

FLOATING BAFFLE FOR ENHANCED SEDIMENTATION OF SUSPENDED SOLIDS IN WATER BODIES AND OPPORTUNITIES FOR CIRCULAR USE OF RECLAIMED WATER

Reni Pantcheva¹, Raicho Donchev²

¹Sofia University “St. Kliment Ohridski”, 1504 Sofia; E-mail: reni@feb.uni-sofia.bg

²Ecoteh Global LTD, 1324 Sofia; E-mail: raicho_donchev@abv.bg

ABSTRACT. Water resource management and wastewater recovery are becoming increasingly important for industry, agriculture, and domestic use, particularly in view of water scarcity and evolving environmental regulations. The present study investigates the application of a floating baffle that enhances natural sedimentation of suspended particulate matter in water bodies, thus promoting water clarification without the need for energy, coagulants or flocculants. The theoretical framework, research on preceding scientific literature, a laboratory experiment, and the practical implementation of the proposed model indicate that such a baffle effectively prevents the direct linear propagation of suspended solids within a reservoir, thereby creating stable hydraulic conditions and sufficient time dilation for particles to settle under the direct influence of gravity. The energy independence, economic feasibility, and resource efficiency of this technological solution facilitate its easy and affordable implementation and provide grounds for a successful circular use of reclaimed wastewater. This in turn, reduces the environmental footprint of human activities and alleviates the pressure on limited freshwater resources.

Key words: reclaimed water, suspended particulate matter, gravitational sedimentation, floating baffle, circular economy.

ПЛАВАЩА ПРЕГРАДА ЗА ПОДОБРЕНО УТАЯВАНЕ НА СУСПЕНДИРАНИ ТВЪРДИ ЧАСТИЦИ ВЪВ ВОДОЕМИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА КРЪГОВО ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА ОБОРОТНИ ВОДИ

Рени Панчева¹, Райчо Дончев²

¹Софийски университет „Св. Климент Охридски“, 1504 София

²„Екотех Глобал“ ЕООД, 1324 София

РЕЗЮМЕ. Управлението на водните ресурси и кръговото използване на оборотна вода придобиват все по-голямо значение за промишлеността, селското стопанство и бита особено в условия на воден дефицит и засилени екологични изисквания. В настоящата разработка е изследвано приложението на плаваща преграда, която подпомага естественото утаяване на фини твърди частици във водоеми и избистрянето на водата в тях без необходимост от влагане на енергия, коагуланти и флокуланти. Представените теоретични постановки, предходни научни изследвания, лабораторният опит и прилагането на този полезен модел в практиката сочат, че подобна преграда ефективно възпрепятства праволинейното разпространение на суспензията във водоемите, като по този начин осигурява стабилна водна среда и достатъчно време, в което суспендираните частици да се утаят под действие на гравитационните сили. Енергийната независимост, както и икономическата и ресурсната ефективност на предложеното решение благоприятстват неговото лесно и широкодостъпно приложение и създават предпоставка за успешното кръгово оползотворяване на възстановени отпадни води. Това на свой ред намалява екологичния отпечатък от човешката дейност и натиска върху ограничените водни ресурси.

Ключови думи: оборотна вода, суспендирани частици, гравитационно утаяване, плаваща преграда, кръгова икономика.

Въведение

Промишлените процеси, селското стопанство и битовото водоснабдяване разчитат на надеждното осигуряване на избистрена и годна за последваща употреба вода от естествени или изкуствени водоеми. Засилващият се воден дефицит в резултат от климатичните промени и произтичащите от тях дълги периоди на засушаване обаче поставят на преден план самата наличност на водния ресурс наред с неговите характеристики. Въпросът, пред който са изправени науката, икономиката и хората, вече не е единствено какво ще е качеството на водата, а дали вода изобщо ще има. В светлината на тези предизвикателства и затегнатите екологични изисквания, устойчивостта и кръговостта залягат все по-здраво в управлението на водните ресурси.

От гледна точка на устойчивото развитие кръговото използване на оборотна вода в промишлените процеси се превръща в ключова стъпка за намаляване натиска върху естествените водоизточници, повишаване на ресурсната производителност и ограничаване на изпуснатите в природата отпадни води.

