



Получена: 18.03.2018 г.

Приета: 22.10.2018 г.

## СИВ ВОДЕН ОТПЕЧАТЪК ОТ ЗАУСТВАНЕ НА ОТПАДЪЧНИ ВОДИ В РЕКА ДЖЕРМАН ПРИ ГР. ДУПНИЦА

И. Рибарова<sup>1</sup>, Цв. Ковачева<sup>2</sup>, С. Димитрова<sup>3</sup>

*Ключови думи:* анализ на жизнения цикъл LCA, пречистване на отпадъчни води, речен водосбор, сив воден отпечатък, химично състояние

### РЕЗЮМЕ

Изследвана е приложимостта на индикатора „сив воден отпечатък“ за оценка на въздействието на заустването на отпадъчни води във водоприемник. Използван е тестов водосбор с множество зауствания на пречистени и непречистени отпадъчни води. Два пъти месечно в сезони лято и есен са направени пробовземания и химични анализи по БПК и общ фосфор от 13 пункта. Резултатите показват, че заустванията влошават химичното състояние на реката от „много добро“ до „умерено“. Показателят „сив воден отпечатък“ адекватно отразява тази динамика. Освен това, изследването показва, че сивият воден отпечатък може да се използва за преценка на необходимите инвестиционни мерки за подобряване на ситуацията.

### 1. Въведение

Въздействието на ВиК системите върху околната среда може да бъде извършено чрез различни методи, в зависимост от целта и обхвата на изследването. През последното десетилетие се счита, че анализът на жизнения цикъл (LCA) е методът, който позволява най-пълна и задълбочена оценка [1]. Поради това са разработени серия стан-

---

<sup>1</sup> Ирина Рибарова, проф. д-р инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ribarova\_fhe@uacg.bg

<sup>2</sup> Цветелина Ковачева, инж., докторант, кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: cvetelina.kovacheva9@gmail.com

<sup>3</sup> Соня Димитрова, доц. д-р инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: son\_fhe@uacg.bg

дарти за неговото прилагане [2, 3, 4]. При LCA метода се взема предвид целият процес – от извличането на природни продукти, необходими за производството, до окончателното депониране или включване в нов цикъл на повторна употреба. Изборът на подходящи индикатори (категории на въздействие) е съществена част от анализа, тъй като именно те описват системата. Например, не включването на даден индикатор може да доведе до грешни заключения, че системата не влияе негативно върху околната среда [1]. В научната литература все още няма единомислие по въпроса за подходящ LCA индикатор за използването на водата, но индикаторът „Воден отпечатък“ (Water Footprint, WF) добива все по-широка популярност [5].

Индикаторът „воден отпечатък“ е разработен от Hoekstra [6] въз основа на концепцията за виртуална вода на Allan [7]. Водният отпечатък може да бъде син, зелен и сив, в зависимост от това дали използваемостта на водата води до нейното количествено изчерпване от водосбора или до нейното замърсяване [1, 6]. Сивият воден отпечатък (Grey Water Footprint, GWF) отчита влиянието на замърсяването на водните ресурси. Изразява се като обем вода, необходим за усвояването на товара на замършителя от водоприемника, въз основа на естествените фонове концентрации и съществуващите стандарти за качество на околната среда. Изчислява се като виртуален необходим обем вода за разреждане на замършителите до такава степен, че качеството на водата да остане над определените стандарти. Следователно, въздействието на отпадъчните води, които заустват в даден водоприемник, може да бъде оценено чрез сивия воден отпечатък.

GWF може да се изчисли поотделно за всеки замършител, като най-голямата стойност от отделните показатели проверява дали водоприемникът има капацитет за разреждането му. Ако GWF е по-малък или равен на оттока на реката, може да се предположи, че замърсяването ще се усвои, т.е. съществуващата система е устойчива. Ако GWF е по-голям от оттока на реката, може да се предположи, че замърсяването няма да може да се усвои, т.е. съществуващата система не е устойчива. Също така е важно да се отчитат и годишните колебания в наличността на водата във водоприемника.

През 2016 година е публикуван стандарт, определящ принципите и изискванията за определяне на водния отпечатък [8]. Стандартът позволява използване на обобщаващ индикатор „Воден отпечатък“, ако той обхваща всички негативни последици от използването на водата, влияещи на нейното количество и качество. Стандартът също така допуска използването на индикатори за оценяване на частичното въздействие на използването на водата, например индикатор „Воден отпечатък – недостиг на вода“ или „Воден отпечатък – еутрофикация“ и т.н. Поради това, че стандартът е публикуван преди по-малко от година, все още няма научни публикации и разработки за неговото практическо приложение.

Целта на изследването, което се дискутира в тази статия, е да се тества приложимостта на индикатора „сив воден отпечатък“ за оценка на въздействието на заустване на отпадъчни води от селищни канализационни мрежи във водоприемник – река. Подбрани са два индикатора за оценяване на частичното въздействие: „сив воден отпечатък – БПК“, тъй като той е кумулативен показател за органично замърсяване и „сив воден отпечатък – общ фосфор“, тъй като фосфорът е лимитиращ за възникване на еутрофикация в сладководни системи [9].

