

## Нови технологии за биологично пречистване на отпадъчни води от промишлени инсталации

инж. Ивелина Рюдигер\*, Д-р Андреас Рюдигер\*, Проф. Д-р инж. Иван Секулов\*\*  
\*Aquabiotec GmbH, Innovationscampus 1, 23562 Luebeck, Germany, [www.aquabiotec.com](http://www.aquabiotec.com)  
\*\*Делфин Проект Екотехника, ул. Тимок 4, 1202 София, България

### ABSTRACT

Integrated pollution prevention and control Directive (IPPC) is transposed to the Bulgarian legislation and the issuing of the permissions for the industrial installations is until the period of 2007 depending of the type of the industry. For a lot of industries IPPC demands further wastewater treatment using best available technics (BAT).

New generation of aerated biological upflow filtration for intense treatment of industrial wastewater effluents is presented in the current paper. Bioreactors are very efficient for small and medium industrial installations up to about 2000 m<sup>3</sup>/d.

Technological schemes and results from biofiltration plants in different European countries and different industrial branches (paper, textile, chemical industry) will be presented.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Биологичното пречистване на отпадъчните води с биофилтри бе заимствано от биофилтрацията като метод, използван за пречистване на питейни води. Първата пречиствателна станция бе построена в началото на 1980 година. Днес са реализирани повече от 500 пречиствателни станции за отпадъчни води с биофилтрация.

Потопените биофилтри се появиха като съоръжения в пречиствателните станции към края на 70-те, началото на 80-те години главно за случаи с нитрификация, където за разграждане на специфични замърсители са необходими специализирани микроорганизми с нисък коефициент на размножение. Възрастта на утайката е над 10-15 дни (нитрификанти) и над 30 дни за специални микроорганизми. Тъй като тази възраст е трудно да се постигне с една биомаса, състояща се от различни микроорганизми, както е случая с активната утайка в биобасейните, вниманието се насочи към биофилмовите реактори. Известно е, че с биофилмовите реактори като биофилтри, ротационни биофилтри и др., при ниски натоварвания с БПК могат да се разграждат и трудно разградими съединения. За индустриални нужди се оказва, че необходимите обеми на реакторите са твърде големи и на промишлената площадка с ограничени размери няма необходимото място за тях.

При потопените биофилтри, биомасата расте върху твърди носители – пясък, керамзит, пластични материали и др. с много голяма вътрешна повърхност, с която се увеличава пречиствателната способност на съоръжението на m<sup>3</sup> реактор от 5 до 10 пъти. Това означава, че в потопените биофилтри биомасата със специализираните микроорганизми може да се съгъсти от 5 до 10 пъти в m<sup>3</sup> реактор.

При тази гъстота на биомасата снабдяването на микроорганизмите с кислород и отделянето на междинни нежелани продукти при разграждането на веществата са безспорно затруднени.

Появиха се нови системи реактори с потопени биофилтри, в които технически се търси преодоляването на станалите известни трудности.

Поради простата причина, че един високо интензивен пречиствателен процес се управлява по-трудно от конвенционалните такива и необходимата енергия на пръв поглед е значително по-висока, тяхното разпространение в практиката се затрудни.

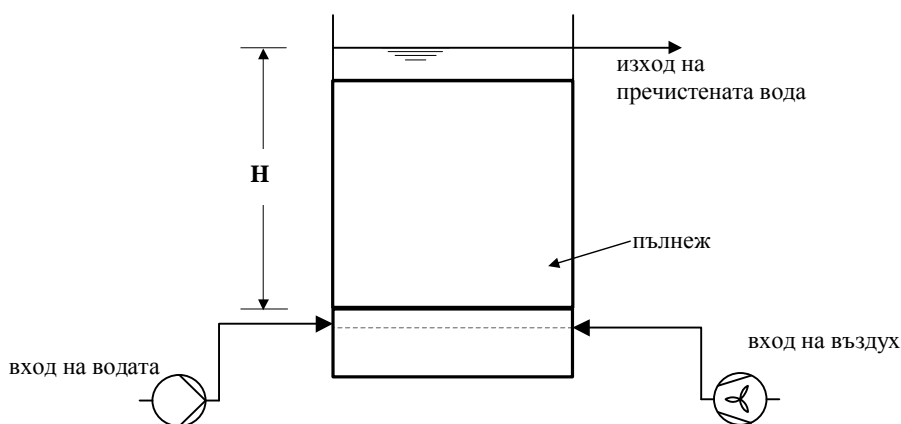
Нови изследвания и подобрени системи през 90-те години доведоха до един ренесанс, един подем на тези съоръжения. Предимствата на тези реактори са ниски концентрации на изход пречиствателна станция, експлоатация без риск от разбухнала утайка, малка площ за тяхното инсталиране, почти автоматично управление и малко работна ръка в сравнение с реакторите с активна утайка.