Пречистването на промишлени води започва с първично избистряне, за да се намали количеството суспендирани твърди частици в съдържанието. Процесът залага на естествения утайтелен потенциал на водоемите,

често в съчетание с добавяне на коагуланти и флокуланти. Този потенциал варира в зависимост от обема на водоизточника наред с други фактори, но на практика промените в утайтелната ефективност се влияят най-пряко от пътя и начина на движение на водния поток.

В този контекст настоящата разработка изследва действието на съоръжение, което има свойството да трансформира хидродинамиката на водоема, като удължи пътя на суспензията и насърчи условията за естествено утаяване под действие на гравитационните сили. Ефективността на съоръжението е доказана както в лабораторни, така и в реални условия.

Разгледаният модел предлага енергийно независима, икономически ефективна и екологично щадяща алтернатива на химическите методи за избистряне на оборотна вода, като създава предпоставки за нейното ефективно кръгово използване в съответствие с принципите на екологичната устойчивост.

Литературен обзор

Важен аспект от третирането на отпадни води е премахването на твърдите материали от тях. Един от най-широко използваните конвенционални методи за това е утаяването. Това е физически процес на третиране на

водата, при който твърдите частици падат на дъното на водния басейн под действие на гравитацията (К., 2024). Избистрянето вследствие на утаяване се е използвало на практика още от праисторически времена при изграждането на водни съоръжения, особено при пречистването на вода за питейни нужди (Shammas et al., 2005). Естественото утаяване често бива подпомогнато с коагулация и флокулация, за да се слепят и агрегират до по-големи размери най-фините частици в суспензията (Banaś and Hilger, 2024). В резултат на коагулацията, флокулацията и утаяването се получава избистряне на третираната вода.

Съвременните инженерно-технически решения за избистряне на замърсена вода обаче разкриват, че утаяването на фини суспендирани частици в язовири и утаителни басейни остава съществено предизвикателство. Основният фактор, определящ ефективността на гравитационното утаяване, е времето на престой на водата в даден басейн в състояние на относителен покой. Въздействие върху ефективността на естественото избистряне оказват и редица фактори като краткият път на протичане, повърхностните течения, вятърът, както и колебанията в дебита през различните части на денонощието или годината (Juarev et al., 2022).

За да се създадат относително стабилни хидродинамични условия, гравитационното утаяване на частиците следва да доминира над хоризонталния им пренос във водния поток. Теорията на Стокс описва терминалната скорост на утаяване като функция от размера, плътността на частицата и физичните свойства на флуида. Прилагането на закона предполага, че частиците са гладки и сферични, движат се в ламинарен режим в хомогенна течност и че числото на Рейнолдс за частицата е малко ($Re_p < 1$) (Moran, 2018). Така за терминалната скорост се получава, че:

$$\omega = \frac{2(\rho_p - \rho_f)gr^2}{9\mu} \quad (1)$$

където ω е терминалната скорост на утаяване, ρ е плътността съответно на частицата (p) и течността (f), g е гравитационното ускорение, r е радиусът на частицата, μ е динамичният вискозитет на течността.

Тъй като за много малки частици скоростта на утаяване клони към нула (Merkus, 2009), при определени хидродинамични условия времето на престой се оказва недостатъчно. Така, въпреки че големите размери на язовири, езера и хвостохранилища благоприятстват естествения утаителен потенциал, фините суспендирани частици често се задържат във водната маса. Това обикновено налага нуждата от използване на коагуланти и флокуланти или разработването на решения, които подпомагат естествените процеси без допълнителна енергийна или химическа намеса.

Едни от най-често използваните пасивни съоръжения за механично избистряне в естествени водоеми са различните видове утаители. В зависимост от структурните си особености и посоката на протичане на водата те могат да бъдат хоризонтални, вертикални, радиални, тръбни и ламелни (Екология и инфраструктура, 2015). Вместо да влияят директно върху терминалната скорост на утаяване на частиците, тези съоръжения целят намаляване на скоростта на движение на водата, ограничаване на

турбулентността, удължаване на хидравличния път и увеличаване на времето на престой на суспензията.

