



**ХИМИКОТЕХНОЛОГИЧЕН И
МЕТАЛУРГИЧЕН УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛТЕТ ПО ХИМИЧНО И СИСТЕМНО
ИНЖЕНЕРСТВО**

КАТЕДРА „Инженерна екология“

**Специалност: „Инженерна екология и опазване на околната
среда“**

ДИПЛОМНА РАБОТА

Тема:

**ЕФЕКТИВНОСТ НА ПРЕЧИСТВАНЕ НА ОТПАДЪЧНИ
ВОДИ В ПСОВ – БАТАНОВЦИ**

Образователно-квалификационна степен: Бакалавър

Дипломант: Десислава Руменова Накова, ЕК0502

Ръководител на катедра: доц. д-р инж. Силвия Лаврова

Научен ръководител: доц. д-р инж. Силвия Лаврова

София, септември, 2021 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

ПЪРВА ГЛАВА.....	3
Увод.....	3
1.1 Въведение.....	3
ВТОРА ГЛАВА.....	6
Цел и задачи на дипломната работа.....	6
2.1 Цел на дипломната работа.....	6
2.2 Задачи.....	6
ТРЕТА ГЛАВА.....	7
Литературен обзор.....	7
3.1 Биологично отстраняване на азот.....	8
3.1.1 Нитрификация.....	9
3.1.2 Денитрификация.....	10
3.2 Биологично отстраняване на фосфор.....	10
3.3 Отстраняване на азот и фосфор от отпадъчни води.....	12
3.4 Изводи.....	16
ЧЕТВЪРТА ГЛАВА.....	19
Описание на пречиствателна станция за отпадъчни води - Батановци.....	19
4.1 Разположение.....	19
4.2 Природогеографска характеристика на района.....	20
4.2.1 Релеф.....	20
4.2.2 Климат.....	20
4.2.3 Флора и фауна.....	21
4.2.4 Почви и минерални ресурси.....	22
4.3 Пречиствателна станция за отпадъчни води – Перник (ПСОВ – Батановци).....	22
4.4 Технологична схема на ПСОВ – Батановци.....	25
4.5 Описание на пречиствателния процес.....	26
4.5.1 Механично пречистване.....	27
4.5.2 Биологично пречистване.....	29
4.5.3 Инсталация за UV-обеззаразяване.....	31
4.5.4 Третиране на утайките.....	31
4.5.5 Анализи.....	32

ПЕТА ГЛАВА.....	33
Експериментална част.....	33
5.1 Обсъждане на резултатите, получени в процеса на работа	33
5.1.1 Химична потребност от кислород (ХПК) и биологична потребност от кислород (БПК).....	33
5.1.2 Отстраняване на азот от отпадъчните води.....	37
5.1.3 Отстраняване на фосфор от отпадъчните води.....	39
ШЕСТА ГЛАВА.....	40
Изводи	40
Препоръки	40
6.1 Използвана литература	41

ПЪРВА ГЛАВА

Увод

1.1 Въведение

Опазването на чистотата на водните ресурси и тяхното разумно и екологосъобразно използване е един от основните проблеми на съвременното човечество [1]. През 21 век проблемът „чиста вода“ се превръща в основен и жизненоважен за цялата планета.

Пречистването на отпадъчните води от домакинствата и от различните производства и промишлеността е от огромно значение. Попадането на замърсени води в почвата, реките, езерата, моретата и океаните води до сериозни екологични проблеми и много болести сред населението на Земята [2]. Човечеството отдавна е осъзнало необходимостта от това да пречиства водата, която използва и да рециклира отпадъците от своята дейност. За тази цел навсякъде по света се строят пречиствателни станции и се влагат огромни средства за опазване на природата и недопускане на замърсяване на водните източници.

В миналото, в селата и по-малките населени места всяка къща е имала септична яма, която е попивала мръсната вода с презумцията, че почвата донякъде я пречиства сама преди тя да достигне до подземните води. В много случаи дори замърсените води са се зауствали и направо в реките. Малките пречиствателни станции и изгребни септични ями вече са задължителна част от домакинството за всеки дом, който е построен извън големите градове.

Когато част от образуваните големи количества отпадъчни води се включват непречистени или недопречистени във водоприемниците те силно влошават тяхното качество. В резултат на това повърхностните води стават негодни или непълноценни за водоснабдяване, напояване и други стопански нужди.

При заустване във водоприемниците на отпадъчни води, съдържащи биогенни елементи (азот и фосфор) във високи концентрации се предизвиква явлението еутрофикация. Еутрофикация е процес, протичащ в екосистемата на един воден басейн, при който се повишава количеството на химическите вещества, участващи в минералното хранене на растенията, което на свой ред води до повишена биологична продуктивност. При този така наречен „цъфтеж на водата“ обилно се развиват някои видове водорасли и бурно увеличават биомасата си (над 5000g/m^3), в резултат на което водата се оцветява. Присъствието на тези елементи във водата води до бурно развитие на нова биомаса, която от своя страна затруднява както проникването на светлина, така и дифузията на кислород от въздуха в дълбочина на водния басейн. В резултат на това процесът фотосинтеза се нарушава и започва отмиране на част от растителността. Развиват се гнилостни процеси, които водят до поглъщане на разтвореният във водата

кислород. Настъпва вторично замърсяване на водата. Всичко това допринася за нарушаване на екологичното равновесие във водната екосистема. При биологичното пречистване на отпадъчните води от тях се отстраняват около 30% от азота и 50% от фосфора. За намаляване на еутрофикацията е необходимо да се осъществява допречистване на биологично пречистените отпадъчни води, наречено още пречистване III степен.

Така допречиствените битови и промишлени води могат да се използват повторно за промишлено водоснабдяване, напояване и други стопански цели. В процеса на пречистване се отделят значително количество утайки, които се стабилизират и обезвреждат чрез анаеробни и аеробни биохимични методи. Утайките съдържат ценни вещества за почвата и затова е целесъобразно да се използват за наторяване на селскостопански площи. Основните методи за допречистването са: механични, физико-химични, химични, биологични и др.

Съединенията на фосфора се отделя от водата предимно чрез химично утаяване, като се използват вар, железни или алуминиеви соли и други реагенти [3].

Количеството на азота в градските отпадъчни води се определя от вида и количеството на битовите и промишлените отпадъчни води. Азотът може да се отстрани по физико-химични и биологични методи. Прилага се биохимично окисляване в модифицирани биобасейни – нитрификатори. Образувалите се нитрати се редуцират при анаеробни условия до елементарен азот в специални съоръжения – денитрификатори, снабдени с устройства за разбъркване. В последните години денитрификацията се прилага в съчетание с нитрификацията за допречистване на отпадъчните води от азотни съединения.

Някои видове органични и минерални вещества оказват забавящо въздействие върху нитрификационния процес. Такъв ефект имат също свободният амоняк (NH_3), свободната азотна киселина (HNO_2), тежките метали Cr, Zn, Ni и др.

Битовите води са замърсени с органични вещества от растителен и животински произход, соли, киселини и елементи. Промислените отпадъчни води се образуват при използване на водата в технологичните процеси. Тези води са замърсени основно с отпадъци от производството – вещества от органичен, минерален и бактериологичен произход. При съвместно пречистване на битови и промишлени води, утайките могат да съдържат йони на тежки метали и други токсично действащи вещества над допустимите норми, което ги прави непригодни за селскостопански цели. Такива токсични вещества са феноли, цианиди, роданиди, катрано подобни съставки, йони на хрома, желязото, алуминия, цинка, арсена, кобалта, оловото и др.

Една част от хидроокисите на тежките метали се утаяват още в първичните утайтели, друга част се сорбират от микроорганизмите в биобасейните и се задържат във вторичните утайтели, но като цяло тежките метали се задържат в утайките от пречистване на водата [4].

Тежките метали не се разлагат и са биоакумулативни в растения, животни и околната среда. Това означава, че при хронично въздействие нивото им в организма се повишава с течение на времето, което увеличава токсичният им ефект и влияние върху локалните екосистеми. Тежките метали могат да преминат и към други видове по хранителната верига. Затова, живите организми са изложени на висок риск от дългосрочното и хронично въздействие на тежките метали.

Това налага по-нататъшно специфично третиране на утайките и недопускане на вторичното замърсяване на природата. Недопустимо е използването на такива утайки за наторяване. Обикновено обезводнените утайки се депонират на специални депа, като се предвиждат технически решения за недопускане на вторично замърсяване на подземните и повърхностните води, почвата и въздуха.

Прилагането на подходящи процеси за уплътняване, стабилизиране и обезводняване на утайките е от огромно значение за правилното им и ефикасно оползотворяване или обезвреждане [5]. Процесите на уплътняване и обезводняване трябва да бъдат съобразени с по-нататъшното им третиране, като оптимални резултати могат да се получат единствено при използването на подходящи за това входящи материали.

Най-добри налични техники за третиране на утайките от градските пречиствателни станции за отпадъчни води, използвани в България са следните:

- Стабилизиране на утайките
 - Анаеробно стабилизиране
 - Запръстяване (Изсушителни полета)
- Обезводняване
 - Утайтелни центрофуги
 - Филтър-преси
 - Мобилни версии

Успешното решаване на задачите по опазването на водните ресурси от замърсяване при най-икономични условия може да се постигне като преди всичко се намали количеството и замърсеността на отпадъчните води. Изграждането на градски и промишлени пречиствателни станции за отпадъчни води, прилагането на най-добрите налични техники вместо остарелите и правилната експлоатация на съоръженията за пречистване са едни от главните направления в борбата срещу замърсяването на водните течения и басейни.

ВТОРА ГЛАВА

Цел и задачи на дипломната работа

2.1 Цел на дипломната работа

Да се проучат процесите и съоръженията, включени в технологичната схема на ПСОВ – Батановци.

2.2 Задачи

Да се оцени ефекта на пречистване на отпадъчната вода в ПСОВ – Батановци спрямо показателите:

- Химическа потребност от кислород;
- Биохимична потребност от кислород;
- Амониев азот;
- Нитритен азот;
- Нитратен азот;
- Общ азот;
- Общ фосфор.

ТРЕТА ГЛАВА

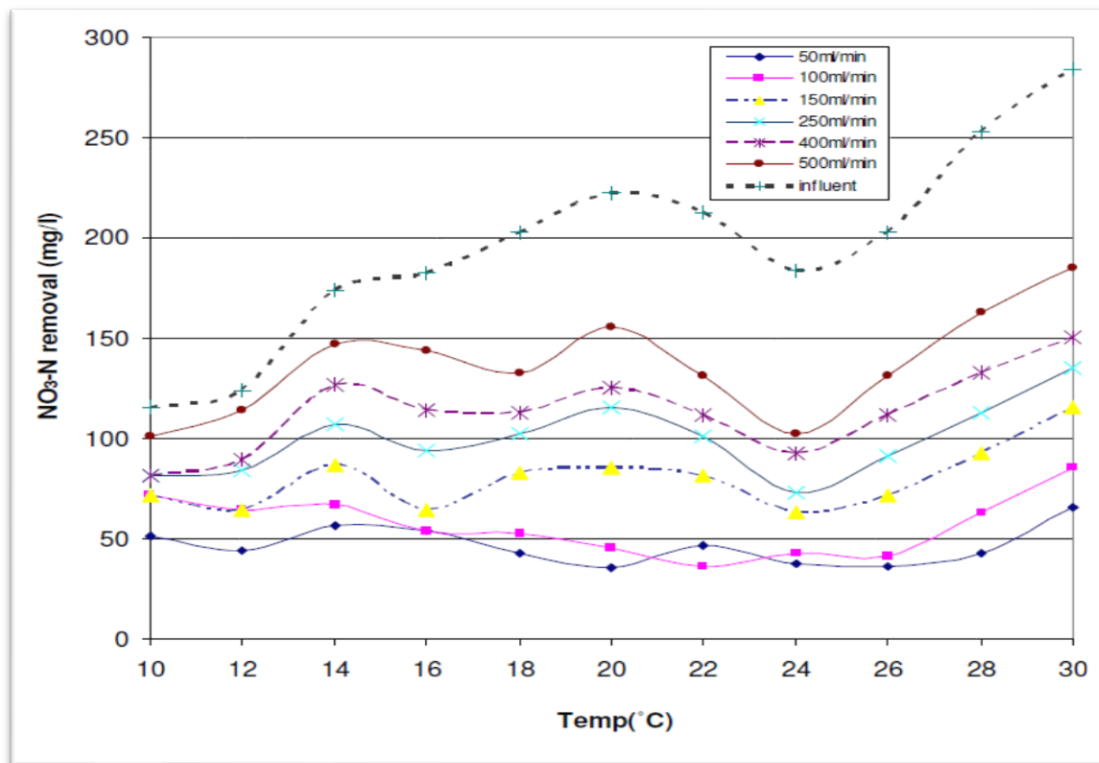
Литературен обзор

Основна опасност, засягаща човешкото здраве и най-вече здравето на бебетата до 6 месечна възраст, е наличието на нитрати в питейната вода [6]. Концентрации на нитрати над 10 mg dm⁻³ крият сериозен риск за здравето на децата. Опасността от приема на питейна вода със съдържание на нитрати възниква, когато нитратите се трансформират в нитрити в храносмилателната система в следствие на амоняка, намиращ се във водоизточника. По-високите концентрации на нитрати в питейната вода довеждат до рак на стомаха и пикочния мехур.

