (от 1 до 6 l/s) до към 0,03 m за големите водни количества (от 12 до 34 l/s). При големите наклони (1,45%, 2%) и малки водни количества загубата на напор е около 0,05 m, а при големите водни количества достига до значителни стойности от 0,08 – 0,1 m. В такъв случай говорим за значителна напорна загуба и значителни съпротивления, които при решаване на практически задачи не могат да се пренебрегват.

Напорните загуби за ъгловата шахта се получават в аналогичен порядък. За малките наклони и малки водни количества се получават в порядъка от 0,01-0,015 m, а за големите водни количества са около 0,05 m. За големите наклони и малки водни количества числено се равняват на около 0,03m, а при големите водни количества достигат до 0,08 m. В този случай нарастването на напорните загуби с увеличаване на водното количество и наклона на тръбите има ясно изразен вид.

5.1. Определяне на коефициент на местни загуби x

Коефициентът на местни загуби е определен по формулата:

$$\xi = \Delta H / \left(\frac{v^2}{2.g} \right) \qquad (6),$$

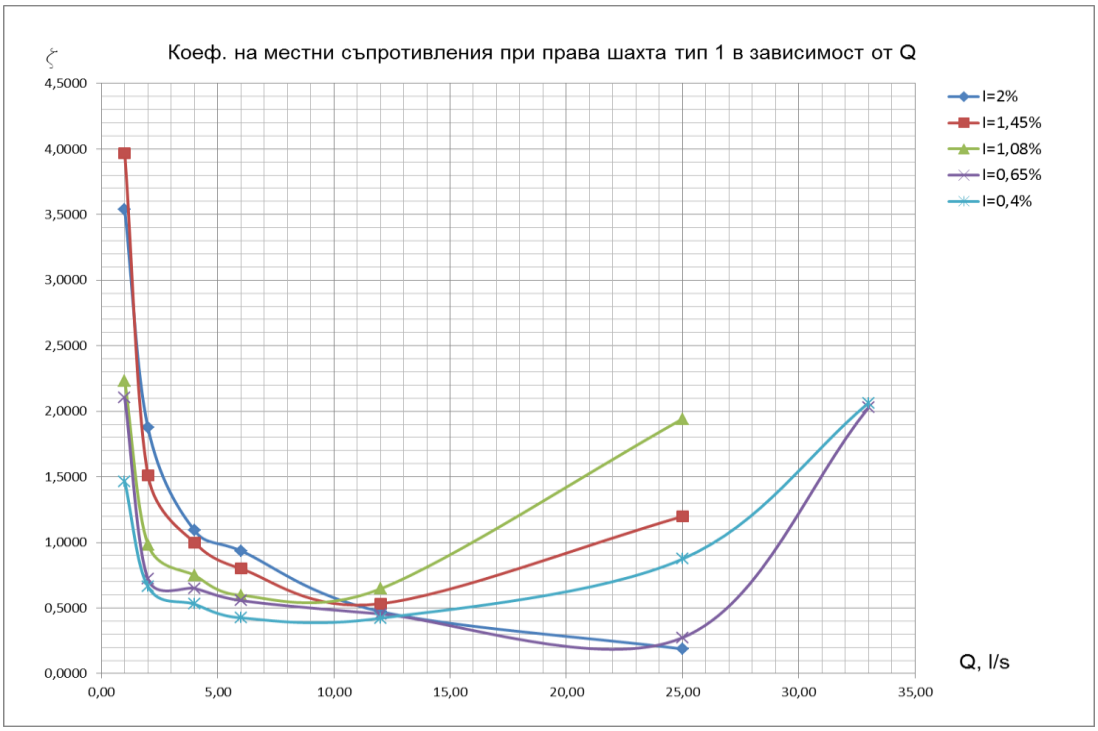
където:

$$\frac{v^2}{2.g} - скоростна\ височина\ в\ разглежданото\ сечение - изход\ шахта,\ m$$