По-доброто управление на суспендираните твърди частици във водоемите е свързано не само с пречистването на отпадни води и повишаване на ефективността на различните производствени процеси, но и с по-широката рамка за устойчивото развитие и кръгова икономика. В следствие на ръста на населението, селскостопанската дейност, индустриализацията и урбанизацията използването на прясна вода се е увеличило шесткратно от 1900 г. насам. Най-голям дял се консумира от селското стопанство (около 70%), следвано от промишлеността (около 20%), а водата за битови нужди е едва около 10% от общото потребление (Ritchie and Roser, 2024). Така водният отпечатък продължава да се увеличава успоредно с проблеми като недостиг на вода, водни кризи и замърсяване на водоизточниците. Поради тази причина концепции като кръговата икономика, прилагащи устойчиви практики в управлението на ресурси и отпадъци, са от особено значение за жизненоважни ресурси, какъвто е водата. В контекста на устойчивото развитие е необходимо да бъдат предприети действия по отношение на водния сектор, които още при източника да са насочени към намаляване на употребата на водни ресурси и образуването на отпадни води, прилагане на ефективни технологии за отстраняване на замърсителите, повторно използване на оборотна вода в производствените процеси, рециклиране на вода и нейното възстановяване за питейни нужди, както и извличане на материали и енергия от отпадните води (Smol et al., 2020).

Планът за действие за кръгова икономика (Европейска комисия, 2020) залага нов Регламент за повторното използване на водата (Регламент (ЕС) 2020/741, 2020). Той се прилага при всяко повторно използване на пречистени градски води за напояване в селското стопанство. В документа са определени минималните изисквания за качеството на водата, мониторинга и управлението на риска, така че да се гарантира безопасността на процеса. Приоритет на регламента е постигането на целите за устойчиво управление на водите и канализацията и устойчиво потребление и производство.

Макар фокусът на нормативна рамка в случая да попада върху напояването, тя би могла да служи като ориентир при прилагане на подобни практики и в промишлени системи. Така рамката може да се използва за насърчаване на кръговите решения в други сектори, за да намали натиска върху ресурсите от прясна вода, да понижи оперативните разходи на предприятията и да повиши устойчивостта на веригите за доставка.

Естествените и пасивните технологии за утаяване имат особено важна роля в контекста на устойчивото използване на оборотна вода в промишлени процеси, тъй като те не изискват химически агенти или външна енергия. Това ги прави важен инструмент за повишаване на ресурсната ефективност и намаляване на въглеродния отпечатък на водния сектор.

Съоръжение за утаяване на фини частици от суспензии

В научната литература редица автори изследват ефективността на алтернативни конструктивни решения за

подобряване на гравитационното утаяване, включително поставянето на прегради, които възпрепятстват праволинейното движение на водния поток и удължават времето на престой на суспензията (Shahrokhi et al., 2012; Razmi et al., 2013; Liu et al., 2016; Hassanien et al., 2018; Bruno et al., 2025). В такъв експеримент Al-Mafraji и Al-Mussawy (2021) използват фиксирани горни и долни прегради, за да въздействат върху хидродинамиката във водния басейн чрез насочване и възпрепятстване на директното движение на мътната вода. Това подпомага гравитационното утаяване, като удължава пътя на потока и намалява турбуленцията в зоната за утаяване.

Настоящата разработка изследва приложението на пасивна водна преграда за увеличаване на ефективното време на престой и елиминиране на преките хидравлични връзки в естествен или изкуствен водоем. Важно е да се отбележи, че разглежданото съоръжение е насочено единствено към третирането на механични замърсители, т. е. неразтворими частици, които причиняват помътняване на водата. Химичното, биологичното или радиоактивното замърсяване са обект на други процеси по пречистване.