Съществуват три основни метода за премахване на нитрати от отпадъчните води: йонообмен, обратна осмоза и биологична денитрификация. За да се сведе до минимум наличието на хлорни материали като коагуланти при пречистването на водата от нитрати и за да се намалят негативните ефекти на нитратите и нитритите върху човешкия организъм се прилага процеса денитрификация за пречистване на отпадните води. Денитрификацията е процес на биохимично намаляване на нитратите и превръщането им в нитрити и свободен азот. Този процес е обратен на нитрификацията и се извършва само при недостиг на кислород. Характеризира се с това, че в следствие от него не се образуват странични токсични и вредни продукти.

Денитрификацията е най-разпространения метод за пречистване на отпадъчните води от нитрати [7]. Бактериите, отговорни за денитрификация са в състояние да използват нитрата като акцептор на електрони, като го превръщат в газообразен азот. По време на процеса електроните се прехвърлят от донор – обикновен органичен субстрат, в акцептор – нитрат или нитрит.

Един от основните фактори, които оказват влияние върху денитрификацията при пречистването на отпадъчни води е температурата. Ниските температури обикновено са с драстичен ефект върху бактериите – явление, характеризиращо всички биохимични системи. При по-ниски температури растежът на бактериите е силно забавен. Проучвания и експериментални опити показват, че при температура от 10 ° C развитието на бактерии е незначително в сравнение с температури от 20 ° C, 30 ° C [8]. Въздействие върху скоростта на протичане на процеса денитрификация се наблюдава при температури по-високи от 16 ° C. В заключение процесът денитрификация протича оптимално при по-високи температури. Изследванията показват, че при температура от 30 ° C ефективността от премахването на нитратите е 76,9 % (фиг. 1).



Фиг. 1. Отстраняване на NO_3-N в различни потоци чрез денитрификация.

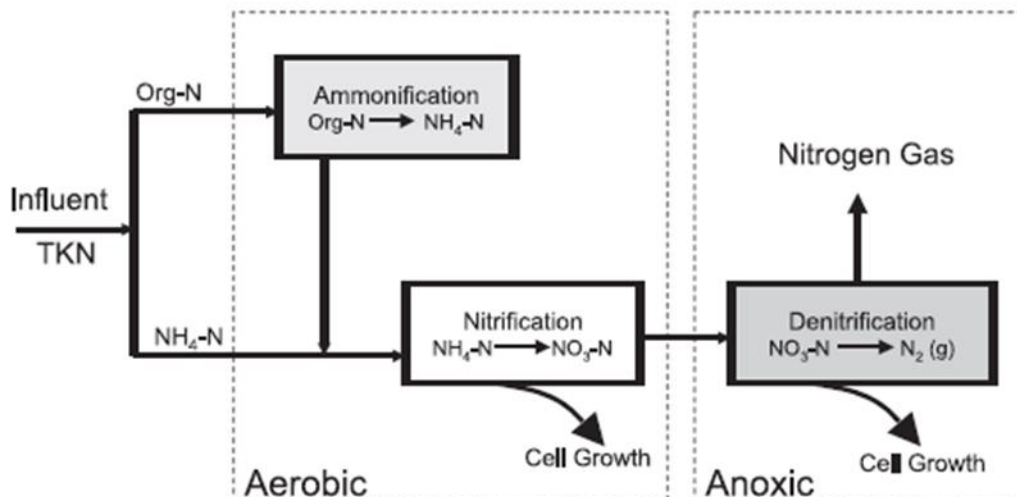
Друг основен фактор, оказващ влияние върху интензивността на извършване на процеса денитрификация е рН [8]. На база на експериментални изследвания учените доказват, че растежът на бактериалните клетки е в пъти по-малък при стойност на рН 5. Установено е, че процесът денитрификация протича по-интензивно при по-високи стойности на рН 6, 7 и 8.

Азотът и фосфорът са съществено важни елементи за растежа на микроорганизмите, използвани в пречистването на отпадъчните води [9]. Получената, от отстраняването на биогенни вещества клетъчна, маса съдържа 12 % азот и 2% фосфор. Биологично отстраняване на биогенни вещества се състои от два процеса:

- биологично отстраняване на азот
- биологично отстраняване на фосфор

3.1 Биологично отстраняване на азот

Ключовите процеси при биологичното отстраняване на азота са нитрификация и денитрификация (фиг. 2). Други, свързани с процеса, реакции са амонификация (преобразуване на азот-съдържащи органични съединения в амоняк) и поглъщане на азот за клетъчен растеж.



Фиг. 2. Биологично отстраняване на азот.

3.1.1 Нитрификация

Нитрификацията е процес на окисляване на амоняка в нитрити и нитрати. Основните организми, участващи в нитрификацията са *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Това са автотрофи (организми със самостоятелно хранене), които окисляват неорганични азотни съединения с цел получаване на енергия. Нитрификацията е силно зависима от следните фактори:

- **Време на задържане:** тъй като темпът на растеж на автотрофите е бавен в сравнение с хетеротрофите (БПК – отстраняващи организми), за надеждна нитрификация е необходимо по-продължително време на задържане. Времето на задържане е пряко зависимо от температурата на отпадъчните води.
- **Температура:** скоростта на процеса нитрификация се повишава с нарастването на температурата до определен момент (30 °C – 35 °C), след което намалява. Промяната на температурата от 20 °C до 10 °C понижава скоростта на нитрификацията с около 30 %.
- **Разтворен кислород:** необходимостта от кислород в процеса нитрификация е около 4.6 mg кислород на mg окислен NH₄-N. Когато концентрацията на разтворения кислород се понижи под 2 mg dm⁻³ за продължителен период, нитрификацията се инхибира.
- **Алкалност и рН:** в резултат на нитрификацията се унищожават 7,1 mg (CaCO₃) на mg окислен NH₄-N. Ако алкалността е нарушена, рН се понижава и това може да доведе до намаляване на скоростта на процеса нитрификация. Повечето пречиствателни станции работят в рН в диапазон от 6.8 - 7.4.
- **Инхибиторни съединения:** организмите се инхибират от някои тежки метали и органични съединения. Някои полимери, които се използват са също

инхибитори. Обикновено инхибирането е проблем, ако е налице заустване на значителни количества на промишлени води.

Нитрификацията води до превръщане на азота от редуцирана форма (амоняк) в окислена форма (нитрат). Този процес сам по себе си е важен механизъм за отстраняване на азота.

3.1.2 Денитрификация

За да се постигне цялостно отстраняване на азота, след процеса нитрификация трябва да се приложи процеса денитрификация. Денитрификацията е процес на редуциране на нитрата в азотен газ от някои хетеротрофни бактерии (микроорганизми, които получават готови органични съединения). Изискванията на процеса са наличието на комбиниран кислород (нитрат и нитрит) и липсата на свободен или разтворен кислород. При денитрификация се постига възстановяване на 3,6 mg алкалност като CaCO_3 и на 2,9 mg кислород на mg $\text{NO}_3\text{-N}$. Следователно, чрез комбинация от нитрификация и денитрификация се постига частично възстановяване на алкалността и концентрацията на свободен кислород.

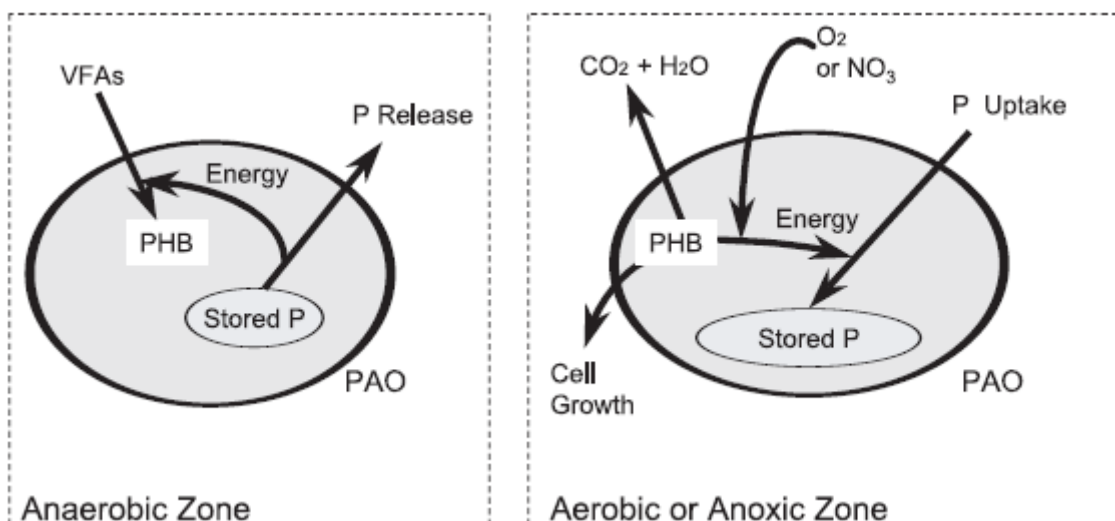
Скоростта на извършване на процеса денитрификация, която определя количеството денитрифицирани нитрати, преди всичко се влияе от следните фактори:

- *Наличие на бързо-биоразградима органична материя (ББОМ):* хетеротрофите използват органична материя като източник на енергия и въглерод. Повишената наличност на ББОМ спомага за по-висока ефективност на денитрификацията.
- *Температура:* по-високата температура на отпадните води води до увеличаване на микробната активност, което от своя страна води до по-висока скорост на процеса денитрификация. Промяна на температурата от 20 °C до 10 °C ще намали скоростта на денитрификацията до около 75%.

3.2 Биологично отстраняване на фосфор

Биологичното отстраняване на фосфор (фиг. 3) се изразява в задържането на фосфор от специализирани аеробни хетеротрофи наречени РАОs. *Acinetobacter* е най-широко разпространения РАО. Съдържанието на фосфор в биомасата може да бъде по-високо от 10% от теглото, но обикновено е в диапазона от 3 до 5 на сто. Основни характеристики на процеса, които благоприятстват избора на РАОs:

- Анаеробни зона с адекватна ББОМ – по-специално: летливи мастни киселини (ЛМК)
- След аеробна зона
- Рециклиране на фосфор – връщане на утайка в анаеробната зона



Фиг. 3. Биологично отстраняване на фосфор.

Биологичното отстраняване на фосфор е микробен процес широко използван за премахване на фосфор от отпадъчни води, за да се избегне еутрофикацията на водните басейни [10]. Процеса на биологично отстраняване на фосфор предоставя екологична алтернатива на отстраняването на фосфор чрез химично утаяване. Първоначално организмите в отпадъчните води са наричани „G бактерии“. В последствие се приема термина „гликоген-натрупващи организми“ (GAOs).

Съществуват няколко фактора, които оказват значително влияние върху растежа на GAOs при биологично пречистване на отпадъчни води:

- *Температура:* Оптималната температура на растеж е от 20 до 38 °C. Вследствие на това, когато температурата на отпадъчните води намалява сезонно, количеството GAOs намалява и ефективността на отстраняването на фосфор нараства.
- *pH:* Ниската стойност на рН ($pH \leq 7,25$) е благоприятна за растежа на микроорганизмите.
- *Възраст на утайките:* В отпадъчни води с температура от 20 °C, отстраняването на фосфора е ефикасно, когато възрастта на утайките не превишава 10 дни.
- *Увеличеното съдържание на глюкоза:* стимулира растежа на GAOs.