## **2. Подход и методи**

### **2.1. Избор на пунктове за пробовземане**

Водосборът на река Джерман е използван като тестов. По дължината на водосбора са разположени седем села, гр. Сапарева баня и гр. Дупница. Селата и гр. Сапарева баня

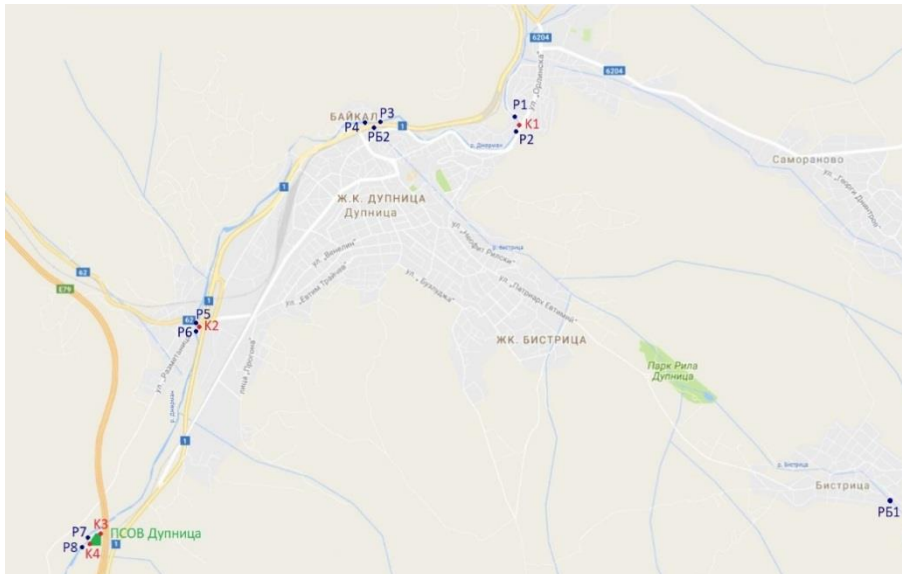
са с частично изградена канализация, но нямат пречистване на отпадъчните води. Град Дупница е с ПСОВ само за част от града. Останалата част на града е канализирана, но не е свързана с ПСОВ, като отпадъчните води се заустват в шест пункта без пречистване в река Джерман. Общият брой зауствания в изследвания водосбор на пречистени води е 1 (от ПСОВ Дупница), а на непречистени води – 14. От предоставените данни от ВиК Дупница бе направен анализ и избрани съответните пунктове на пробовземане.

Избрани са три значителни точкови източника на замърсяване на река Джерман на територията на гр. Дупница:

- Река Бистрица (пункт **РБ2**) – На територията на града в река Джерман се влива река Бистрица, в която се зауства без пречистване канализацията на село Бистрица (около 2000 е.ж.);
- Пункт **К2** – заустващ канал 2 от селищната канализация на гр. Дупница (непречистени отпадъчни води), избрана, тъй като водното количество от този пункт е най-голямо;
- Пункт **К4** – от заустващия канал на изход ПСОВ.

В самата река Джерман по нейното протежение са избрани следните пунктове:

- Пункт **Р0** – преди гр. Сапарева баня, за да може да се проследи естественото състояние на реката преди антропогенна намеса;
- Пункт **Р1** – в началото на града преди заустването на отпадъчни води от територията на града;
- Пунктове **Р3** и **Р4** – преди и след вливане на река Бистрица;
- Пунктове **Р5** и **Р6** – преди и след вливане на канал 2;
- Пунктове **Р7** и **Р8** – преди и след вливане на заустващия канал на ПСОВ.



**Фиг. 1.** Карта на гр. Дупница с избраните точки на пробовземане, без точка Р0, което е преди гр. Сапрева баня и не е в обхвата на показаната карта

В допълнение са избрани два пункта по река Бистрица:

- Пунктове **РБ1** и **РБ2** – преди село Бистрица и при вливането на реката в река Джерман.

## **2.2. Химични анализи**

Събраните проби са анализирани по БПК<sub>5</sub> и Общ Фосфор. Определянето на БПК<sub>5</sub> е съгласно [13, 14], като разлика между количеството на разтворения кислород в нулевия и в петия ден на изпитваната проба. За по-голяма точност на теста се правят две или повече разреждания на дадена проба. Най-точен е резултатът от това разреждане, при което се изразходва приблизително 50% от съдържащия се в пробата кислород. Определянето на показателя „Общ фосфор“ е извършено по фотометричен метод чрез кюветни тестове на Nach Lange.

## **2.3. Честота и начин на пробовземане**

Честотата на пробовземанията е два пъти месечно, за да може да се проследи сезонната неравномерност спрямо оттока в реката. Също така е съобразена седмичната динамика, чрез редуване на дните от седмицата – както делничните, така и почивните дни за всеки сезон. Пробата от всеки пункт е съставна за дадения ден на пробовземане, като се взима три пъти в деня сутрин, наобед и вечер. Взимането на проба става от средата на напречното сечение на речното корито. Водната проба се съхранява на хладно в хладилна чанта, за да се запазят непроменени химичните показатели до нейното обработване в лабораторията.

## **2.4. Обработване на резултатите**

Всички резултати от химичните анализи са статистически обработени, като за всеки пункт и показател са определени: максимална, минимална, средна стойност, медиана, стандартно отклонение и коефициент на вариация.

По дължината на целия водосбор на река Джерман има само един измервателен пункт на Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ), който дава информация за оттока в реката. Този пункт е разположен на територията на гр. Дупница, 800 m преди вливането на река Бистрица. Няма измервателен пункт за оттока в река Бистрица. Той е определен чрез използване на хидроложки метод, като се сравняват водосборите на р. Джерман до измервателния пункт на НИМХ и водосбора на р. Бистрица. За определяне на отпадъчното водно количество от канала на пункт 2 е приложен материален баланс за точки Р5, Р6 и К2 (сумата на вливащия се товар се изравнява със сумата на изтичащия товар).