В този доклад ще се дадат някои основни познания и опити от прилагането им през последните години.

## 1. Основни положения

### 1.1. Конструкция

Потопения биофилтър се състои от дъно, в което са разположени дюзите за въздух и подаване на отпадъчната вода. Тялото е с цилиндрична форма или с правоъгълно сечение, с устройство за изнасяне на пречистената вода. На фиг. 1 е представена схема на един потопен биофилтър.



Фигура 1. Схема на потопен биофилтър

Обемът му е запълнен с материал – носител на биофилма. Използван е пясък керемзит (топчета с диаметър между 4 mm и 8 mm) в насипно състояние. Вътрешната повърхност на материала може да варира от 350 ( $m^2/m^3$ ) до 3500 ( $m^2/m^3$ ).

Видът на пълнежа трябва да бъде съобразен с конструкцията на реактора и веществата, които трябва да бъдат разграждани. Височината на реактора Н е съобразена с протичащите процеси. При аеробни процеси  $H = 4,5\sim 6$  m, за да може водата да се аерира по-икономично (както в биобасейните  $H = 4,5$  m). За реакции при аноксни условия за денитрификация и подобни процеси без аериране, височината на реактора може да се съобразява с други икономически условия.

Оразмеряването на реактора се извършва с кинетични параметри, определени в лабораторни условия, пилотни станции или от подобни пречиствателни станции.

При известна скорост на разграждане на едно вещество, дадена като:

$$v, [\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$$

При известно натоварване  $B_0$  [kg/h], обема  $V$  [m<sup>3</sup>] на съоръжението при избран пълнеж с повърхност  $A$  [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>] ще бъде:

$$V = \frac{B_0}{v \cdot A} \quad [\text{m}^3]$$

Подаването на въздух от опит се приема за аеробен процес и има скорост:

$$v_L = 5 \sim 10 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h]},$$

а подаването на отпадъчната вода е със скорост:

$$v_h = 5 \sim 10 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h]}.$$

За промиване на биофилм реактори се препоръчват:

скорост на подаване на въздух

$$v_L = 60 \sim 120 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h]}$$

скорост на подаване на отпадъчна вода

$$v_h = 20 \sim 30 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h]}$$

в продължение на 30 до 60 минути.

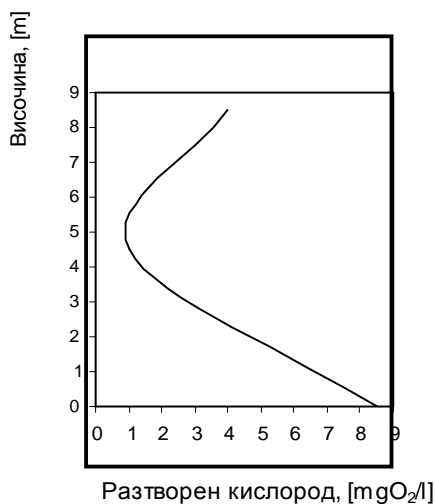
По време на оптимизация се определят точните скорости, периоди на промиване и времетраенето им.