Резултатите от изследванията показват, че процеса на биологично отстраняване на фосфор от отпадъчни води се влошава по време на топлите сезони от годината, когато температурата на отпадъчните води надвишава 20° C. Повишаването нивото на гликоген в активната утайка е сигнал за некачествено пречистване на отпадъчните води.

Проведено е изследване за биологично отстраняване на фосфор от отпадъчни води в новооткрит завод, изучаващо влиянието на температурата и използването на разтворени вещества (Dissolved) като източник на въглерод при фосфор-задържащите

организми [11]. Успешното биологично отстраняване на биогенни елементи в пречиствателните станции се основава на редица параметри. Късо-верижните летливи мастни киселини са подходящи източници на въглерод за отстраняване на биогенни елементи. Фосфор-задържащите микроорганизми могат да използват летливи мастни киселини (ЛМК) директно под аноксично състояние без хидролиза и ферментация. В допълнение, ЛМК могат значително да ускорят процеса на биологично отстраняване на фосфор. Разграждането на утайките води до повишаване концентрацията на химичната необходимост от кислород, както и ЛМК. Температурата е основен фактор, който влияе върху всички живи организми. Тя оказва влияние върху размера на ензимно катализираните реакции и скоростта на дифузия на субстрат в клетките. В процесите на биологично отстраняване на фосфор, разнообразното съдържание на бактерии е силно зависимо от температурата. Температурата е с изключително значение за растежа не това разнообразие от микроорганизми. Резултатите от проведеното изследване показват значително влияние на използването на разтворени вещества и на определена температура на отпадъчната вода при отстраняването на фосфор. Стойностите на калибрираните стехиометрични и кинетични параметри при 17 ° C и 23 ° C, показват важната зависимост на допълнителните източници на въглерод от разградената утайка DS и температурата. Извършването на процеса на отстраняване на фосфор от отпадъчни води показва максимална ефективност при температура от 17 ° C.

Все по-голям брой ПСОВ ще се изисква да постигнат отстраняване на биогенни елементи, за да се защити водната екосистема. Основните цели на отстраняването на биогенните вещества е да се спазва нормативната уредба, намаляване на разходите, оптимизация на процеса и създаване на безопасно и чисто работно място. Постигането на тези цели изисква правилното проектиране, експлоатация и управление.

3.3 Отстраняване на азот и фосфор от отпадъчни води

Фосфорът е жизненоважен елемент за всички живи организми, но световните резерви на фосфатни скали са на изчерпване. Венг и колектив проучват ефективен метод за възстановяване на фосфор от пепел от канализационни утайки чрез утаяване до магнезиево-амониев фосфат [12]. Резултатите от изследванията показват, че повече от 95% от общото съдържание на фосфор се извлича от пепелта на канализационните утайки чрез прилагане на 0.5 mol/l HCl към 50 ml/g в съотношение течност/твърдо вещество. Въпреки че по време на извличането на фосфор се наблюдава излугване на тежки метали, катион-обменната смола (колофон) ефективно отстранява тежките метали от богатия на фосфор разтвор. Ортогонални тестове показват, че оптималните параметри за утаяването на фосфор като струвит (магнезиево-амониев фосфат) са моларно съотношение Mg:N:P тъй както 1.6:1.6:1 и рН 10.0. Рентгенов дифракционен анализ също потвърждава образуването на струвит. Допълнителни изследвания показват, че получената утайка има високо съдържание на струвит (97%), висока бионаличност на фосфор (94%) и ниско съдържание на тежки метали, което я прави тор с високо качество.

Изследвано е влиянието на фосфорни фракции в дънните утайки върху отстраняването на фосфатите в полуестествени системи, явяващи се трети етап на биологично пречистване на отпадъчни води. То е проведено в езера за допречистване в Сварцево и повърхностно течащи влажни зони в Жарновец в Полша [13]. Те са били построени като трети етап на конвенционална пречиствателна станция за механично и биологично пречистване на отпадъчни води. Тези системи се използват за подобряване качеството на вече пречистените отпадъчни води. В тези полуестествени системи се отстраняват неразтворени вещества, органични вещества, както и азот, но има проблем с отстраняването на фосфора. Целта на това изследване е да се определи възможността за отстраняване на фосфора от пречистените отпадъчни води, както и характеристиките на дънните утайки по отношение на фосфорните фракции и тяхната трансформация в резултат на сезонните промени. Общата ефективност на отстраняване на фосфор от отпадъчни води в Сварцево е само 23,7%, докато в Жарновец общата концентрация на фосфор във вече пречистените води се повишава. В следствие от проучванията е установено, че фосфорът в езерата свързан с органичната материя (NaOH-P частица) има най-голямо въздействие върху процесите на отлагане и освобождаване на фосфора от утайките в отпадъчните води, докато в повърхностно течащи влажни зони с най-голямо значение е фосфорът, който е слабо абсорбиран върху повърхността на частиците (NH₄Cl-P частица) и свързан с желязо (Fe-P частица). Установено е, че утайките от полуестествените системи са богат източник на фосфор, който се усвоява директно от растенията. Относително ниската концентрация на тежки метали и високите концентрации на азот и подвижни фосфорни частици показват, че след хигиенизацията анализиранияте утайки потенциално могат да бъдат използвани, като начален продукт за производството на тор.

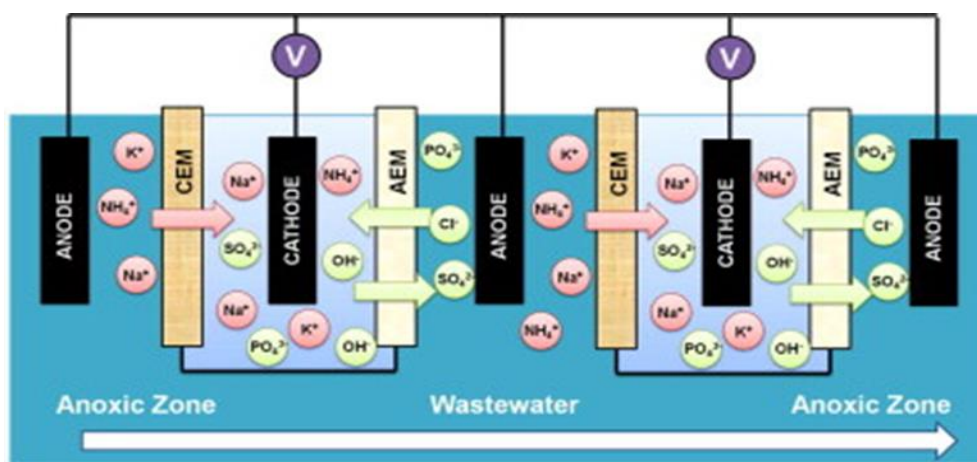
Според публикация от декември 2013 година е разработен нов интегриран биореактор с периодична въздушна циркулация за едновременно отстраняване на азот и фосфор от отпадъчни води. В него циркулацията на смесената течност между зона на смесване и зоната на аерация се реализира чрез мощно аериране, след което в зоната на смесване се реализира анаеробна/анокси био-среда чрез периодична циркулация [14]. Едновременно отстраняване на азот и фосфор се получава чрез процес на засилено денитрифицирано отстраняване на фосфор. Чен и колеktiv изследват способността на реактора за отстраняване на азот и фосфор, също така анализират отстраняването на замърсители и механизма за пренос в един операционен цикъл. Експерименталните резултати показват, че концентрацията на химичната потребност от кислород във входния поток е 642,1 mg dm⁻³, общият азот е 87.4 mg dm⁻³ и фосфатите е 12.1 mg dm⁻³, а средните ефекти на пречистване – относно тези показатели са съответно 96.4%, 83.2% и 90.5%, при хидравлично време на престой от 22 часа и време на един операционен цикъл от 185 минути. Проучванията показват, че отделянето на зоната на аерация от зоната на смесване и периодичното движение на смесената течност между двете зони, предоставят различни биологични среди, които гарантират появата на многофункционални микробни реакции.

Отпадъчни води, съдържащи хранителни вещества (NH_4^+ , NO_3^- и PO_4^{3-}), се определят като основните причинители на еутрофикация в естествените водни басейни. Ето защо отпадъчните води трябва да се пречистват подходящо, преди да бъдат зауствени в естествени водни басейни [15]. Микроводораслите играят важна роля по време на пречистването на битовите отпадъчни води. На база на направени тестове за способността да премахват нитратен азот (NO_3^- -N) и ортофосфат (PO_4^{3-} -P) от битовите отпадъчни води, се използват свободни клетки на 5 вида микроводорасли. Като подходящи за отстраняване на хранителните вещества са избрани микроводорасли с най-добър клетъчен растеж. Резултатите от проучванията на Сара и колектив показват, че *Chlorella sp.* има по-висок процент на N-поглъщане (84,11%), а *Chlamydomonas sp.* и *Chlamydomonas sp.* имат по-висок процент на P-поглъщане (100%) в битовите отпадъчни води в сравнение с други видове. Също така в продължение на 2 седмици при всеки експеримент се наблюдава, че отстраняването на азот и фосфор настъпва в първите 4 дни.

Други съвременни методи за отстраняване на азот са обект на проучване на Венг и колектив. Те използват реактор с прекъснато действие, за да постигнат съвременно отстраняване на азота чрез едновременни процеси на анаеробно амониено окисляване и денитрификация. По време на целия експеримент се наблюдава растеж на микроорганизмите, участващи в процеса на анаеробно амониено окисляване. Изследванията показват, че отстраняването на азота се подобрява в резултат на намаляването на нитрата, а максималната ефективност на отстраняване на общия азот от 97,47 % (ниско ниво на отстраняване на азот, включително амониак, нитрити и нитратен азот) се получава при съотношение C/N = 2. Въпреки това, последователното увеличаване на органичната материя води до ниското ниво на отстраняване на азот, което се дължи на потискането на анаеробното амониено окисляване. Активността на анаеробното амониено окисляване напълно се възобновява веднага след спиране дозирането на органична материя [16]. Резултатите показват, че размножаването на гена на бактериите, участващи в процеса на анаеробно амониено окисление, не намалява значително по време на инхибирането, което би могло да обясни бързото възстановяване.

Управлението на хранителните вещества е с ключово значение за пречистването на отпадъчните води. Отстраняването на хранителни вещества се свързва обикновено със значителен енергиен и икономически разход. Разработена е нова биоелектрохимична система (R^2 -BES) за отстраняване и евентуално възстановяване на хранителни вещества от отпадъчни води (фиг. 4). Предимствата на R^2 -BES, получаваща био-електричество при окисление на органични съединения, са едновременно извеждане на амониените йони от отпадъчните води и използване на хидроксидните йони, получени от катодната реакция, като среда за обмен на фосфатни йони от отпадъчните води. Ли и колектив доказват, че при приложено напрежение от 0.8 V, R^2 -BES отстранява 83.4 ± 1.3 % от амониения азот и 52.4 ± 9.8 % на фосфата, значително по-високи стойности от тези ($3.6 \pm 3.7\%$ и $21.1 \pm 2.6\%$) при отворена верига. Прилагането на външно напрежение стимулира понижаването на концентрацията на ХПК и отстраняването на хранителни

вещества [17]. Резултатите от проучването са доказателство за това, че R²-BES може да се използва за отстраняване и възстановяване на хранителни вещества чрез подходящото ѝ интегриране в съществуващите вече пречиствателни съоръжения.



Фиг. 4. Биоелектрохимична система R²-BES.

В лабораторни условия са изследвани материали на циментова основа за определяне на тяхната способност да отстраняват фосфат от отпадъчни води. Резултатите от експериментите, проведени от Чен и колектив показват, че адсорбционните изотерми на Лангмюир и Фройндлих са подходящи за описване на адсорбционните характеристики на тези материали. Доказва се, че сред четирите вида филтърни материала циментовата смес А (хоросан) има най-високата стойност на максимална адсорбция (30.96 mg g^{-1}). Енергията на свързване на фосфора (KL) и адсорбционният капацитет (K) показват положителна корелация с общото съдържание на Al_2O_3 и Fe_2O_3 във всеки хоросан. Максималното количество на адсорбирания фосфор (Q_m) и интензивността на адсорбцията ($1/n$) показват положителна корелация със съдържанието на CaO във всяка смес (хоросан). За три от тези смеси нивата на отстраняване на фосфор надхвърлят 94% при концентрации на фосфор между от 20 до 1000 mg dm^{-3} . Основните механизми са изследвани чрез сканираща електронна микроскопия с полева емисия в съчетание с енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия и рентгенова дифракция [18]. Резултатите показват, че отстраняването на фосфат е предимно следствие от механизъм на утаяване в допълнение към слабите физически взаимодействия между повърхността на адсорбционните филтърни материали и металните соли на фосфата. Използването на материали на циментова основа под формата на прах е обещаващо за разработването на икономически ефективна и екологично устойчива технология за отстраняване на фосфора и за пречистване на отпадъчните води.