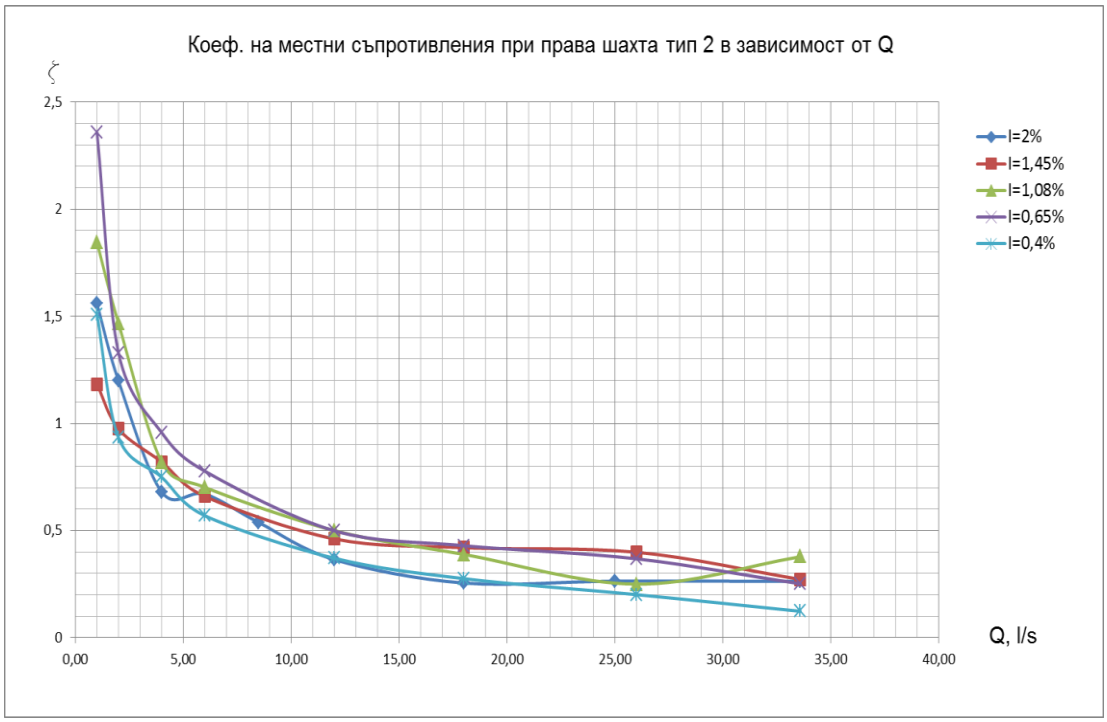
$$\Delta H - загубената\ обща\ енергия\ между\ двете\ сечения,\ m.$$

Получените резултати за коефициента на местни загуби на напор в графичен вид са показани както следва:

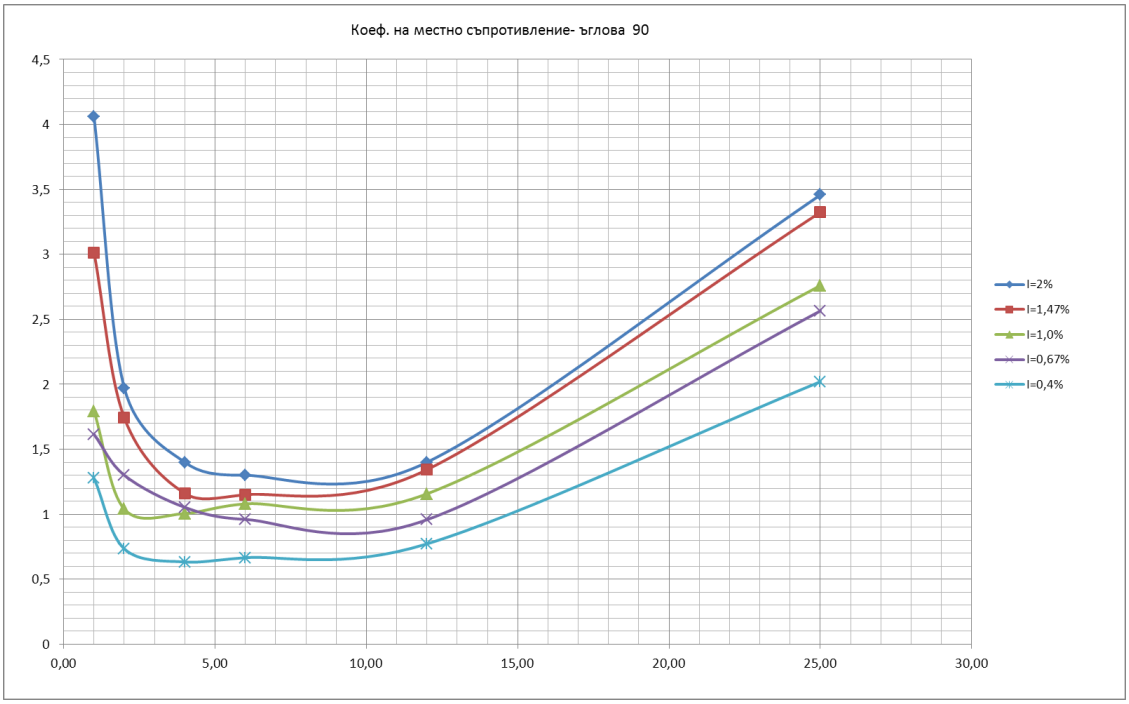
- за права шахта тип 1 са представени на Фиг. 7;
- за права шахта тип 2 – на Фиг. 8;
- за ъгловата шахта – на Фиг. 9.