## 1.2. Процеси

При потопените биофилтри с фиксирана материя т.е. пълнежа не е разбухнат в тялото на реактора се получават профили на кислород, рН, концентрации, биомаса и др. Реактора не е разбъркан и с това се получават местни проблеми, непознати от напълно разбъркани реактори както биобасейни. От това следва, че особено внимание трябва да се обърне на пречиствателни процеси, които протичат много бързо и могат да се ограничат от конструкцията. Разбъркването на реактора при необходимост може да се постигне чрез рециркулация на водата. По този начин рециркулация от 5-6 пъти на входната вода около реактора може да се приеме като тотално разбъркване и ако е необходимо, трябва да се предвиди при оразмеряването.

При нитрификация се забелязва, че разтворения кислород се консумира напълно още в първите 1 до 2 m на реактора и става лимитиращ фактор за нея. Нитрифицира се толкова, колкото е

окислителната способност на реактора. За оптимизиране на този недостатък са извършени много нови изследвания - подаване на въздух, обогатен с чист кислород, повишаване на хидравлична скорост  $v_h = 15 \text{ (m}^3/\text{m}^2 \text{ h)}$  и други (фиг. 2).

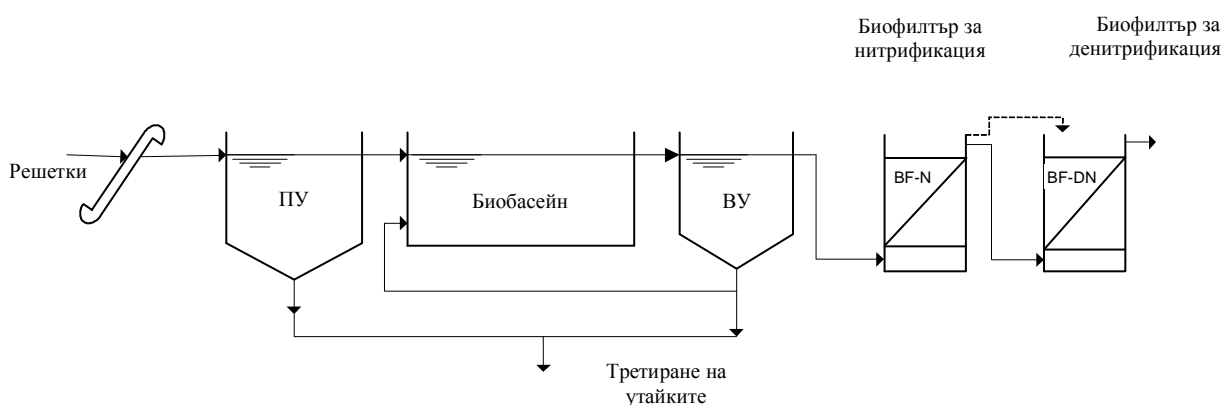


Фигура 2. Схематично представени профили на разтворения кислород

## 2. Схеми

Потопените биофилтри могат да бъдат самостоятелни съоръжения или част от пречиствателната система. В индустрията често са самостоятелни съоръжения след механичното стъпало.

При пречиствателните станции за битови води те се предвиждат обикновено като второ стъпало за нитрификация, денитрификация и филтриране на неразтворените вещества от пречистената вода (Фиг. 3).



Фигура 3. Схеми с потопени биофилтри

В схемата в реакторите с активна утайка се осъществява отстраняване на въглеродното замърсяване, последвано от два потопени биофилтри за нитрификация и денитрификация. След нитрифициращия реактор следва денитрификационен реактор, който може да се намира отгоре или от дъното според проектанта. И двете схеми са познати.

### 3. Резултати от инсталирани потопени биофилтри в промишлеността

#### 3.1. Хартиена промишленост

Потопените биофилтри са доказано най-добра технология за пречистване на отпадъчни води от хартиената промишленост. В Европа тази техника се прилага за биологично пречистване в повечето 20 фабрики за хартия.