3.4 Изводи

Водата не е просто търговски продукт, а по-скоро наследство, което следва да бъде опазено, защитено и третирано като такова. Чистата питейна вода на Земята става все по-малко и все по-ценна, а от Човечеството зависи тя да не изчезне съвсем. Изхвърлянето в околната среда на използваната и замърсена вода без предварително да бъде пречистена е безотговорно отношение към природата и здравето на човечеството. Учени сериозно се опасяват, че ако не се спре с екологичното замърсяване на планетата ни, може да дойде ден, в който антибиотиците да са безсилни и болестите, които са резултат от безотговорното отношение на човека към природата, просто да го погубят.

Опазването на водните ресурси е поставено като основна задача в световен мащаб. От направения по-горе литературен обзор се вижда високата активност и стремеж за постигането на тази цел. Свидетелство за това са множеството и най-разнообразни експерименти и проучвания, които се провеждат. Учените акцентират върху ефективни методи за отстраняване на биогенните елементи. При отстраняването на азота и фосфора от отпадъчните води се достига съответно максимален ефект на пречистване от 97.45% и 100%. За едновременното отстраняване на азот и фосфор изследователите използват клетки на микроводорасли, биоелектрохимични системи и мембранни биореактори, а за да премахне общия азот - реактор с прекъснато действие. Разглеждат се варианти за оползотворяване на утайките в производството на тор, след отстраняване на фосфора. Изследвани са и материали на циментова основа, използващи се за отделяне на фосфор. Използват се селскостопански (оризови люспи) и промишлени отпадъци, като алтернатива на активния въглен, който е скъп адсорбент. Провеждат се и опити с използването на магнитни наночастици за пречистването на отпадъчните води от Cu, Ni и Zn. Развитието на технологиите от своя страна значително допринася за ускоряването на процеса на откриване и разработване на по-евтини, по-ефективни и по-щадящи природата методи за пречистване.

В правната система на Република България въпросът за държавното управление на водите намира своето първо място още в Конституцията на страната, по-точно в чл. 18, ал.1 от КРБ, където наред с подземните богатства, водите „определени със закон” са дефинирани като обект на изключителната държавна собственост. Това е основна отправна точка за по-нататъшната разработка и развитие на нашето законодателство в областта на водите и тяхното управление.

Главният закон свързан с опазването на околната среда и в частност водите е Закона за опазване на околната среда. На следващо място в йерархията на нормативните актове идва Закона за водите като основополагащ за водния сектор нормативен акт, който има задачата да уреди подробно всички най-важни групи правоотношения, свързани с опазването и използването на водите в Република България.

Тенденциите в развитието на правната рамка на водния сектор може да се обобщят, както следва:

Първо, в рамките на правната ни система е налице специализирана правна уредба, която регулира отношенията във водния сектор и дейностите по управление на водите, а в системата на държавната администрация за управлението и развитието на водния сектор е ангажирана широка структура от административни органи.

Второ, във външен план съгласно Договора за присъединяване и статута ни на страна членка на Европейския съюз, България е поела пътя на транспониране и прилагане на изискванията и рамката на европейското законодателство, които в областта на водите и опазване на околната среда се развиват непрекъснато и ни задължават да следваме тези насоки на развитие. Това изисква такава реформа и реорганизация на водния сектор, която може да гарантира основата и изпълнението на тези изисквания в определени близки срокове.

Такъв пример е НАРЕДБА № 7 от 8.08.1986 г. за показатели и норми за определяне качеството на течащите повърхностни води, която е отменена на 05.03.2013г. с НАРЕДБА № Н-4 от 14.09.2012 г. за характеризирание на повърхностните води.

Налага се и транспониране на директиви и решения на Европейския парламент в областта на водите и ключови нормативни актове. Малка част от тях са:

- ДИРЕКТИВА 2000/60/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 23 октомври 2000 година за установяване на рамка за действията на Общността в областта на политиката за водите транспонирана в ЗАКОН за водите (обн., ДВ, бр. 67 от 27.07.1999 г., в сила от 28.01.2000 г., посл. изм., бр. 98 от 14.12.2010 г., в сила от 1.01.2011 г.).
- ДИРЕКТИВА НА СЪВЕТА от 8 декември 1975 година относно качеството на водите за къпане (76/160/ЕИО) (Дата на прекратяване на действието: 31/12/2014 транспонирана в НАРЕДБА № 7 от 8.08.1986 г. за показатели и норми за определяне качеството на течащите повърхностни води (обн., ДВ, бр. 96 от 12.12.1986 г., в сила от 12.12.1986 г.), съответно в заменящата я НАРЕДБА № Н-4 от 14.09.2012 г. за характеризирание на повърхностните води.
- ДИРЕКТИВА 91/271/ЕИО НА СЪВЕТА от 21 май 1991 година за пречистването на градските отпадъчни води транспонирана в НАРЕДБА № 6 от 9.11.2000 г. за емисионни норми за допустимото съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти (обн., ДВ, бр. 97 от 28.11.2000 г., изм. и доп., бр. 24 от 23.03.2004 г., в сила от 23.03.2004 г.).

Основната причина за непрекъснатото обновяване на Закона за водите и нормативните актове е и присъединяването на България към стремежът за постигане на главната всеобща цел, а именно – опазването на водните ресурси в световен мащаб.

Действащата национална правна система и развиващото се европейско законодателство - определят изходната база за по-нататъшно развитие на водното ни законодателство.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

Описание на пречиствателна станция за отпадъчни води - Батановци

4.1 Разположение

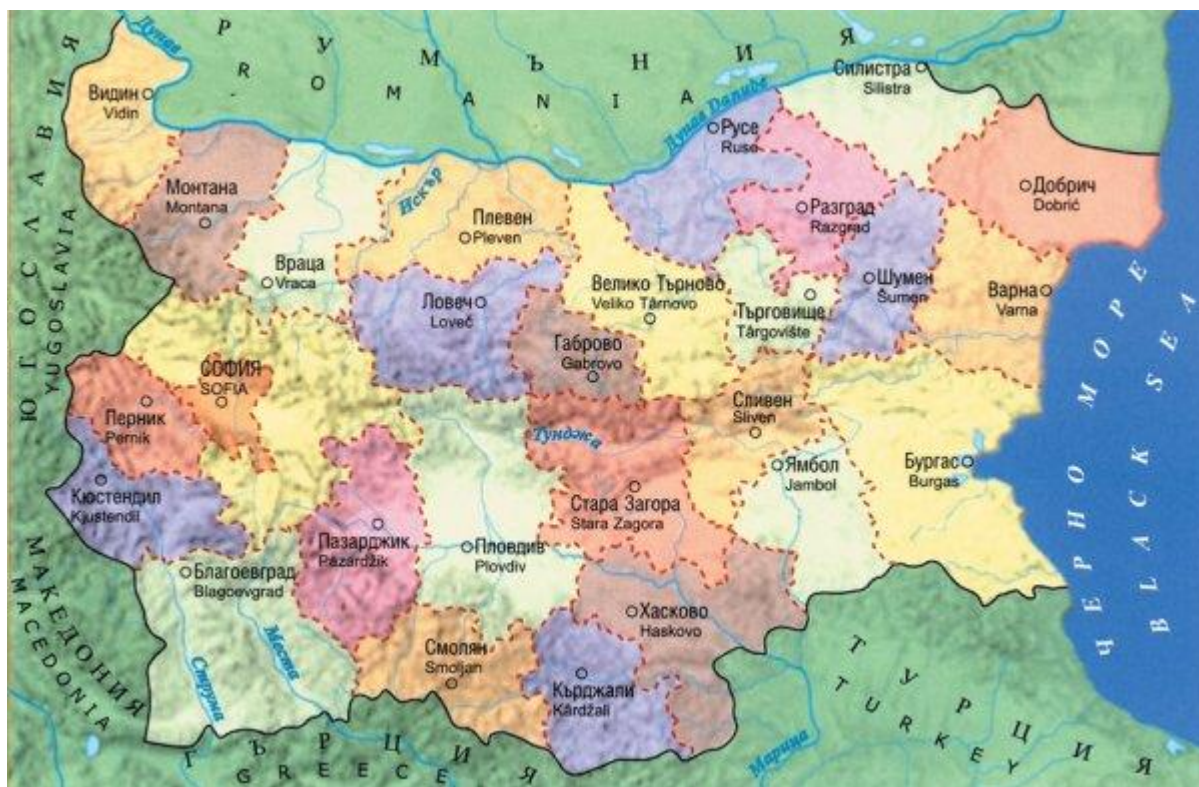
Община Перник е разположена в североизточната част на област Перник. Част от нейната територия попада в историко-географската област Краище и в частност в по-малката историко-географска област Граово. С площта си от 484 213 km² заема 3-то място сред 6-те общини на областта, което съставлява 20.22% от територията на областта. Границите и са следните:

- на югозапад – община Радомир;
- на запад – община Ковачевци;
- на северозапад – община Брезник;
- на север – община Божурище, Софийска област;
- на североизток – Столична община, Софийска област;
- на югоизток – община Самоков, Софийска област.

Общината се състои от 24 населени места, от които 22 села и два града – гр. Перник и гр. Батановци. В Пернишка община живеят 97 736 граждани с постоянен адрес и 92 379 с настоящ адрес. От тях в гр. Перник с постоянен адрес са 83 334 и с настоящ адрес 75 568, в гр. Батановци с постоянен адрес са 2 145 и с настоящ адрес 2 080 [19].

Перник е град в Западна България, административен център на област Перник и община Перник. По последни данни на НСИ към 31 декември 2018 г. населението му наброява 73 111 души, което го прави най-многочисления град в Западна България след столицата София и го нарежда на 11-то място в страната [20].

Разположен е на 25 km югозападно от София, на 59 km североизточно от Кюстендил, на 170 km от Пловдив, на 534 km от Варна, на 409 km от Бургас, на 70 km северно от Благоевград. Градът е стопански, културен и административен център на общината.



Фиг. 5. Карта на Република България.

4.2 Природогеографска характеристика на района

Град Перник е разположен в Пернишката котловина с надморска височина между 700 и 850 m, дължина 22 km, заобиколен от планините Витоша, Голо Бърдо и Люлин. През града тече река Струма, която извира южно от Черни връх и е сред най-големите реки в страната, с обща дължина от 290 km.

Пернишката община е разположена в едноименната котловина, която се отличава със силно развито подножие и с преобладаващо развитие на високи тераси. Нейното дъно има хълмист характер и се отводнява от реките Струма и Конска.

От север и от изток границата на котловината се очертава от южните склонове на Люлин и западните склонове на Витоша, разделени от Владайското дефиле. От запад се ограничава от Брезнишката котловина и Голо бърдо, разсечена от река Струма под местността Кракра [21].

4.2.1 Релеф

Релефът на котловината е разнообразен. Южните склонове са полегати и голи, докато северните са по-стръмни и обрасли с растителност.

4.2.2 Климат

Перник е в умерено-континенталната климатична област, като само Витошкият склон е в планинската климатична област. Климатичните условия се определят от сравнително голямата средна надморска височина – 750 m.

Характерна черта на климата са приземните температурни инверсии, особено през зимните месеци. Пролетта настъпва сравнително късно – към края на март и началото на април. Средната пролетна температура е +9 °С. За лятото средната сезонна температура е 19.9 °С. Най-горещият месец е юли – средномесечна температура 29.6 °С. Абсолютният температурен максимум е 38.1 °С. Есента е по-топла от пролетта, средната сезонна температура е 10 °С. При западни и югозападни ветрове, които са преобладаващи, по северните склонове на Голо бърдо се наблюдава фьон, който е най-типичен през пролетта. Сравнително голям е броят на дните с мъгли през годината – 28.8 дни. През топлото полугодие те са 2.5, а през студеното – 26.3 дни.