Фиг. 7. Коефициент на местни загуби на напор при ревизионна шахта тип 1 с вход на 180° и изход на 0°



Фиг. 8. Коефициент на местни загуби на напор при ревизионна шахта тип 2 с вход на 180° и изход на 0°



Фиг. 9. Коефициент на местни загуби на напор при ъглова ревизионна шахта с вход на 90° и изход на 0°

При права шахта тип 1, коефициентът на местни съпротивления за малки водни количества (независимо от наклона на тръбите) първоначално има висока стойност – около 3, след което следва редуциране, а след това се наблюдава отново увеличение. При малките наклони (0,45%, 0,65%) и малки водни количества стойността е около 2, след това намалява до 0,4 при средните дебити и при големите - се увеличава пак до 2. При големите наклони (1,45%, 2%) стойността на коефициента е по-висок за малки дебити е между 3,5 до 4, след това намалява до 0,55 и при големите дебити отново се увеличава до около 2.

При права шахта тип 2 поведението на коефициента на местни съпротивления има сходен характер. При малките дебити се установяват големи стойности, които с увеличаване на водното количество намаляват до установяване на почти константна стойност.

При ъгловата шахта коефициента на местни съпротивления варира в граници от 1 до 1,5 за малки наклони и малки дебити и достига до 4 за големи наклони и малки дебити. След това отново се наблюдава наличието на минимум на кривите около 8 l/s, след което отново се увеличава до 3,5.

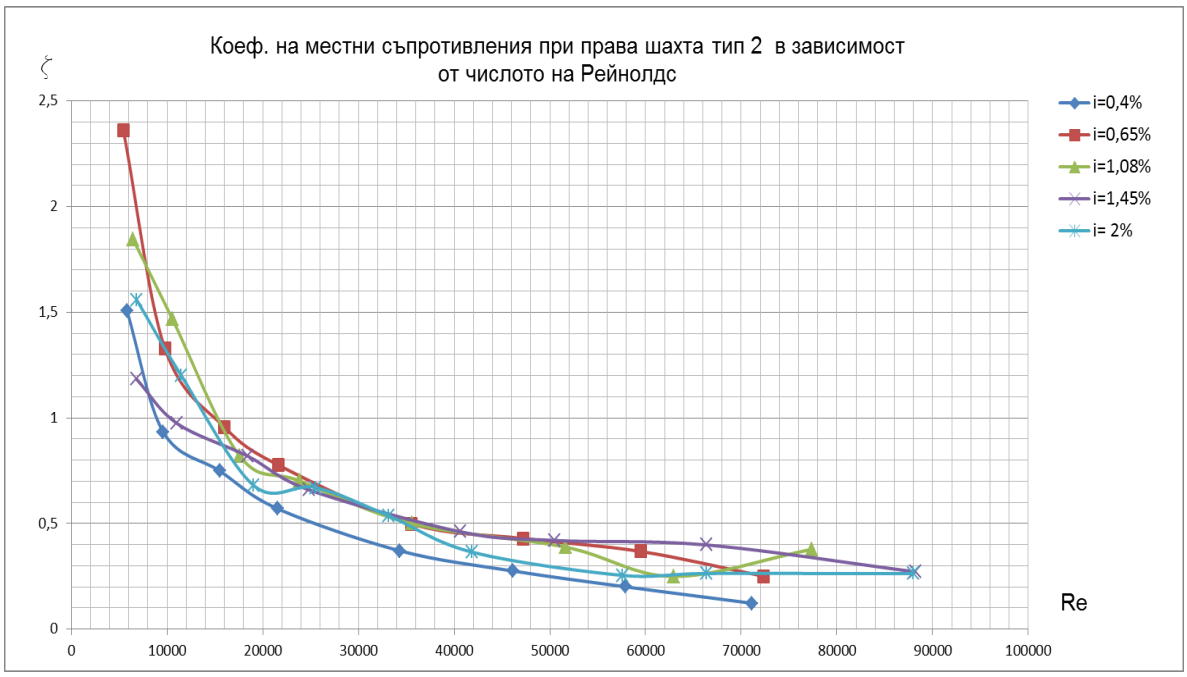
5.2. Зависимост на коефициента на местни загуби от числото на Рейнолдс(Re)