В хартиената промишленост една част от водния поток се използва повторно и рециркулира, друга част се пречиства като има тенденция третираните води да се връщат в циркулацията на водата в производствения процес. Това, както и директното заустване във водоприемник изисква ефективно пречистване. Нормите за допустими емисии от хартиената промишленост (в случая при продукция на непокрита финна хартия и водопотребление 14,4 m<sup>3</sup>/t) според директива 96/61/ЕС за комплексно предотвратяване и контрол на промишленото замърсяване (КПЗС) са представени в таблица 1. В таблица 2 са представени нормите за допустими емисии в Германия (Abwasserverordnung, 2004).

**Таблица 1.** Емисионни норми от хартиена промишленост -директива 96/61/ЕС за КПЗС

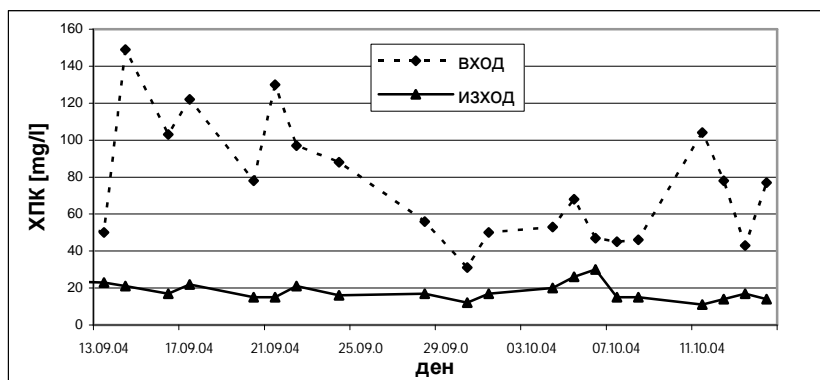
Параметър	kg/t хартия	mg/l
ХПК	0.5-2	35-139*
БПК <sub>5</sub>	0.15-0.25	10-18*
Неразтворени вещества	0.2-0.4	10-28*
Общ фосфор	0.003-0.01	0,2-0,7*
Общ азот	0.05-0.2	3-14*

**Таблица 2.** Емисионни норми от хартиена промишленост в Германия (Abwasserverordnung, 2004)

Параметър		
ХПК	kg/t	3
БПК <sub>5</sub>	mg/l	25
Неразтворени вещества	mg/l	50
Общ фосфор	mg/l	2
Общ азот	mg/l	10

\* В случая при продукция на непокрита финна хартия и водопотребление 14,4 m<sup>3</sup>/t

Ниските емисионни норми и по-конкретно ХПК и неразтворени вещества, се постигат успешно чрез биологично пречистване с потопени биофилтри. Резултати от пречиствателна станция (ПС) с потопени биофилтри от предприятие за производство на хартия са представени на фиг. 4.

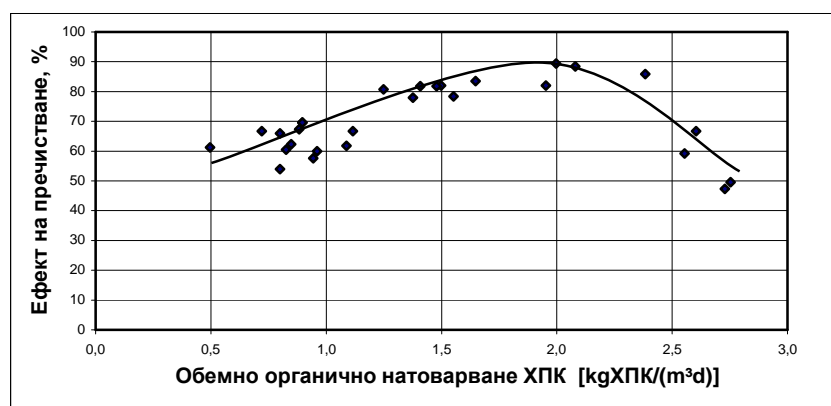


**Фигура 4.** Промяна на концентрацията по ХПК в отпадъчните води с времето

Концентрациите по ХПК на вход ПС варират между 31 и 149 mg/l при средна стойност 76 mg/l. Концентрациите по ХПК на изход са по-ниски от 20 mg/l.