## **2.5. Метод за определяне на сив воден отпечатък**

Направеният литературен обзор показва, че се използват няколко различни метода за определяне на сивия воден отпечатък [5, 10, 11]. Въз основа на сравнение от гледна точка на необходим набор от данни, наличие на литературни данни за прилагането на метода и изчерпателност на методът, за целта на изследването беше избран метода, предложен от Могера и съавтори [10]. Той е адаптиран към спецификата на заустване на

отпадъчни води (точково заустване) и съдържа параметри, които могат да се определят сравнително лесно.

Уравнението за изчисляване на сивия воден отпечатък се основава на масов баланс в пункта за заустване на отпадъчните води.

$$Q_e \cdot c_{e,p} + GWF \cdot c_{nat,p} = (Q_e + GWF) \cdot c_{max,river} \quad (1)$$

От уравнение (1) се определя  $GWF$ :

$$GWF = \frac{Q_e \cdot (c_{e,p} - c_{max,river})}{c_{max,river} - c_{nat,p}} \quad (2)$$

където  $GWF$  е в мерна единица обем/време;

$Q_e$  – обем на отпадъчната вода, зауствана във водоприемника, обем/време;

$c_{e,p}$  – концентрация на замърсителя в заустваното отпадъчно водно количество, маса/обем;

$c_{max,river}$  – максимална допустима концентрация от стандарта за качество на околната среда, маса/обем;

$c_{nat,p}$  – естествена концентрация на водоприемника, където няма човешка намеса, маса/обем.

### 3. Резултати и дискусия

#### 3.1. Измерени концентрации по основни замърсители

Обработените резултати за концентрациите по показателите БПК<sub>5</sub> и Общ фосфор са представени по пунктове в табл. 1.

**Таблица 1. Статистическа обработка на концентрации по пунктове и сезон**

	Водно количество		P0 - преди Сапарева баня		P1 - преди гр. Дупница		P3 - преди вливането на р. Бистрица		P4 - след вливането на р. Бистрица		P5 - преди пункт 2		P6 - след пункт 2	
	изход ПСОВ	речен отток	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Лято</b>														
Брой проби	93	11	6	3	6	3	5	3	5	3	6	3	6	3
Минимална стойност	0,09	0,55	0,01	1,52	0,06	2,22	0,09	2,25	0,10	2,74	0,12	2,11	0,17	4,12
Максимална стойност	0,22	1,22	0,09	1,94	0,11	2,70	0,12	2,89	0,15	3,73	0,20	4,59	0,38	7,56
Средно аритметично	0,16	0,80	0,03	1,68	0,09	2,48	0,10	2,61	0,13	3,25	0,15	3,08	0,29	5,71
Медиана	0,16	0,75	0,03	1,58	0,09	2,52	0,10	2,70	0,14	3,27	0,14	2,55	0,30	5,46
Стандартно отклонение	0,02	0,21	0,03	0,23	0,02	0,24	0,01	0,33	0,02	0,50	0,03	1,32	0,08	1,73
Коефициент на вариация	13,2	25,9	84,2	13,5	23,4	9,8	13,2	12,6	13,6	15,3	22,2	42,9	26,5	30,3
<b>Есен</b>														
Брой проби	76	18	3	2	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
Минимална стойност	0,12	0,67	0,02	1,50	0,07	2,18	0,09	2,01	0,17	2,71	0,11	2,54	0,21	8,50
Максимална стойност	0,31	1,74	0,05	2,16	0,15	2,95	0,17	2,71	0,19	3,31	0,20	4,60	0,53	9,58
Средно аритметично	0,17	1,15	0,03	1,83	0,12	2,68	0,14	2,37	0,18	3,01	0,16	3,43	0,32	8,99
Медиана	0,16	1,10	0,03	1,83	0,14	2,92	0,16	2,39	0,18	3,01	0,17	3,14	0,29	8,90
Стандартно отклонение	0,04	0,29	0,01	0,47	0,03	0,44	0,03	0,35	0,01	0,30	0,03	1,06	0,12	0,55
Коефициент на вариация	22,5	25,3	46,0	25,5	25,2	16,3	21,6	14,8	4,6	10,0	18,3	30,9	38,2	6,1

	P7 - преди ПСОВ		P8 - след ПСОВ		PБ2 - р.Бистрица при р. Джерман		K2 - заустващ канал /пункт 2/		K3 - вход ПСОВ		K4 - изход ПСОВ		PБ1 - р.Бистрица преди с. Бистрица	
	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>	общ фосфор	БПК <sub>5</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Лято</b>														
Брой проби	6	3	6	3	5	3	6	3	6	3	6	3	5	3
Минимална стойност	0,15	3,48	0,15	6,76	0,32	3,59	1,49	69,00	1,12	63,40	0,38	14,25	0,01	1,19
Максимална стойност	0,38	7,04	0,67	8,92	0,58	4,39	3,03	93,60	2,24	67,20	1,37	23,55	0,02	1,65
Средно аритметично	0,28	5,02	0,43	8,07	0,42	4,03	2,12	84,07	1,62	65,87	0,92	18,40	0,02	1,42
Медиана	0,29	4,53	0,46	8,52	0,44	4,10	2,06	89,60	1,59	67,00	0,89	17,40	0,02	1,41
Стандартно отклонение	0,08	1,83	0,18	1,15	0,11	0,41	0,57	13,20	0,44	2,14	0,35	4,73	0,00	0,23
Коефициент на вариация	28,1	36,5	40,9	14,2	25,6	10,1	27,0	15,7	27,0	3,2	37,9	25,7	25,9	16,2
<b>Есен</b>														
Брой проби	6	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
Минимална стойност	0,21	4,72	0,30	6,46	0,32	3,55	1,37	64,20	1,16	45,40	0,92	13,65	0,02	1,29
Максимална стойност	0,50	8,52	0,59	8,46	0,52	4,43	3,41	78,80	2,09	56,80	1,22	17,30	0,06	2,03
Средно аритметично	0,34	7,52	0,39	7,71	0,44	4,12	2,06	70,87	1,60	50,00	1,09	15,33	0,03	1,62
Медиана	0,29	8,42	0,37	8,20	0,46	4,37	1,81	69,60	1,59	47,80	1,08	15,05	0,02	1,55
Стандартно отклонение	0,13	1,87	0,12	1,09	0,07	0,49	0,78	7,38	0,35	6,01	0,11	1,84	0,02	0,38
Коефициент на вариация	38,3	24,9	29,3	14,1	16,6	11,9	38,0	10,4	21,8	12,0	10,1	12,0	58,1	23,1