Валежите имат подчертано континентален характер. Те играят голяма роля в процесите на замърсяване и самоочистване на атмосферата от замърсители. Тяхното количество, заедно с относително ниските летни температури, е причина за по-слабите летни засушавания, отколкото в низините в Северна и Средна България. Средногодишната сума на валежите е 550 – 606 mm, като средните валежи по сезони са както следва: пролет – 162, лято – 165, есен – 152, зима – 128 mm. Най-влажен месец е май, а най-малко валежи падат през март. Относително високата сума на валежите е положителен фактор за само очистването на атмосферата, но намалява разсейването и довежда до значително по-високо натоварване на почвите и повърхностните води.

4.2.3 Флора и фауна

Климатичните фактори, разнообразието на релефа и почвите на територията на общината създават условия за развитието на разнообразна растителност. Тя спада към средноевропейския тип. Естествено растящата широколистна растителност е представена предимно от дъб и бук, разпространени до голяма степен в по-високите части на Люлин и Витоша. В по-ниските части се срещат клен и топола.

Преобладаваща част от флората е унищожена от антропогенната дейност, предимно от рудодобива, строителството, замърсяването на атмосферата, усвояването на териториите за селско стопанство и изграждането на рекреативни бази.

Животинските видове в Перник се отнасят към евросибирските и средноевропейските зоогеографски елементи. Поради много голямата степен на урбанизация и индустриализация на Пернишкия район са настъпили сериозни изменения в условията на обитаване на животните. Множество дребни индивиди са унищожени, други са напуснали естествените си местообитания, а трети са останали да живеят при променените условия - в стресова среда, изобилстваща с вредни вещества, които водят до постепенното им заболяване. От птиците се срещат: селска лястовица, яребица, сойка, бял щъркел, качулата чучулига, домашно и полско врабче. От бозайниците: сърна, благороден елен и лопатар, диво прасе, мечка, вълка, лисица, таралеж и др. Белият щъркел и таралежът са защитени видове [22].

4.2.4 Почви и минерални ресурси

Преобладават канелените почви и излужените смолници. Равнинната част на котловината е покрита с плодороден чернозем, по поречието на река Струма има алувиални наслойки. В периферията на котловината са образувани обширни пролувиални шлейфове. Мощността на хумусния хоризонт варира от 10 до 40 см. С изключение на смолниците останалите почви притежават благоприятни физически свойства – рохкав строеж, висока порьозност, добра аерация. Като цяло почвените условия в община Перник са благоприятни за отглеждане на зърнени, фуражни и технически култури, зеленчуци и трайни насаждения.

По времето на терциера Пернишката котловина е била дъно на езерен басейн, в който са се наслоили мощни пластове. От този геоложки период датират и запасите от кафяви въглища в района, които предопределят насоката на икономическото развитие на общината. Кафявите въглища от Пернишкия въглищен басейн се експлоатират от „Мини Перник“ АД. Средногодишното производство е близо 2 млн. т. годишно.

От нерудните изкопаеми в общината е застъпен добивът на инертни материали, варовик, гранит. Варовиците (с големи запаси) са пригодни за добив на цимент и вар (Перник, Батановци). Кариерите за добив на варовик са затворени, но при възстановяване на циментопроизводството те отново ще функционират. Долomitите при кв. „Калкас“ и село Боснек са подходящи с флюси в металургията. Тук има подходящи находища за добив на монцит и сиенит като облицовъчен камък.

4.3 Пречиствателна станция за отпадъчни води – Перник (ПСОВ – Батановци)

Отпадъчните водни количества на гр. Перник и гр. Батановци се отвеждат по канализационен колектор с диаметър Ф 1400 mm и се третират в обща ПСОВ-Батановци, намираща се на територията на гр. Батановци. Разположена е по наречието на река Струма извън града в края на Кабрамова махала. Тя е проектирана през 70-те години на миналия век при други нормативни изисквания към качеството на пречистените води [23].

Изградени са съоръженията за пречистване на води и третиране на утайки за първи етап по работния проект от 1965-74 год.

В технологичната схема няма съоръжения за отстраняване на биогенни елементи - азот и фосфор. Основното електро-механично оборудване има експлоатационен срок 10 години. Станцията е в експлоатация от 1985 год. т.е. оборудването е работило повече от 30 години и към момента в по-голямата си част не е подменено. То е силно амортизирано и паралелно с това много енергоемко в сравнение със съвременните образци.



Фиг. 6. Пречиствателна станция за отпадъчни води Батановци.

Водоприемникът, в който се заустват пречистените отпадъчни води от гр. Перник и гр. Батановци е река Струма, II категория. Заустването се осъществява посредством заустващ колектор след изхода на ПСОВ Батановци.

На основание чл.46, ал.1, т.3, буква „б“ и чл.52, ал.1, т.4 от Закона за водите и чл.9 от Наредбата по чл.135, ал.1, т.13 от Закона за водите е издадено разрешително за ползване на воден обект река Струма, за заустване на отпадъчни води за експлоатация на съществуващ обект: „Канализационна система на гр. Батановци и гр. Перник, включваща и ПСОВ – Батановци ”.

В комплексното Разрешително за заустване на отпадъчни води в повърхностни водни обекти, издадено от Министерството на околната среда и водите, от Директора на Басейнова дирекция за управление на водите, Западобеломорски район – гр. Благоевград е лимитирано максимално разрешено водно количество за заустване: $Q_{\max} = 13\,560\,000 \text{ m}^3/\text{y}$.

Определените в разрешителото емисионни ограничения са:

- активна реакция рН = 6.0-9.0
- ХПК = 125 mg/l
- НВ = 35 mg/l
- БПК₅ = 25 mg/l
- Общ N = 15 mg/l
- Общ P = 2 mg/l

Посочените емисионни норми за качеството на пречистените води от ПСОВ-Батановци са в пълно съответствие с изискванията на Директива 91/271/ЕЕС. В технологичната схема на съществуващата ПСОВ Батановци не е предвидено

отстраняване на биогенни елементи, което е в несъответствие с чл. от Директива 91/271/ЕИО.

В Таблица 1 са представени данните, на базата на които е проектирана пречиставтелната станция. Общият проектен дебит включва градските и индустриалните отпадъчни води, както и инфилтратите от двете зони.

Таблица 1. Проектни дебители и натоварвания

Стартова година по проект	-	1982
Еквивалент жители	ЕЖ	190.000
Дневен дебит (Q _d) Средно денонощно водно количество	m ³ d ⁻¹	60.000
Максимален дебит при ниско водно ниво (сухо време)	m ³ d ⁻¹	77.760
Пиков дебит по време на дъжд	m ³ d ⁻¹	155.520
Натоварвания от БПК ₅	kg d ⁻¹	11.460
Натоварвания от суспендирани твърди вещества	kg d ⁻¹	16.020

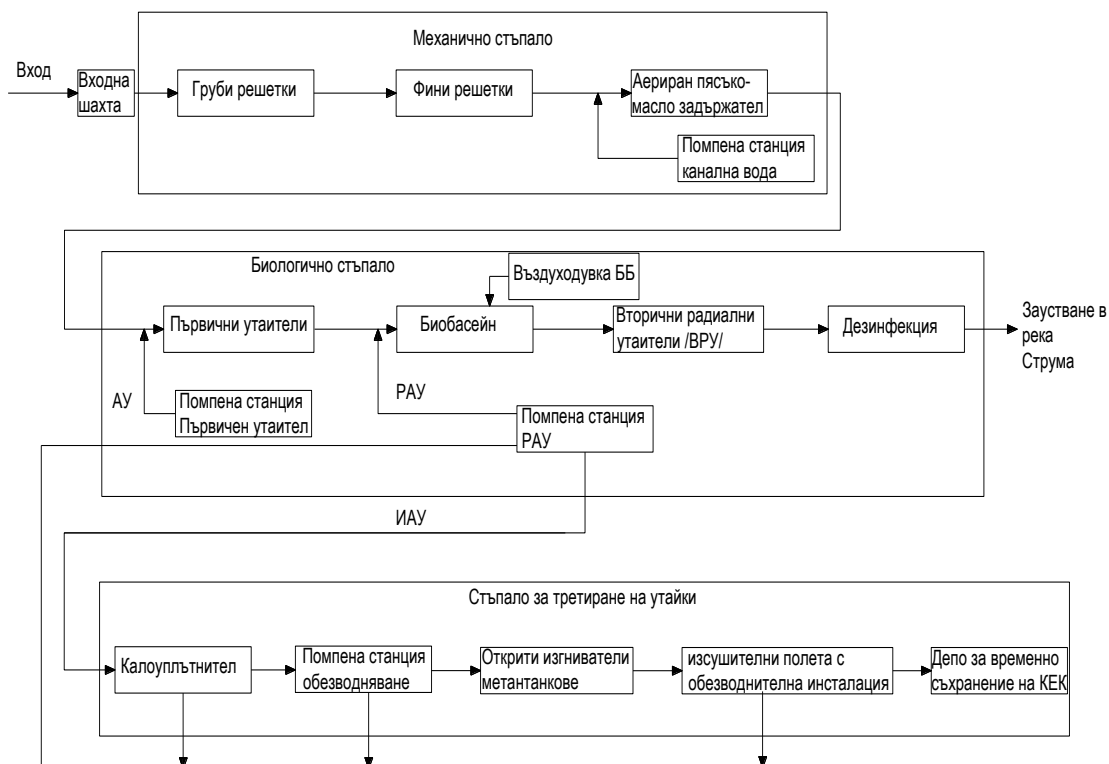
Нормите за заустване на пречистените води в повърхностен водоприемник – река Струма от ПСОВ Батанавци са посочени в Таблица 2, съгласно Наредба № 6 от 9.11.2000 г. за емисионни норми за допустимото съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти, Обн. ДВ. бр.97 от 28.11.2000 г., изм. и доп., бр. 24 от 23.03.2004 г.

Таблица 2. Норми за заустване в повърхностен водоприемник.

Показател	Единица	Концентрация
Биохимична потребност от кислород (БПК ₅)	mg dm ⁻³	25
Общо суспендирани твърди вещества	mg dm ⁻³	35
Химична потребност от кислород (ХПК)	mg dm ⁻³	125
Общ азот	mg dm ⁻³	15
Общ фосфор	mg dm ⁻³	2

4.4 Технологична схема на ПСОВ – Батановци

Отпадъчните води се отвеждат гравитачно от канализационната система на гр. Перник и гр. Батановци до ПСОВ Батановци. Водите в станцията преминават през двустепенна технология на пречистване с последващо обеззаразяване и третиране на образуваните излишни утайки.



Фиг. 7. Блок схема на ПСОВ – Батановци.

В. По пътя на утайките

16. Помпена станция за сурови утайки – 1 бр.
17. Помпена станция хлорни утайки и утайкови води от ПСОВ – 1 бр.
18. Шнекова помпена станция за рециркулация на активна утайка – 1 бр.
19. Утайкоуплътнител за ИАУ – 1 бр.
20. Метантанк I-ва степен – 2 бр.
21. Метантанк II-ра степен – 1 бр.
22. Обслужваща сграда при метантанкове – 1 бр.
23. Газосъбирателна станция – 1 бр.
24. Газголдери – 2 бр.
25. Изушителни полета - 44 бр.

С. Обслужващи сгради и съоръжения

26. Битово-лабораторна сграда – 1 бр.
27. Стопанска сграда (санитарен филтър) – 1 бр.
28. Гаражи, работилници – 1 бр.
29. Въздуходувна сграда с трансформаторна станция – 1 бр.
30. Хлораторно – 1 бр.
31. Котелно – 1 бр.
32. Портиерна – 1 бр.

ПСОВ е на модулен принцип, което позволява отделни агрегати да бъдат отстранявани от работния процес във връзка с поддръжката им, както и да се работи с различни дебити и натоварвания на отпадъчните води.

Пречистването на отпадъчните води се състои от физично стъпало, стъпало на предварително механично третиране, биологично стъпало и стъпало на третиране на утайката. ПСОВ е проектирана в съответствие с характеристиките на необработената отпадъчна вода и стандартите за дебита ѝ. Отстраняването на азота също е взето в предвид във фазата на биологично третиране. В това биологично стъпало въглерода и азота се отстраняват посредством паралелни процеси на нитрификация и денитрификация. ПСОВ – Батановци е проектирана през 70-те години на миналия век при други нормативни изисквания към качеството на пречистените отпадъчни води, което налага в бъдеще да бъде извършена реконструкция и модернизация на съществуващата ПСОВ. Съгласно българското законодателство, спиране работата на ПСОВ не се разрешава. Реконструкция на ПСОВ, която е в експлоатация ще се изпълнява без да се прекъсва пречиствателния процес на станцията, с поетапно и планирано изправяне на съоръжения, предварително съгласувано със съответните инстанции – РИОСВ, МОСВ и Басейнова дирекция.