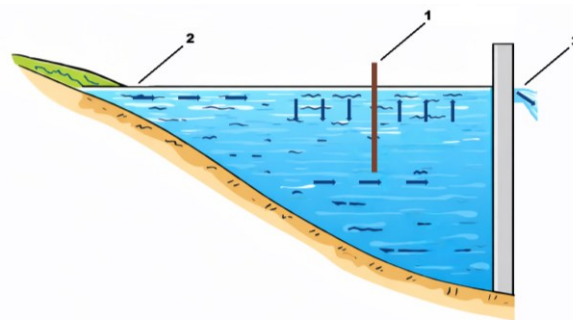
Действие на съоръжението

Съоръжението за утаяване на фини частици от суспензии може да се прилага за избистряне на води в различни водоеми като езера, язовири, водни резервоари, хвостохранилища и др.

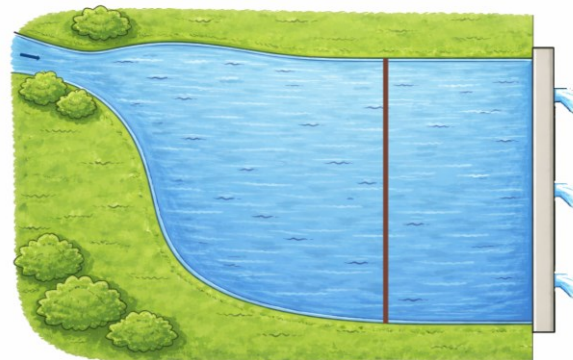
Работата на съоръжението е пряко свързана с присъщите на този тип водоеми характеристики, а именно тяхната голяма дълбочина, дължина и ширина, както и времето, изминаващо от постъпването на суспензията (мътната вода) до нейното оттичане през преливника. Естественото забавяне, което дава възможност на фините частици да се утаят под действие на гравитацията, обаче не е достатъчно, за да осигури пълно утаяване и избистряне. Както вече бе споменато, на практика престоят на суспензията във водното тяло в състояние на относителен покой е решаващо за степента на нейното утаяване, но успоредно с гравитационните сили, повърхностният слой е обект на постоянно размътване от вятъра и повърхностните течения.

Разглежданото съоръжение представлява плаваща преграда, монтирана напречно на посоката на движение на входящата суспензия в даден водоем (фиг. 1 и фиг. 2). Преградата трябва да се подава над повърхността, а нейният долен край трябва да е потопен на определена дълбочина без се да допира до дъното (1). По този начин водоемът бива разделен на две части, които се явяват скачени съдове, свързани под преградата. Самата преграда играе ролята на бариера между постъпващата неизбистрена вода (2) и мястото на оттичане през преливника или водната кула (3). Удължаването на пътя на неизбистрената суспензия дава достатъчно време на фините твърди частици да паднат на дъното.

Поради факта, че водното налягане от двете страни на преградата е еднакво, не е необходимо тя да е солидна, а може да бъде направена от брезент, пластмаса или друг вид лек и гъвкав материал. Тя също така може да бъде плаваща или висяща от въже, поддържано от плаващи платформи или поплавъци.



Фиг. 1. Вертикален разрез на язовир с монтирана напречно преграда.



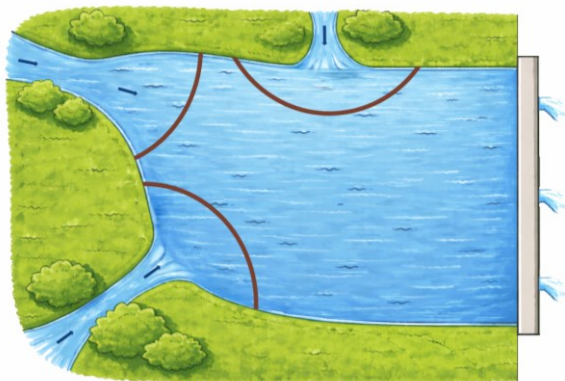
Фиг. 2. Изглед отгоре на язовир с монтирана напречно преграда

Механизмът на действие на съоръжението включва няколко етапа. В началото мътната вода навлиза в първата част на водоема. След това постъпилата суспензия среща преградата и потъва надолу, като избутва водата от долните слоеве под преградата към втората част на водоема. Накрая преминалата към втората част на водоема вода изтласква нагоре вече избистрената вода през преливника на язовирната стена или водната кула.