Анализите и заключенията са направени за сезон „Лято“ и сезон „Есен“. Експериментите продължават, за да се обхванат сезон „Зима“ и сезон „Пролет“. Данните показват, че:

1) Няма корелация между динамиката на замърсяването по органични вещества, измерено с БПК<sub>5</sub> и замърсяването по фосфор в реката;

2) Има изразена корелация между динамиката на замърсяването по органични вещества, измерено с БПК<sub>5</sub> и замърсяването по фосфор в заустващите канали и на вход ПСОВ – при повишаване или намаляване на единия вид замърсяване, в същата посока се променя и другият вид замърсяване;

3) Няма ясно изразена сезонна динамика на измерените концентрации, но това е възможно да се дължи на приблизително еднакъв отток в реката през лятото и есента.

Коефициентът на вариация показва статистическа достоверност – ако е под 50% резултатите са статистически достоверни (малко разсейване), ако е над 50% има голямо разсейване. Само два коефициента на вариация от изчислените са над 50% – за пункта преди Сепарева баня (общ фосфор) в сезон „Лято“ и за пункта преди с. Бистрица (общ фосфор) в сезон „Есен“. Резултатите за БПК<sub>5</sub> са с по-нисък коефициент на вариация, отколкото тези за общ фосфор.

Въпреки малкия брой проби за даден пункт и за даден сезон (5 – 6 за общ фосфор и 3 за БПК) от гледна точка на статистиката, повечето резултати показват ниска вариация, т.е. близки стойности на измерванията. Това дава основание да се работи със средно аритметични стойности от всички направени измервания за даден сезон за даден пункт.

## 3.2. Отпадъчни водни количества и речен отток

### 3.2.1. Пречистена вода на изход ПСОВ

Водните количества на вход ПСОВ са предоставени от ВиК Дупница. Прието е, че няма значителни загуби на водни количества, т.е. на вход и изход ПСОВ водното количество е еднакво. Коефициентът на вариация за водните количества е под 50% и за двата сезона, което дава основание в последващите изчисления да се работи със средно аритметична стойност, която за сезон „Лято“ е 0,16 м<sup>3</sup>/s, а за сезон „Есен“ е 0,17 м<sup>3</sup>/s (табл. 1).

### 3.2.2. Отток в река Джерман

От сайта на НИМХ са взети ежедневни данни за речния отток от март до ноември. Коефициентът на вариация е под 50% и за двата сезона, което дава основание в последващите изчисления да се работи със средно аритметична стойност, която за сезон „Лято“ е  $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ , а за сезон „Есен“ е  $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$  (табл. 1).

Сравнението на средно аритметичните стойности за оттока в реката и изход ПСОВ показва, че в ПСОВ няма ясно изразена сезонност (приблизително еднакви стойности в двата сезона), но при реката през есента оттокът се повишава с около 40% спрямо лятото. Друга интересна взаимовръзка е отношението на заустаното количество пречистена вода към оттока в реката. В сезон „Лято“ пречистената отпадъчна вода е около 20% от оттока в реката. В сезон „Есен“ пречистената отпадъчна вода е около 15% от оттока в реката.