4.5.1 Механично пречистване

Механичното пречистване на пречиствателната станция се състои от груби решетки, фини решетки и аеруем пясъко и мазниозадържател.

Отпадъчните води преминават от входна камера към измервателния улей. Измервателното устройство за дебит е ултразвуков дебитомер, монтиран в открит канал. След ултразвуковия дебитомер са монтирани три груби и една финна решетка. Грубите решетки са с разстояние между прътите от 20 mm, а фината решетка – 6 mm.

Отпадъчната вода преминава през груби решетки, предназначени за прецеждане и улавяне на всички едри материали с размери по-големи от разстоянието между прътите им, което е 20 mm. След тях водата преминава през фините решетки, чрез които се улавят материалите с размери по-големи от 6 mm. Пресетите отпадъци се отвеждат към контейнер чрез лентов транспортър и се складират на изсушителните полета в станцията. Режимът на работа е автоматичен с отцеждане - цикълът на греблото е една минута – извършват се 3 цикъла (за 3 минути) и се изчаква 15 минути. След това пресетите отпадъци се измиват посредством система за промиване и се изпращат за обезводняване и компресиране чрез решетъчна преса.

След компресиране отпадъците се транспортират до контейнерите с помощта на хоризонтални лентови конвейери. Решетките се контролират посредством измерване на водните нива. С оглед разликата в нивата те се почистват автоматично.

След като водата премине през фините решетки, тя постъпва гравитачно в пясъко и мазнинозадържателя. Когато нивото на водата достигне около 50 cm над дифузорите, се задвижват скрепера и въздуходувките на пясъко и мазнинозадържателя. Утаения на дъното на пясъкозадържателя пясък се изпомпва към фуниите и се пренася към класификатора за пясък. Останалия пясък се събира в контейнера. Събраната мазнина се транспортира с цистерни.



Фиг. 7(б). Пясъкозадържатели - хоризонтални.

Пясъко-задържателите са два броя, хоризонтален тип с по два коридора всеки и с камера за задържане на масла и нефтопродукти. Към всеки коридор има по един мостов пясъкочистач с по две пясъчни помпи. Още една помпа за пясък е монтирана в

събирателната шахтата за пясък. Въздуходувките за аериране на пясъкозадържателя (два броя) и класификатора за пясък се намират в сградата на решетките.

4.5.2 Биологично пречистване

Преминалата през механичното пречистване отпадъчна вода се влива в два селекторни резервоара, където се смесва с рециркулиращата активна утайка (РАУ) . След това сместа „отпадъчна вода - активна утайка“ се разпределя в три биобасейна посредством преливници, разположени на изхода на селекторните резервоари.

В биобасейните заедно с вторичните радиални утаители (ВРУ) протича биологичното пречистване на водата, при което се отстраняват биоразградимите органични замърсяващи вещества. Биобасейните работят при режим на биологично пречистване с едновременна нитрификация и денитрификация.

След като отпадъчната вода е отведена към вторичния радиален утаител и нивото на водата достигне определеното, се задвижва помпата за РАУ и утайката започва непрекъснато да рециркулира. Вторичния радиален утаител е снабден с ротационния мостов скрепер, който се задвижва при достигане на определено ниво на суспензията в резервоара. При своето движение той избутва активната утайка, паднала на дъното, към камерата на утаителя, а плаващите по повърхността флокули - към устройството за отделяне на плаващи вещества.

От камерата за утайките под хидростатично налягане активната утайка се отвежда към черпателния резервоар на помпената станция за излишна активна утайка (ИАУ) и рециркулираща активна утайка (РАУ).

Излишната активна утайка (ИАУ) от вторичния утаител се отвежда и транспортира към помпената станция за РАУ. След това тя се предвижва към първичния утайкоуплътнител посредством помпите за ИАУ, намиращи се в помпената станция за РАУ и ИАУ.



Фиг. 7(в). Биобасейни с пневматична аерация.

Биобасейните са шест броя. Всеки от тях се състои от 3 коридора с дължина $L = 62.00$ m, ширина $B = 4,50$ m, дълбочина $H = 4,50$ m и обем на всеки: $3\ 766.50$ m³. Два от резервоарите за активна утайка са реконструирани и са оборудвани с нова система за аериране. В момента работят само три биобасейна. Биобасейните не са почиствани от началото на работата им (1986 г.) досега, и се предполага че 20-30% от обемът им е зает от утайки и минерални вещества.

Въздуходувната станция за биобасейните е в обща сграда с трансформаторната подстанция. В момента се работи с една въздуходувка. Резервната въздуходувка е амортизирана и трудна за пускане в действие.



Фиг. 7(г). Вторични утаители.

Вторични утаители са четири броя с диаметър 25.00 m, дълбочина 3.00 m и обем $1\ 470$ m³. В момента работят само три вторични утаителя. Четвъртият вторичен утаител е в ремонт. Утайкочистачите с периферно задвижване са амортизирани. По всяка вероятност греблата им са износени и повредени.

Шнековата помпена станция за активна утайка е с 6 помпи, от които само 4 са в експлоатация. Подържането им е доста трудно поради липса на резервни части и постоянни аварии. Работната мощност в момента е 22.5 kW.

Съществуващите контактни резервоари са 2 броя с диаметър 20.00 m, дълбочина 2.60 m и обем на един резервоар 816 m³.

В помпена станция за метантанковете функционират една помпа за препомпване на излишни активни утайки и две помпи, от които една резервна, за промиване с пречистена вода на тръбопроводи и съоръжения.

Метантанкове са три броя - два първа степен и един втора степен. Обема на един метантанк е $4\ 000$ m³.

Излишната активна утайка и утайките от вторичния утаител се третираат в съоръженията за третиране на утайки и се насочват към изсушителните полета с площ $14\ 960$ m².

4.5.3 Инсталация за UV-обеззаразяване

След преминаване на биологичното стъпало, в което са отстранени биоразградимите органични вещества, водата се подлага на обеззаразяване, което се осъществява с ултравиолетови лампи.

4.5.4 Третиране на утайките

Отделената от вторичните радиални утайтели активна утайка постъпва в помпена станция за рециркулираща активна утайка и излишна активна утайка, в която са предвидени две групи потопени центробежни помпи – за РАУ и за ИАУ. Обемът на ИАУ се препомпва към първичен утайкоуплътнител. Количеството на излишната утайка зависи от много фактори и се променя, но в тази пречиствателна станция е предвиден контрол с отчитане концентрацията в биобасейна и нивото на утайките във вторичния радиален утайтел. В първичния утайкоуплътнител излишна активна утайка, постъпила в него се задържа около ден, като се уплътнява до 2.5% съдържание на неразтворени вещества. След това утайката преминава в аеробен стабилизатор, в който времето за задържане на утайката е 15 дни. Част от органичните вещества се разграждат, което не позволява на утайката да загнива, т.е. тя се стабилизирана.

Стабилизираната излишна активна утайка постъпва във вторичен утайкоуплътнител по гравитачен път. Уплътняването на стабилизираната утайка до достигане на процентно съдържание на сухо вещество в нея 4% се постига на изхода на уплътнителя. Утайката навлиза в централния корпус на резервоара през монтиран сифон. Отделената от утайката вода прелива през назъбените преливници и се отвежда към помпена станция за рециркулираща смесена течност. Уплътнената утайка се събира в утаечната фуния на резервоара за съхранение на утайка с помощта на помпи, или към съоръжението за обезводняване на утайката.

Системата за обезводняване на утайките се състои от дезинтегратори за вграждане в линия, захранващи помпи, система за приготвяне на полиелектролит, статични бъркалки за разтваряне на полиелектролита, утайкова центрофуга и конвейр за пренасяне на обезводнената утайка.

Центрофужния тип оборудване за обезводняване на утайка се използва заради възможността за обезводняване на стабилизираната активна утайка до получаване на концентрация от 25% сухо вещество след обработка с катионен полимер (полиелектролит). Полимерния разтвор се впръсква в утайковата центрофуга чрез дозиращи помпи за полиелектролит, след като е бил разтворен в 0.01% разтвор с помощта на статичните бъркалки за вграждане в линия.

Филтратът се събира и транспортира по гравитационен път към помпената станция за рециркулираща смесена утайка, за да се върне към биологичното стъпало.

Получилите се утаечни пите се транспортират извън ПСОВ с камиони.

4.5.5 Анализи

Ефективността на работа на пречиствателната станция се контролира чрез провеждането на ежедневни анализи по стандартни методи, след което те се представят ежедневно, ежеседмично и ежемесечно пред експертните органи. Параметрите, които се следят са: Натоварване с органични вещества, Натоварване с биомаса, Концентрация на биомаса, Седиментиране на биомасата, Микроскопско изследване, рН в зоната за аериране, Температура, рН, Биохимична потребност от кислород (БПК), Химична потребност от кислород (ХПК), Суспендирани твърди вещества, Летливи суспендирани твърди вещества (vss), Азот (азот по Келдал, амоняк, нитрат, нитрит), Фосфор, Миризма, Оцветеност, Мътност, Формиране на пяна, Масла и мазнини.

Концентрациите на биомаса в зоната за аериране варират между 2 – 5 g dm⁻³. Развитието на биомаса е показател за добра биологична активност и стабилност на процесите.

ПЕТА ГЛАВА

Експериментална част

5.1 Обсъждане на резултатите, получени в процеса на работа

В процеса на работа е изследвана ефективността на работа на пречиствателната станция съгласно основните показатели: ХПК, БПК, общ азот, общ фосфор, нитрити и нитрати.

5.1.1 Химична потребност от кислород (ХПК) и биологична потребност от кислород (БПК)

Органичната материя, съдържаща се в отпадъчните води се определя от показателите - Биохимична потребност от кислород (БПК) и Химична потребност от кислород (ХПК) [24].

Таблица 3. Средномесечни стойности на ХПК и БПК на вход и изход в ПСОВ.

Сезони	Месеци	ПОКАЗАТЕЛИ			
		ХПК, mg dm ⁻³		БПК, mg dm ⁻³	
		Вход	Изход	Вход	Изход
Зима	Декември	44.20 ± 11.04	18.23 ± 2.06	23.06 ± 2.77	9.68 ± 0.84
	Януари	48.40 ± 7.45	27.10 ± 17.63	16.53 ± 5.67	8.53 ± 2.59
	Февруари	41.00 ± 9.58	22.27 ± 7.75	16.40 ± 3.30	7.00 ± 1.56
Пролет	Март	45.97 ± 7.61	18.93 ± 4.93	15.00 ± 1.74	10.03 ± 4.11
	Април	46.73 ± 14.02	18.53 ± 5.38	23.40 ± 15.20	8.97 ± 1.23
	Май	49.23 ± 12.17	19.27 ± 6.07	25.30 ± 7.67	10.90 ± 1.55
Лято	Юни	54.00 ± 13.72	17.87 ± 3.65	19.07 ± 5.05	5.90 ± 2.15
	Юли	42.97 ± 2.05	15.70 ± 5.47	21.27 ± 1.35	7.43 ± 2.71
	Август	51.03 ± 14.35	21.13 ± 9.77	15.60 ± 1.75	7.37 ± 2.30
Есен	Септември	41.00 ± 7.11	17.23 ± 4.25	30.70 ± 9.10	8.77 ± 1.50
	Октомври	50.95 ± 19.18	17.35 ± 5.63	29.99 ± 9.59	9.21 ± 2.48
	Ноември	80.25 ± 41.97	15.77 ± 2.18	51.17 ± 44.05	8.93 ± 1.31

От дадените резултати в Таблица 3 ясно се вижда, че постъпващите отпадъчни води на вход на ПСОВ – Батановци са с по-високи стойности на концентрациите за ХПК и БПК през есенния и летния сезон. Концентрациите на вход на ХПК варират от 41.00 ± 7.11 през месец септември до $80.25 \pm 41.97 \text{ mg dm}^{-3}$ през ноември, а на БПК от 15.00 ± 1.74 за месец март до $51.17 \pm 44.05 \text{ mg dm}^{-3}$ през месец ноември. Стойностите на изход от ПСОВ – Батановци са следните – за ХПК от 15.70 ± 5.47 (лятото) до 27.10 ± 17.63 (зимата) mg dm^{-3} , а при БПК 7.00 ± 1.56 (зимата) до $10.90 \pm 1.55 \text{ mg dm}^{-3}$ (пролетта).