Обемното органично натоварване е един от най-важните параметри при оразмеряването на потопени биофилтри. Биомасата във филтъра има определен капацитет за разграждане на замърсяващите вещества в зависимост от характеристиките на производствените отпадъчни води.

Фигура 5 показва зависимост между обемното органично натоварване  $V_R$  по ХПК и ефекта на пречистване, както и оптимална стойност на  $V_R = 2 \text{ kgXПК} / \text{m}^3\text{d}$ .



**Фигура 5.** Зависимост между обемното органично натоварване по ХПК и ефекта на пречистване

### 3.2. Текстилна промишленост

Текстилната промишленост се характеризира с различни специфични процеси, които заедно с използваните химични вещества формират специфични потоци производствени отпадъчни води. Разграничават се производствени отпадъчни води с високо органично замърсяване, с ниско органично замърсяване, но силно оцветени, и отпадъчни води с високо съдържание на соли.

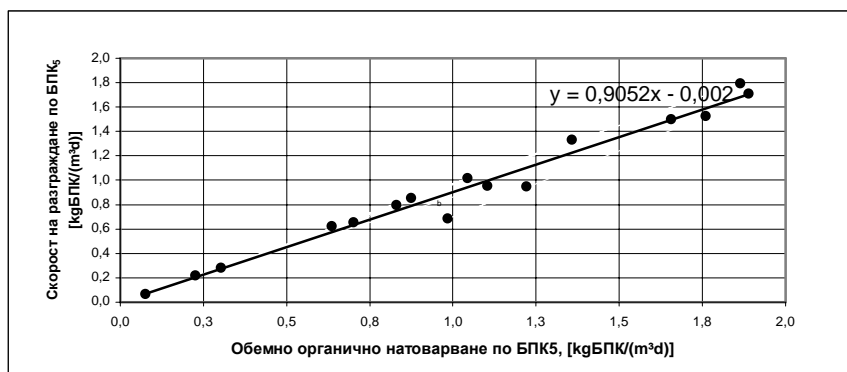
Цветът е специфичен проблем причинен, поради използването на багрилни вещества. Често замърсяващите вещества в производствените отпадъчни води от текстилната промишленост са биологично неразградими, биологично неотстраними и в някои случаи токсични. Нормите за допустими емисии от текстилната промишленост в Германия са представени в таблица 3 (Abwasserverordnung, 2004).

**Таблица 3.**

Параметър		
ХПК	mg/l	160
БПК <sub>5</sub>	mg/l	25
Общ азот	mg/l	20
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	10
Общ фосфор	mg/l	2

Резултати от биологично пречистване с потопени биофилтри показват, че при концентрации по ХПК на вход ПС около 1500 mg/l, обикновено се достигат концентрации на изход по-ниски от 150-200 mgXПК/l.

На фиг. 6 е представена линейна зависимост между обемното органично натоварване по БПК<sub>5</sub> и скорост на разграждане по БПК<sub>5</sub>. Това показва, че подаденото натоварване не е достигнало своята прагова стойност, както и възможностите на процеса да поеме широк обхват органичен товар. Също така няма лимитиращи условия в системата, като например липса на разтворен кислород, наличие на токсични вещества или липса на биогенни елементи.