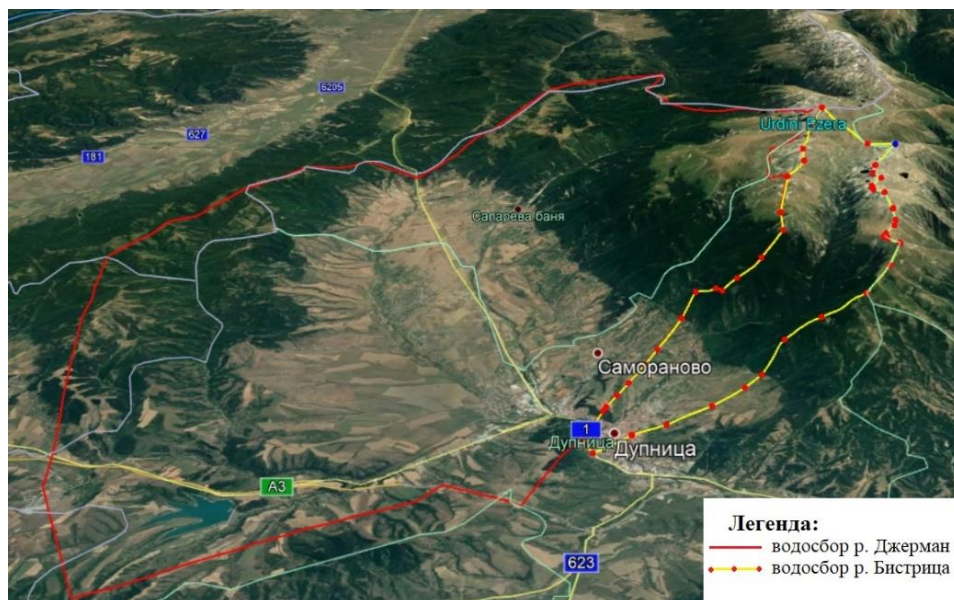
### 3.2.3. Отток в река Бистрица

Поради липса на данни за водното количество в р. Бистрица е използван хидроложки метод чрез съотнасяне на площите на водосборите на р. Джерман до измервателния пункт на НИМХ и водосбора на р. Бистрица. Измерената площ на водосбора на р. Джерман е  $389,59 \text{ km}^2$ , а тази на р. Бистрица е  $55,8 \text{ km}^2$ . Оттокът в река Бистрица е изчислен спрямо измерения отток на река Джерман, както следва:

Сезон „Лято“:  $0,157 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Сезон „Есен“:  $0,164 \text{ m}^3/\text{s}$ .

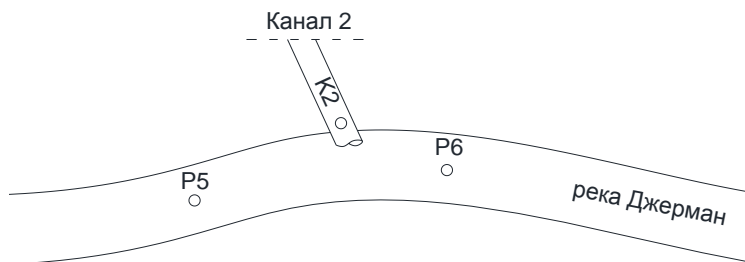
Тези стойности показват, че оттокът в река Бистрица е много близък по стойност до заустаното пречистено отпадъчно водно количество от ПСОВ Дупница.



Фиг. 2. Карта, показваща водосборите на двете реки (съгласно google earth)

### 3.2.4. Отпадъчно водно количество от пункт 2

Отпадъчното водно количество от пункт 2 е изчислено чрез материален баланс на вливащ и изтичащ замърсителен товар.



**Фиг. 3. Схема за изчисляване на оттока в р. Бистрица по материален баланс**

Оттокът в река Джерман преди пункт 2 е сума от измерения отток в пункта на НИМХ и изчисления отток за река Бистрица.

Отпадъчното водно количество от пункт 2 е изчислено, както следва:

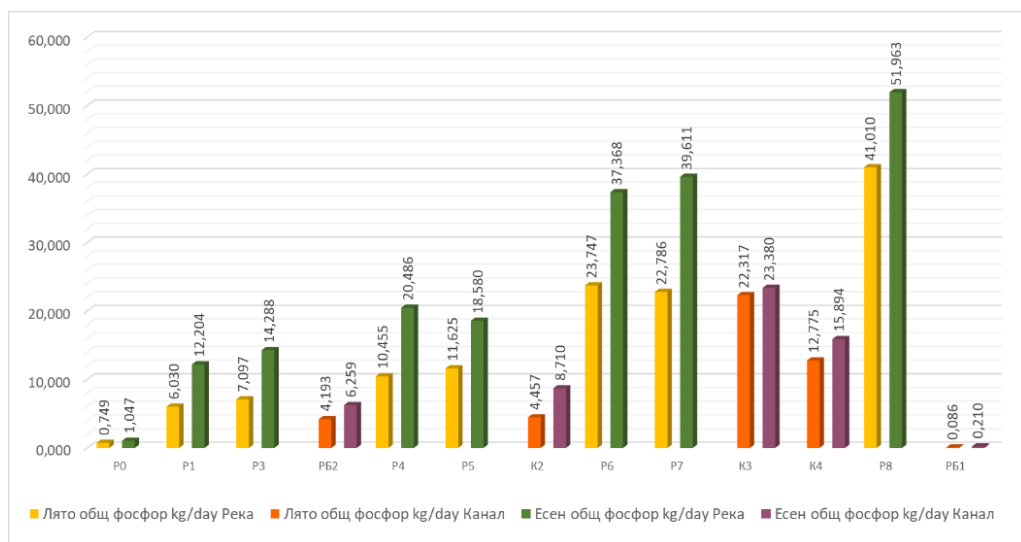
Сезон „Лято“:  $0,024 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Сезон „Есен“:  $0,049 \text{ m}^3/\text{s}$ .