Таблица 4. Ефект на пречистване* средно за сезон – ХПК и БПК, %.

сезон	зима	пролет	лято	есен
ХПК, % средно за сезон	49.48%	60.01%	62.99%	68.09%
БПК, % средно за сезон	54.57%	50.57%	62.29%	74.43%

*Ефект на пречистване се изчислява по формулата: $100 - [C_i/C_0 \cdot 100] = \text{ефект на пречистване, \%}$

C_i – концентрация на изход, C_0 – концентрация на вход.

Според изчисленията от Таблица 4 (за вход и изход на ПСОВ) се установява, че ефекта на пречистване на отпадъчните води спрямо ХПК и БПК е с по-високи стойности през есента и лятото.

Стойностите за ХПК и БПК отговарят на нормите за отпадъчни води след селищни пречиствателни станции, които според Наредба № 6 за емисионни норми за допустимо съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти, Обн. ДВ. бр.97 от 28.11. 2000г., изм. и доп., бр. 24 от 23.03.2004 г., са съответно 25 mg dm^{-3} и 125 mg dm^{-3} .

За да се определи, дали веществата, съдържащи се в отпадъчната вода, подложена на пречистване са лесно или трудно биоразградими, се използва съотношението БПК/ХПК.

В зависимост от стойността на съотношението БПК/ХПК се оформят следните зони:

- Токсични зони: това е границата, при която се наблюдава неблагоприятен ефект на органичната материя върху живите организми. Съотношението БПК/ХПК, по-малко от 0.10, разкрива наличието на големи порции трудно биоразградими вещества.
- Биоразградими зони: под биоразградими зони се разбира граница на разлагане на органичната материя чрез микроорганизми в естествени и изкуствени условия на третиране. Границите на съотношението БПК/ХПК са между 0.1 и 1.0. Тези зони

могат да бъдат разделени на няколко нива с ниска, умерена и висока биоразградимост.

- Стабилни зони: зони, при които органичната материя може да бъде безопасно отстранена без значителен ефект върху околната среда. Стабилните зони са свързани със стандарта за качество на компонентите на околната среда, който е различен в различните страни.

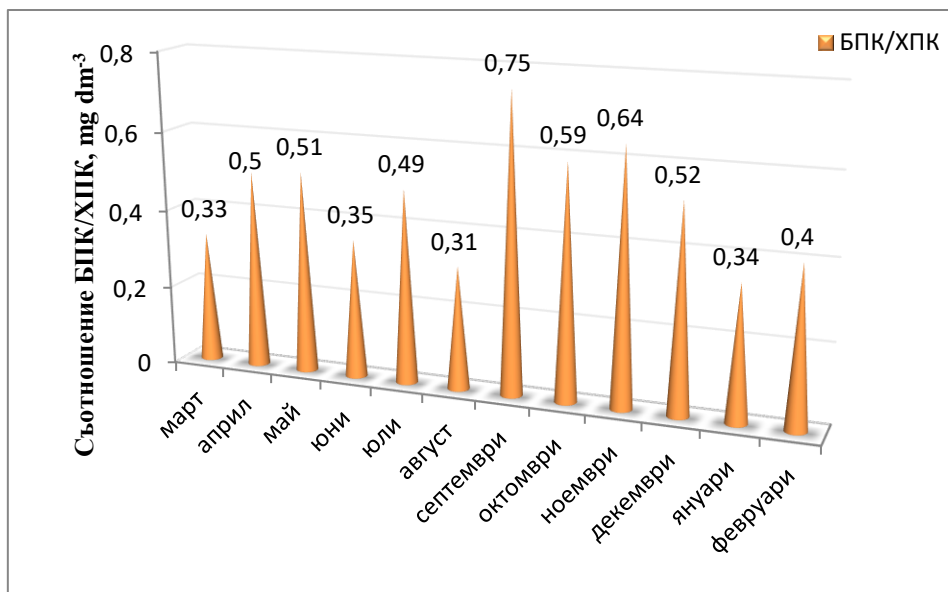
Чрез зонирание на съотношението БПК/ХПК може да се определи стратегията за пречистване на отпадъчните води, така че да се постигнат безопасни нива на органичната материя в околната среда.

Типичните стойности на съотношението БПК/ХПК в различните етапи на пречистване [25] на отпадъчните води са дадени в Табл. 5. Ако съотношението БПК/ХПК за непречистени отпадъчни води е 0.5 или по-голямо, се счита, че пречистването на отпадъчните води чрез биологични средства протича по-лесно. Ако съотношението е под 0.3, пречистването на отпадъчни води е затруднено и може да са налични някои токсични компоненти във водите. При използването на това съотношение е важно да се запомни, че то се променя значително спрямо етапа на пречистване на отпадъчните води.

Таблица 5. Съотношение БПК/ХПК спрямо етапа на пречистване на ОВ.

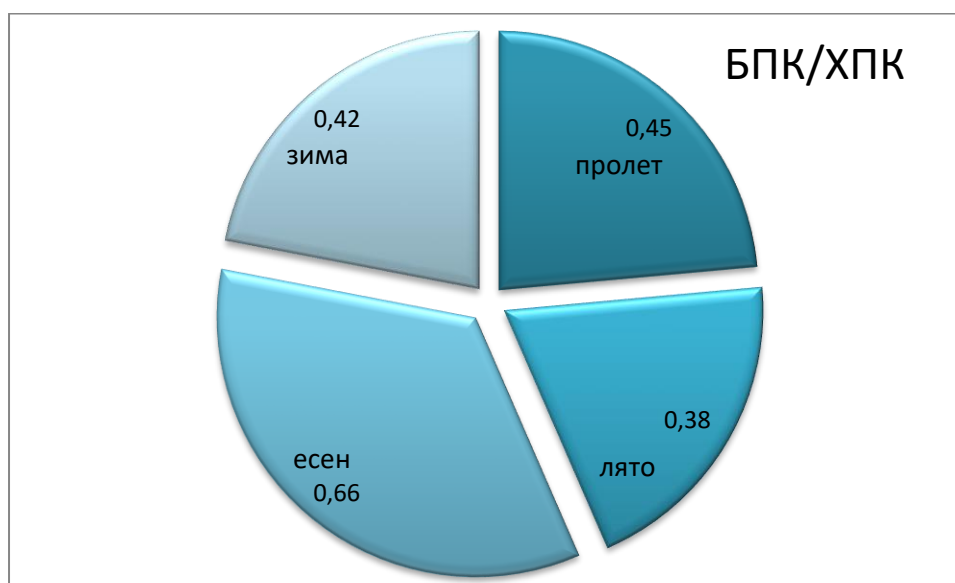
Тип отпадъчни води	БПК/ХПК
Непречистени	0.3 – 0.8
След първично утаяване	0.4 – 0.6
Крайни отточни води	0.1 – 0.3

Непречистените води, постъпващи в ПСОВ – Батановци се характеризират със стойности на съотношението БПК/ХПК от 0.31 за месец август до 0.75 за месец септември (фиг. 8). Това означава, че отпадъчните води могат да бъдат сравнително лесно пречистени по биохимичен начин.



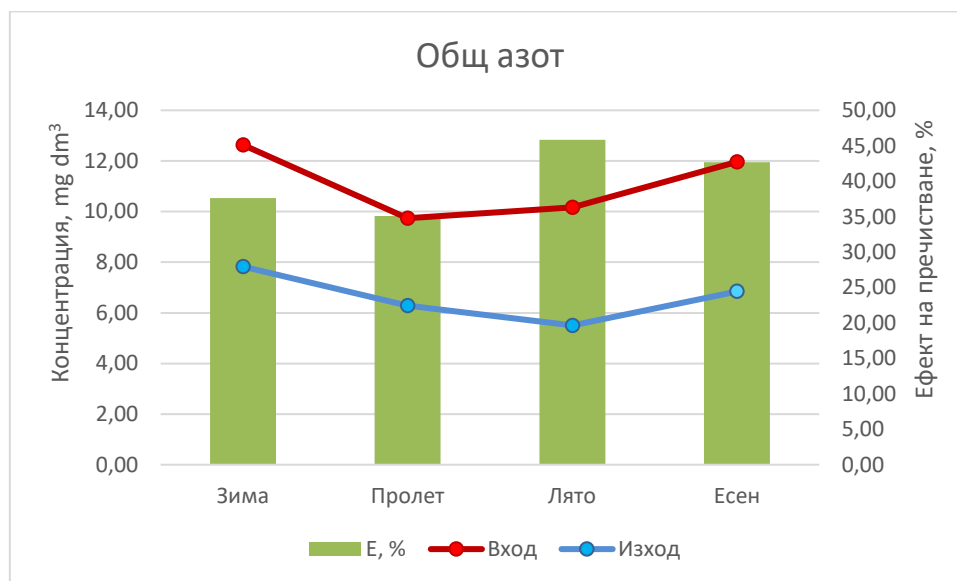
Фиг. 8. Съотношение БПК/ХПК по месеци за непречистени води, mg dm^{-3} .

На фиг. 9 ясно се вижда, че през есенните месеци се създават най-благоприятни условия за протичането на биохимичните процеси по време на пречистване на отпадъчните води. С повишаване на температурата на околната среда се наблюдава понижаване стойността на съотношението БПК/ХПК, което вероятно се дължи на увеличаване на концентрациите на инхибиращите вещества във водата.



Фиг. 9. Сезонни съотношения на БПК/ХПК за непречистени отпадъчни води, mg dm^{-3} .

5.1.2 Отстраняване на азот от отпадъчните води



Фиг. 10. Сезонни концентрации на общия азот на вход и изход в ПСОВ и ефект на пречистване, %.

На фиг. 10 са изобразени сезонните концентрации на общия азот на вход и изход в ПСОВ, като с процент е отбелязан ефекта на пречистване му в проценти. От графиката ясно се вижда, че през лятото и есента ефекта на пречистване е по-висок и варира в интервал 42.66 % - 45.86 %. През зимата и пролетта, ефекта на пречистване варира около 35 – 38 %. Това означава, че има сезонност на процеса и амониевите йони се отстраняват по-пълно от подложената на пречистване вода, при по-високи температури. За допречистване на отпадъчните води могат да се използват и различни по конструкция влажни зони, в които успешно се осъществява отстраняване на биогенните елементи [26-29].

Нитрификацията е процес на окисляване на амоняка в нитрити и нитрати, чрез организми, които окисляват неорганични азотни съединения с цел получаване на енергия. При нитрификацията скоростта на процеса се повишава с нарастването на температурата до определен момент (30 °C – 35 °C), и след това намалява.

Денитрификацията е процес на биохимично намаляване на нитратите и превръщането им в нитрити и свободен азот. Този процес е обратен на нитрификацията и се извършва само при недостиг на кислород. Процесът денитрификация протича при температури от 20°C до 30°C, при което бактериите значително се развиват.

В Таблица 6 са показани Средните стойности на $\text{NO}_3^- - \text{N}$ (нитрати) и $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (нитрити) на вход и изход в ПСОВ – Батановци.

Таблица 6. Средномесечни стойности на Нитрати и Нитрити на вход и изход в ПСОВ.