**Фигура 6.** Зависимост между обемното органично натоварване по БПК<sub>5</sub> и скоростта на разграждане

### 3.3. Химическа промишленост

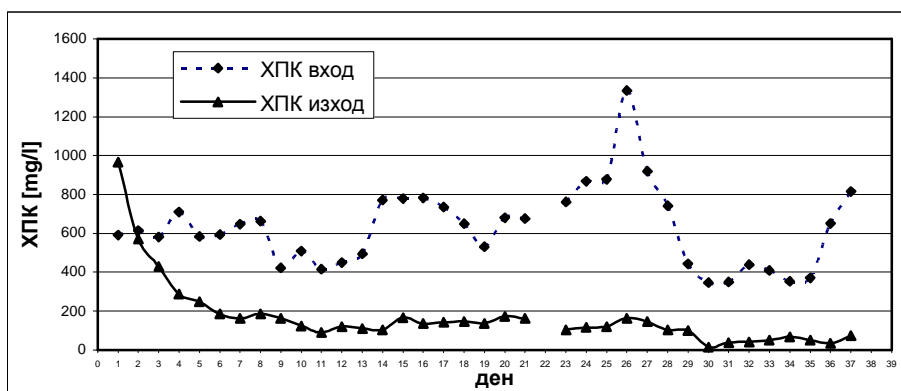
Производствените отпадъчни води от химическата промишленост съдържат разнообразни по произход замърсяващи вещества в зависимост от спецификата на технологичния процес и представляват смесица от биологично разградими вещества, летливи вещества, азотосъдържащи въглеводороди, трудно разградими органични съединения, неразтворени вещества, тежки метали, както и киселинно/основни води. До голяма степен тези компоненти могат само частично да бъдат разградени по биологичен път.

В таблица 4 са представени нормите за допустими емисии от химическата промишленост в Германия (Abwasserordnung, 2004).

**Таблица 4.**

Параметър		
ХПК	mg/l	75
Общ фосфор	mg/l	2
Общ азот	mg/l	50
Токсичност (G <sub>F</sub> )		2

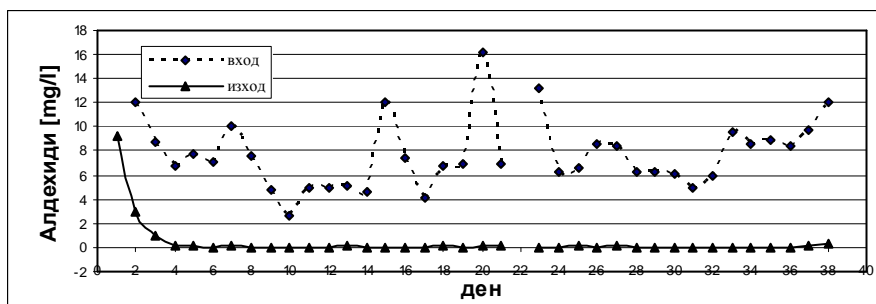
Методът на пречистване с потопени биофилтри е ефективна технология при третиране на производствени отпадъчни води от химическата промишленост. Тези биореактори имат по-добри резултати от биологично пречистване с реактори с активна утайка. Пускът в действие на ПС с потопени биофилтри е в рамките на 7 дни, през които биореактора достига почти напълно своя капацитет (фиг. 7). Това е гаранция за бързото акумулиране на специализирани микроорганизми върху филтърния материал.



Фигура 7. Промяна на концентрацията по ХПК в отпадъчните води с времето

Концентрациите по ХПК на изход ПС достигат бързо стабилни стойности, по-ниски от 200 mg/l. Резултатите демонстрират възможностите на системата да поеме високи върхови натоварвания.

Успешно намаляване на емисиите от алдехиди в производствени отпадъчни води от химическа инсталация е представено на фиг. 8. Концентрациите на вход ПС варират между 4 и 16 mg/l. В биореактора съдържанието на алдехиди се отстранява независимо от високия върхов товар на вход ПС.



Фигура 8. Промяна на концентрацията на Алдехиди в отпадъчните води с времето

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В този доклад бяха дискутирани технологичната схема и опита от инсталирани нови системи реактори с потопени биофилтри за аеробно биологично пречистване на отпадъчни води от различни промишлени дейности.

Тази технология демонстрира редица предимства пред реакторите с активна утайка: малко изисквана площ за тяхното инсталиране, ниски експлоатационни разходи, много добър пречиствателен капацитет, като резултат от акумулиране на специализирани микроорганизми.

Резултатите доказват, че потопените биофилтри са надеждна и ефективна технология, изключително подходяща за третиране на производствени отпадъчни води от промишлени инсталации в Европейските страни, които са интегрирали или предстои да интегрират директива 96/61/ЕС за комплексно предотвратяване и контрол на промишленото замърсяване.