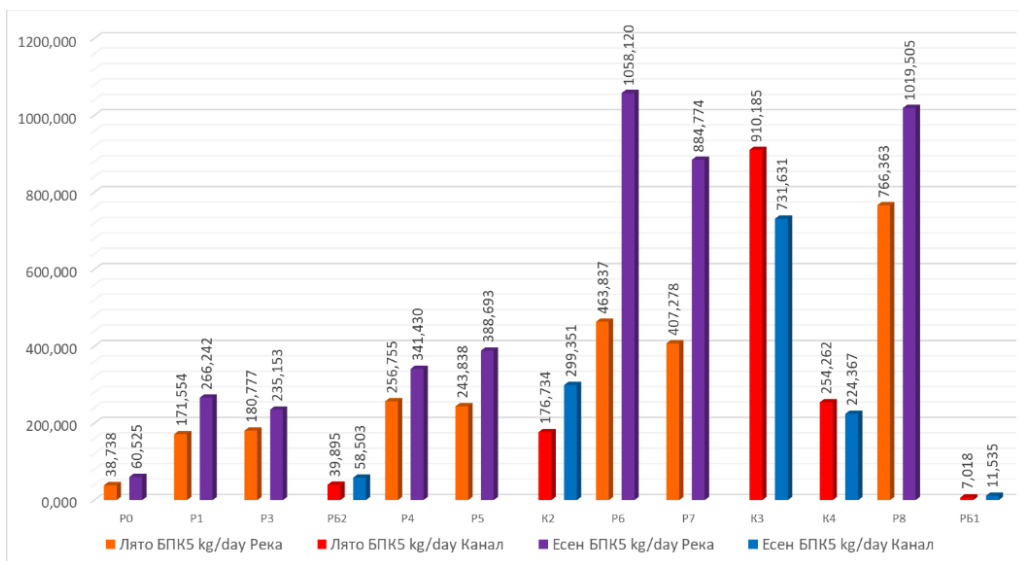
Тези количества са около 15% от оттока на ПСОВ Дупница.

### 3.3. Товари по основни замърсители

Товарите по основните замърсители са изчислени като произведение на водното количество (оттока) и концентрацията на съответния замърсител. Използвани са средните аритметични стойности (табл. 1). Оттокът в река Джерман нараства по течението след вливането на река Бистрица и отпадъчните води. Чрез последователно сумиране на основния поток и вливанията в него е изчислен оттокът в реката за всеки пункт на пробовземане. Товарите по пунктове по протежението на реката са представени графично на фигурите по-долу.



a)



b)

**Фиг. 4. Товари за сезон „Лято“ и сезон „Есен“ а) по общ фосфор и б) по BPK<sub>5</sub>**

Тези графики показват следното:

1) замърсителният товар в река Джерман нараства значително след последния пункт заустване (P8 – заустване ПСОВ) спрямо товара преди реката да навлезе в обхвата на човешка дейност (P0 – преди Сепарева баня);

2) по протежение на реката замърсителният товар нараства постепенно след всяко заустване на отпадъчни води в него (пунктове 1, 4, и 6);

3) реката има самопречиствателен капацитет – между P6 и P7 няма вливания, а товарът намалява;

4) сравнението между товара в река Бистрица преди селото (PБ1) и след селото (PБ2) показва около петкратно завишаване в резултат на заустване на непречистените отпадъчни води от селото (с изградена канализация, но без ПСОВ);

5) сравнението между 2 вливания – на река Бистрица (PБ2) и на непречистените води от града (K2) показва, че товарите са приблизително еднакви, въпреки, че оттокът в реката е многократно по-голям от водното количество в канала. Това е индикатор, че, непречистените отпадъчни води от село Бистрица се пречистват в резултат на самопречиствателната способност на река Бистрица. Все пак, река Бистрица не може да пречисти напълно замърсяването от канализацията на село Бистрица и е един от сериозните замърсители на река Джерман;

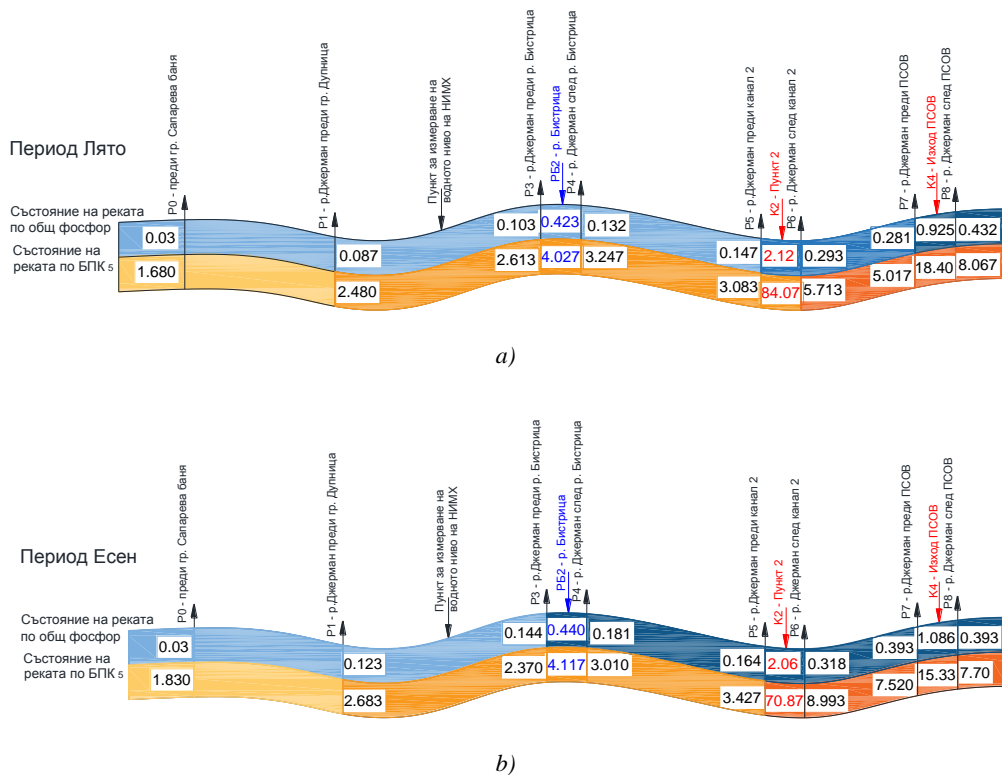
6) сумата на товара от двете вливания (река Бистрица и канал 2) е приблизително равна на товара на пречистените отпадъчни води от град Дупница (K4);

7) замърсителните товари са по-високи в сезон „Есен“.