Сезони	Месеци	ПОКАЗАТЕЛИ			
		Нитрати ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), mg dm^{-3}		Нитрити, ($\text{NO}_2^- - \text{N}$), mg dm^{-3}	
		Вход	Изход	Вход	Изход
Зима	Декември	0.74 ± 0.67	2.94 ± 2.32	0.04 ± 0.02	0.13 ± 0.19
	Януари	2.05 ± 2.85	3.56 ± 2.87	0.06 ± 0.03	0.29 ± 0.45
	Февруари	0.54 ± 0.47	1.57 ± 1.18	0.09 ± 0.10	0.50 ± 0.80
Пролет	Март	0.87 ± 1.42	1.80 ± 2.88	0.12 ± 0.08	0.41 ± 0.46
	Април	0.72 ± 1.11	1.91 ± 3.03	0.08 ± 0.04	0.23 ± 0.12
	Май	0.77 ± 0.71	2.73 ± 2.34	0.06 ± 0.05	0.04 ± 0.06
Лято	Юни	0.57 ± 0.69	2.05 ± 3.02	0.07 ± 0.04	0.08 ± 0.06
	Юли	0.72 ± 0.86	2.66 ± 2.20	0.10 ± 0.12	0.03 ± 0.02
	Август	0.58 ± 0.83	1.49 ± 1.78	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.01
Есен	Септември	0.53 ± 0.45	2.06 ± 1.42	0.09 ± 0.07	0.09 ± 0.14
	Октомври	0.69 ± 0.46	3.15 ± 0.99	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.01
	Ноември	0.66 ± 0.53	2.01 ± 1.80	0.05 ± 0.04	0.04 ± 0.05

От дадените резултати в таблицата ясно се вижда, че постъпващите отпадъчни води на вход на ПСОВ – Батановци са с по-ниски стойности на концентрация на нитрати и нитрити от концентрацията на изход, и вместо да намалява, тя се увеличава. От това следва, че процеса денитрификация не протича и пречиствателната станция не успява да се справи с тези йони от водата.

Предимно през зимните и пролетните месеци стойностите на концентрацията на нитритните йони на изход от пречиствателната станция многократно надвишават пределно допустимите концентрации за втора категория водоприемник (ПДК = 0.04 mg dm^{-3}), както е река Струма.

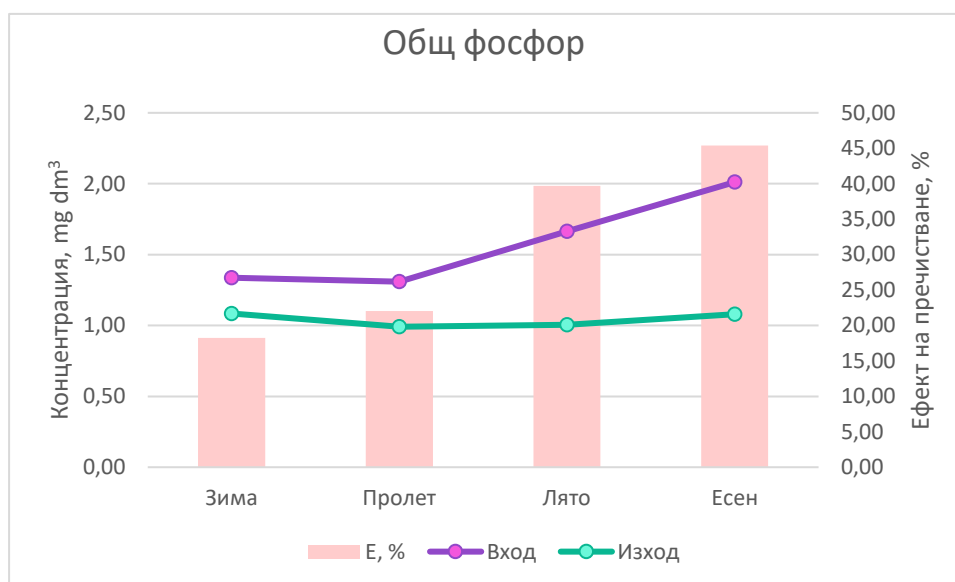
В Разрешителното за ползване на воден обект за заустване на отпадъчни води в повърхностни води, издадено от Министерството на околната среда и водите, от Директора на Басейнова дирекция за управление на водите, Западобеломорски район – гр. Благоевград са определени индивидуални емисионни ограничения. Определените в Разрешителното индивидуалните емисионни ограничения са:

- активна реакция рН = 6.0-9.0
- ХПК = 125 mg/l
- НВ = 35 mg/l
- БПК₅ = 25 mg/l

- Общ N = 15 mg/l
- Общ P = 2 mg/l

Концентрациите за общ азот на изход на пречиствателната станция отговарят на изискванията за отпадъчни води след селищните пречиствателни станции, които заустват в чувствителни зони, заложен в Наредба № 6 от 9.11.2000 г. за емисионни норми за допустимото съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти, Обн. ДВ. бр. 97 от 28.11.2000 г., изм. и доп., бр. 24 от 23.03.2004 г. Определената стойност е 15 mg dm^{-3} .

5.1.3 Отстраняване на фосфор от отпадъчните води



Фиг. 11. Сезонни концентрации на общия фосфор на вход и изход в ПСОВ и ефект на пречистване, %.

Фигура 11 показва сезонни концентрации на общ фосфор на вход и изход от ПСОВ, а също и ефекта от пречистването му. Тук стойностите на изход варират в диапазон от 0.99 до 1.08 mg dm^{-3} . Спрямо Наредба № 6 от 9.11.2000 г. за емисионни норми за допустимото съдържание на вредни и опасни вещества в отпадъчните води, зауствани във водни обекти, Обн. ДВ. бр.97 от 28.11.2000 г., изм. и доп., бр. 24 от 23.03.2004 г., тези стойности са под определената концентрация за общ фосфор. Изискванията към отпадъчните води след селищните пречиствателни станции, които заустват в чувствителни зони, определени от тази наредба с показател общ фосфор е 2 mg dm^{-3} . Известно е, че процеса на отстраняване на фосфор от отпадъчни води се извършва максимално ефективно при температура от 17°C .

ШЕСТА ГЛАВА

Изводи

Направена е оценка на ефективността на работа на пречиствателната станция за отпадъчни води – Батановци, която пречиства отпадъчните води от гр. Перник и гр. Батановци.

Установена е сезонност в промяната на концентрациите на анализирани показатели.

Постъпващата в пречиствателната станция отпадъчна вода се характеризира със съотношение БПК/ХПК в диапазона от 0.31 до 0.75, което означава, че биохимичното пречистване на отпадъчната вода протича сравнително лесно.

В процеса на работа на ПСОВ – Батановци се постига висока степен на пречистване на отпадъчната вода по отношение на показателите ХПК и БПК. Установено е, че по време на есенния период се наблюдава най-пълно пречистване на отпадъчната вода, съответно 68.07 % за ХПК и 74.43 % за БПК.

По време на третирането на отпадъчната вода в пречиствателната станция процесът денитрификация не протича достатъчно ефективно, но въпреки това като цяло се постига понижаване концентрациите на азот- и фосфорсъдържащите съединения.

Препоръки

От направените анализи на данните ясно се вижда, че в пречиствателната станция не се постига протичане на процеса денитрификация. Продължителното заустване на вода, съдържаща високи концентрации на такива вещества, би довело до развитието на процеса еутрофикация във водния басейн, в който постъпва (р. Струма). Това налага подобряване на денитрифициращите условия в биобасейните, в които се осъществява биологичното пречистване на отпадъчните води, постъпващи от територията на община Перник.

Използвана литература

1. Цачев, Ц., Пречистване на битови отпадъчни води, Техника, София 2001
2. <http://prehistvanevoda.blogspot.com/>
3. Цачев, Ц., Пречистване на отпадъчни води, Мартилен, 1991
4. Цачев, Ц., Пречистване на отпадъчни води, Мартилен, 1992
5. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/tehnichesko_rkovodstvo_za_0.pdf
6. Er. Iswar Man Amatyа, Er. Bhagwan Ratna Kansakar, Ph.D., Er. Vinod Tare, Ph.D.
- a. Liv Fiksdal, Ph.D. - IMPACT OF TEMPERATURE ON BIOLOGICAL DENITRIFICATION PROCESS, J. Inst. Eng., Vol. 7, No. 1, pp. 1-6
7. J Carrera*, T Vicent and FJ Lafuente - Influence of temperature on denitrification of an industrial high-strength nitrogen wastewater in a two-sludge system, Department of Chemical Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain, ISSN 0378-4738 = Water SA Vol. 29 No. 1 January 2003
8. Saleema Saleh-Lakha^{1,2}, Kelly E. Shannon^{1,2}, Sherri L. Henderson¹, Claudia Goyer^{1,*}, Jack T. Trevors^{2,*}, Bernie J. Zebarth¹ and David L. Burton - Effect of pH and Temperature on Denitrification Gene Expression and Activity in *Pseudomonas mandelii*, 13 January 2009
9. Sam Jeyanayagam, Ph.D., P.E., DEE, is an associate with the environmental engineering and consulting firm Malcolm Pirnie Inc. in the company's Columbus, Ohio, office. - True Confessions of the Biological Nutrient Removal Process
10. Giedrė Vabolienė: UAB „Utenos vandenys“, Naujasodis, LT-28113 Utena, Lithuania - Tetrad-forming-organism-dependent deterioration of enhanced biological phosphorus removal in a full-scale wastewater treatment plant, EKOLOGIJA. 2009. Vol. 55. No. 3–4. P. 231–236, 2009
11. Nittaya Boontian - Influence of Temperature and Disintegrated Sludge in Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) Systems, The 10th International PSU Engineering Conference, May 14-15, 2012
12. Huacheng Xu, Pinjing He, Weimei Gu, Guanzhao Wang, Liming Shao - Recovery of phosphorus as struvite from sewage sludge ash, J. Environ. Sci. Health., Part A, Volume 24, Issue 8, August 2012, Pages 1533–1538
13. Agnieszka Tuszynska, Katarzyna Kolecka, Bernard Quantb - The influence of phosphorus fractions in bottom sediments on phosphate removal in semi-natural systems as the 3rd stage of biological wastewater treatment, Ecol. Eng., Volume 53, April 2013, Pages 321–328
14. Haiyan Guo, Jiandong Chen, Yun Li, Tengfeng Feng, Shoutong Zhang - Nitrogen and phosphorus removal in an airlift intermittent circulation membrane bioreactor, J. Environ. Sci. Health., Part A, Volume 25, Supplement 1, December 2013, Pages S146-S150
15. Sara Rasoul-Amini, Nima Montazeri-Najafabady, Saeedeh Shaker, Azam Safari, Aboozar Kazemi, Pegah Mousavi, Mohammad Ali Mobasher, Younes Ghasemi - Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae free cells in bath

- culture, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, Volume 3, Issue 2, April 2014, Pages 126-131
16. Rui Du, Yongzhen Peng, Shenbin Cao, Chengcheng Wu, Dongchen Weng, Shuying Wang, Jianzhong He - Advanced nitrogen removal with simultaneous Anammox and denitrification in sequencing batch reactor, *Bioresour. Technol.*, Volume 162, June 2014, Pages 316-322
 17. Fei Zhang, Jian Li, Zhen He - A new method for nutrients removal and recovery from wastewater using a bioelectrochemical system, *Bioresour. Technol.*, Volume 166, August 2014, Pages 630–634
 18. Xinjun Wang, Jiding Chen, Yaping Kong, Xianming Shi - Sequestration of phosphorus from wastewater by cement-based or alternative cementitious materials, *Water Res.*, Volume 62, 1 October 2014, Pages 88-96
 19. <https://www.grao.bg/tna/tadr2020.txt>
 20. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA>
 21. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA#%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F>
 22. <http://pernik-online.blogspot.com/2015/01/flora-i-fauna-v-pernik.html>
 23. <https://sop.bg/download/pBBOhBAhTB/>
 24. Ganjar Samudro1, Sarwoko Mangkoedihardjo2* - REVIEW ON BOD, COD AND BOD/COD RATIO: A TRIANGLE ZONE FOR TOXIC, BIODEGRADABLE AND STABLE LEVELS, *Int. J.Acad.Res.*, Vol. 2. No. 4. July 2010
 25. http://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/lessons/lesson_a1/lm_pg_1068.html
 26. S. Lavrova, B. Koumanova, Nutrients and Organic Matter Removal in a Vertical-Flow Constructed Wetland, "Applied Bioremediation - Active and Passive Approaches", Y. Patil, P. Rao (Eds.), ISBN 978-953-51-1200-6, 2013, 69-99.
 27. S. Lavrova, B. Koumanova, „Nitrification and denitrification of landfill leachate in four-stage laboratory reactors system “wetland”, *J. Univ. Chem. Technol. Met.*, 2, 2014.
 28. S. Lavrova, B. Koumanova, Polishing of aerobically treated wastewater in a constructed wetland system, *J. Univ. Chem. Technol. Met. (Sofia)*, 42, 2, 2007, 195-200.
 29. S. Lavrova, B. Koumanova, Influence of recirculation in a lab-scale vertical flow constructed wetland on the treatment efficiency of landfill leachate, *Biores. Technol.*, 101, 6, 2010, 1756-1761.