Интерес представлява изменението на коефициента на местно съпротивление в зависимост от числото на Рейнолдс, който дава информация за вида на движение. Установените стойности(Re>3000) потвърждават, че режимът на движение в изследваните ревизионни шахти е турбулентен.

На Фиг. 10 е показана получената зависимост между числото на Рейнолдс и коефициента на местни загуби, установени за права шахта тип 2.

От получените резултати става ясно, че при стойност на $Re>5.10^4$ коефициента на напорни загуби започва слабо да се колебае с по-нататъшно увеличаване на Re.

Зависимостта между коефициента на местно съпротивление и числото на Рейнолдс, Re може да се използва в случай, когато режима на движение на водата в ревизионните шахти не може да се опише аналогично на този в тръбопроводите(не може да се опише аналитично), поради възникването на различни пространствени явления (хидравличен скок и др.) в рамките на разглежданата система.



Фиг. 10. Коефициент на местни загуби на напор в зависимост от Re при ревизионна шахта тип 2 с вход на 180° и изход на 0°

6. ИЗВОДИ

- Извършени са хидравлични изследвания на фабрично произведени полипропиленови инжекционно ляти шахти, които изясняват режима на движение на отпадъчната вода в тях и дават практически насоки за проектиране на канализационни мрежи;
- Доказано е, че оформянето на кюнетите (включително тяхната височина) има значение за осигуряване на най-добри хидравлични условия за протичане на отпадъчните водни количества през тях и осигуряване на необходимото седиментационно транспортиране на съдържащите се в нея суспендирани вещества, пясък и др.
- Получени са графични зависимости на коефициента на местни загуби на напор и водното количество за ревизионни шахти с една входяща и една изходяща тръба;
- Установени са зависимости, даващи връзка между коефициента на местни загуби и числото на Рейнолдс. Зависимостта между коефициента на местно съпротивление и Re може да се използва в случай, когато режима на движение на водата в ревизионните шахти не може да се опише аналогично (аналитично) на този в тръбопроводите поради възникването на различни хидравлични пространствени явления.
- Местните загуби на напор във фабрично произведени шахти, които имат специфично оформени кюнети, трябва да се изследват индивидуално.

Авторите изказват своята благодарност на **„ПАЙПЛАЙФ България”,** за оказаното им съдействие във връзка с предоставянето им на ревизионни шахти и др. материали за извършване на експерименталните изследвания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Hager, Willi H.(2010), Wastewater hydraulics: Theory and Practice, Springer, ISBN 978-3-642-11382-6
2. ATV-DVWK-A 110 Standarts
3. Liebmann, H. (1970). Der Einfluss von Einsteigschächten auf den Abflussvorgang in Abwasserkanälen (Effect of manholes on sewer flow). Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis 2. Erich Schmidt: Bielefeld.
4. Lindvall, G. (1984). Head losses at surcharged manholes with a main pipe and a 90◦ lateral. Third Int. Conf. on Urban Storm Drainage Göteborg 1: 137–146.
5. Stein, S. M., Dou Xibing, E.Umbrell, J.Jones, Storm Sewer Junction Hydraulics and Sediment Transport
6. Цочев, Ц., Цачев, Ц., Гърданов, Т.(1997), Хидравлични изчисления на водоснабдителни и канализационни системи, изд. Техника