### 3.4. Сив воден отпечатък

Сивият воден отпечатък е изчислен по общ фосфор и BPK<sub>5</sub> за най-големите вливания в река Джерман, които са р. Бистрица, пункт 2 и ПСОВ.

Състояние на реката в отделните участъци, показани на фигурите съгласно Наредба № Н-4 [15] и средно аритметичните стойности на концентрациите по сезони, показани на фигурите по-долу [8].



Фиг. 5. Цветово представяне на промяната в състоянието на река Джерман при всеки пункт: а) сезон „Лято“; б) сезон „Есен“

Легенда:

Състояние на реката по общ фосфор		Състояние на реката по БПК <sub>5</sub>	
Мн. добро	<0.15	Мн. добро	< 2
Добро	0.15-0.3	Добро	2 - 4
Умерено	0.3-0.6	Умерено	> 4

Съгласно Рамкова директива за водите екологичната цел е: „Предпазване състоянието на всички повърхностни водни обекти от влошаване“ (чл. 4 ал. 1 а i). Тъй като естественото състояние на река Джерман (преди Сепарева баня) и по двата показателя и за двата сезона е „много добро“, екологичната цел е да се постигне това състояние за всички участъци. Поради това, при изчисляване на сивия воден отпечатък се използват стойностите на Наредба 4 за „много добро състояние“. Сивият воден отпечатък се изчислява по уравнение (2) за трите пункта: вливането на р. Бистрица, канал 2 и ПСОВ.

Таблицата по-долу показва отношението между сивия воден отпечатък и оттока в реката при съответните пунктове на вливане.

**Таблица 2. Отношение на *GWF* към оттока в реката по сезони**

Точки	РБ2	К2	К4
GWF Общ Фосфор - за сезон лято	23036,595 m <sup>3</sup> /d	35247,285 m <sup>3</sup> /d	149368,978 m <sup>3</sup> /d
GWF Общ Фосфор/ <i>Q<sub>p</sub></i>	0,333	0,510	2,159
GWF Общ Фосфор - за сезон есен	34875,355 m <sup>3</sup> /d	68252,638 m <sup>3</sup> /d	115766,682 m <sup>3</sup> /d
GWF Общ Фосфор/ <i>Q<sub>p</sub></i>	0,351	0,688	1,167
GWF БПК <sub>5</sub> - за сезон лято	62749,143 m <sup>3</sup> /d	539155,609 m <sup>3</sup> /d	708202,809 m <sup>3</sup> /d
GWF БПК <sub>5</sub> / <i>Q<sub>p</sub></i>	0,907	7,794	10,238
GWF БПК <sub>5</sub> - за сезон есен	176942,709 m <sup>3</sup> /d	1711192,214 m <sup>3</sup> /d	1147656,347 m <sup>3</sup> /d
GWF БПК <sub>5</sub> / <i>Q<sub>p</sub></i>	1,783	17,246	11,567

Таблицата показва, че по отношение на фосфора положението не е чак толкова тревожно, тъй като дори след вливането на двата замърсителни потока – от река Бистрица и от пункт 2, сивият воден отпечатък е по-малък от оттока, т.е. реката има капацитет да се „справи“ с този замърсител. Този извод се потвърждава и от цветовите графики (фиг. 7 и фиг. 8), където се вижда, че реката преминава в умерено състояние едва след пункт 2. След заустването и на пречистените отпадъчни води, обаче, реката вече няма капацитет да се „справи“ със замърсяването.

По отношение на БПК, сивият воден отпечатък от непречистените води от канала и от пречистените след ПСОВ е от около 7 до 17 пъти по-голям от оттока в реката, което показва, че реката няма възможност да се самопречисти.

Стойностите в табл. 2 показват, че за постигане на изискванията на Рамковата директива за водите, е необходимо да бъдат предприети мерки за намаляване на замърсяването и по двата изследвани показателя – фосфор и БПК. Затова е решена обратна задача – да се изчисли какви трябва да са концентрациите на основните замърсители в зауствания поток от изход ПСОВ, така че да не се влошава състоянието на реката.

Съгласно концепцията на сивия воден отпечатък, ако *GWF* е по-малък или равен на оттока на реката, може да се предположи, че замърсяването ще се усвои, т.е. трябва:

$$\frac{GWF}{Q_p} \leq 1. \quad (3)$$

$$GWF \leq Q_p. \quad (4)$$

Ако в уравнение (4) *GWF* се замести с израза от уравнение (2), се получава:

$$GWF = \frac{Q_e \cdot (c_{e,p} - c_{\max,river})}{c_{\max,river} - c_{nat,p}} \leq Q_p. \quad (5)$$

Симулирана е ситуация, при която е направена реконструкция на канализационната мрежа и всички зауствания пунктове в реката са пренасочени към ПСОВ.

За изчисленията е използвано уравнение (5), в което за неизвестно е приета концентрацията на замърсителя в зауствания канал от ПСОВ ( $c_{e,p}$ ).

Максимално допустимата концентрация на замърсителя в реката  $c_{\max,river}$  е приета съгласно стойностите за „много добро състояние“ [8].

Концентрацията на замърсителя при естествено състояние на реката е равна на измерената в пункт Р0 преди гр. Сепарева баня.

Получени са следните резултати:

$$\begin{aligned} c_{e,p,\text{общ фосфор}} &= 0,749 \text{ mg/l} \\ c_{e,p,\text{БПК}_5} &= 3,632 \text{ mg/l} \end{aligned} \quad \text{– за сезон „Лято“;}$$

$$\begin{aligned} c_{e,p,\text{общ фосфор}} &= 0,888 \text{ mg/l} \\ c_{e,p,\text{БПК}_5} &= 3,061 \text{ mg/l} \end{aligned} \quad \text{– за сезон „Есен“.}$$

Съгласно Наредба 6, концентрацията за БПК в пречистените отпадъчни води за ПСОВ Дупница трябва да е 25 mg/l, а за общ фосфор няма изискване [16]. Изчислените от нас концентрации чрез използване на концепцията на сивия воден отпечатък показват, че за да се постигнат изискванията на Рамковата директива за водите, е необходимо много по-задълбочено пречистване на отпадъчните води.

#### 4. Изводи

Тестването на приложимостта на индикатора „сив воден отпечатък“ за оценка на въздействието на заустването на отпадъчни води във водоприемник показва неговата полезност за инженерната практика в две насоки: 1) Определяне на необходимата степен на пречистване в ПСОВ и 2) Приоритизиране на инвестиционни мерки за предпазване на състоянието на водоприемника от влошаване.

Началните изчисления за тестовия водосбор са индикация за необходимост от синхронизиране на нормативните документи, в частност концентрациите на замърсителите, указани в Наредба 6 и Наредба № Н-4. Този извод следва да бъде потвърден от допълнителни изследвания.

#### Благодарности

Изказваме нашите благодарности на ЦНИП при УАСГ за финансирането на изследването (договор Д-96/2017), както и на ВиК Дупница за тяхното безвъзмездно съдействие при осъществяване на настоящото проучване. Екипът благодари сърдечно на хим. Светлана Лазарова от УАСГ за помощта при провеждане на химичните анализи. Благодарим и на Роландо Мачети, италиански студент по Еразъм в УАСГ, който взе участие в първата фаза на разработката.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Рибарова, И.* Хармоничната ВиК система. Монография, // ЗЕН Електроникс, София, 2017.
2. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
3. ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

4. ISO 14045. (2012). Assessment of the eco-efficiency of Product systems – Principles, Requirements and Guidelines.
5. *Hoekstra, A. Y., Ashok, K., Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen.* The Water Footprint Assessment Manual, 2011, pp 30-35.
6. *Hoekstra, A. Y.* Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. // Value of Water Research Report Series No. 12, 2003.
7. *Allan, J. A.* Virtual water: a strategic resource. // Global solutions to regional deficits, 1998.
8. ISO 14046:2016. Water footprint – Principles. Requirements and Guidelines.
9. *Scholten, M. C. Th., Foekema, E. M., Van Dokkum, H. P., Kaag, N. H. B. M. and Jak, R. G.* Eutrophication Management and Ecotoxicology. 2005, pp 2-4.
10. *Morera, S., Corominas, Ll., Poch, M. Aldaya, M. M., Comas, J.* Water footprint assessment in wastewater treatment plants. // Journal of Cleaner Production 112, 2016, 4741-4748.
11. *Gu, Y, Li, Yi, Wang, H., Li., F.* Gray Water Footprint: Taking Quality, Quantity, and Time Effect into Consideration. // Water Resour Management, 2014, DOI 10.1007/s11269-014-0695-y.
12. *Liua, Cheng, Kroezea, C., Hoekstrac, A. Y., Gerbens-Leenesc, W.* Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. // Ecological Indicators 18, 2012, 42–49.
13. БДС EN 1899-1. 2004, Качество на водата. Определяне на биохимична потребност от кислород след *n* денонощия (БПК<sub>n</sub>). Част 1: Метод чрез разреждане и „добавка“ с прибавяне на алилтиокарбамид.
14. БДС EN 1899-2. 2004, Качество на водата. Определяне на биохимична потребност от кислород след *n* денонощия (БПК<sub>n</sub>). Част 2: Метод за неразредени проби.
15. Наредба № Н-4. 14.09.2012. За характеризиране на повърхностните води.
16. Наредба № 6. 9.11.2000. За емисионни норми за допустимото съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти.

# GREY WATER FOOTPRINT FROM WASTEWATER DISCHARGE IN THE RIVER DJERMAN AT THE TOWN OF DUPNICA

I. Ribarova<sup>1</sup>, T. Kovacheva<sup>2</sup>, S. Dimitrova<sup>3</sup>

*Keywords: chemical status, grey water footprint, life cycle assessment LCA, wastewater treatment, water catchment*

## ABSTRACT

The feasibility of the “grey water footprint” indicator to assess the impact of waste water discharge in the receiving water is investigated. A test catchment with multiple discharges of treated and untreated wastewater is used. Twice a month sampling and chemical analysis of BOD and total phosphorus of 13 points are made in the summer and autumn seasons. The results show that discharges deteriorate the chemical status of the river from “high” to “moderate”. The “grey water footprint” indicator adequately reflects this dynamics. Moreover, the study shows that the grey water footprint can be used to assess the necessary investment measures to improve the situation.

---

<sup>1</sup> Irina Ribarova, Prof. Dr. Eng., Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ribarova\_fhe@uacg.bg

<sup>2</sup> Tsvetelina Kovacheva, Eng. PhD student, Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: cvetelina.kovacheva9@gmail.com

<sup>3</sup> Sonya Dimitrova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: son\_fhe@uacg.bg