При тези последователни движения (надолу, настрани, нагоре) мътната вода изминава по-дълъг път, а тежките частици имат достатъчно време да се утаят на дъното и така остават в първата част на водоема. Дълбочината на потапяне на преградата е основен механизъм за регулиране на времето на движение на водата през различните етапи. Тази дълбочина се определя индивидуално за всеки водоем в зависимост от неговата дълбочина, ширина и дължина, както и от вида на фините твърди частици и специфичната им терминална скорост на утаяване, според която времето за гравитационно утаяване може да варира в широки граници.

Допълнително предимство на съоръжението е, че избистрената вода, която изтича, е по-хладна през лятото и по-топла през зимата, тъй като идва от по-голяма дълбочина. Фактът, че преградата е плаваща също така позволява тя да се движи с покачването или спадането на нивото на водоема.

В зависимост от специфичните условия във водоема (например брой места, от които постъпва входящата суспензия) могат да бъдат монтирани повече от една преграда на различни позиции и потопени на различни дълбочини (фиг. 3).

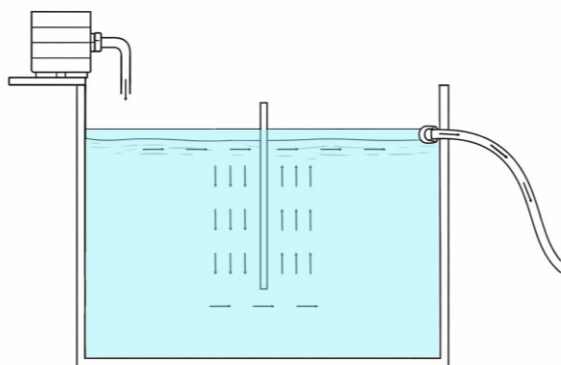


Фиг. 3. Изглед отгоре на язовир с монтирани няколко прегради.

Идеята за съоръжението е подадена в Патентното ведомство на Република България и е регистрирана като „Полезен модел“ под наименование „Съоръжение за утаяване на фини частици от суспензии“, с Рег. № 2998 U1 от 31.05.2017 г. (Дончев и съавт., 2017).

Експериментална проверка на полезния модел

С цел проверка на ефективността на полезния модел е създаден прототип, представляващ резервоар с обем 100 л и подвижна преграда, изработени от плексиглас (фиг. 4). За целите на експеримента резервоарът е напълнен с чиста вода и към него е монтирано захранващо устройство, съответстващо на захранваща река в язовир, от което се подава водата. В резервоара е направен отвор за изтичане, съответстващ на отвора през водна кула, от който се отвежда избистрената вода. За да се проследи движението на входящата вода през резервоара, е използван оцветяващ агент, съответстващ на постъпилата суспензия. Проведени са два опита с оцветяване на водата.



Фиг. 4. Илюстрация на експерименталното съоръжение.

1. Опит без поставена преграда. В захранващото устройство е налята оцветената вода и е засечено времето, за което тя достига до отвора за изтичане. Наблюдаваното движение на оцветената вода е основно по повърхността на водната маса. Времето за достигане на оцветената вода до отвора за изтичане е 1 мин. В следващите 5 мин оцветената

вода започва постепенно да се смесва с останалата вода в резервоара.

2. Опит с поставена преграда. За втория опит е поставена преграда по средата на резервоара, потопена до около 2/3 от неговата дълбочина. Отново е засечено времето, за което оцветената вода достига до отвора за изтичане. Поради наличието на преграда оцветената течност се среща с нея и започва да се движи надолу, като след 5 мин изпълва първата част на резервоара. След това оцветената течност започва да се движи хоризонтално под преградата, прониквайки слабо във втората част на резервоара. Дори при по-интензивно движение на слоевете в първата част на резервоара, не се наблюдава динамика във втората му част. На осмата минута оцветената течност започва да се издига във втората част на резервоара (след преградата). Движението е ламинарно и бавно (около 2 см в минута). От петнадесетата до двадесетата минута оцветяването във втората част на резервоара продължава много бавно. На двадесет и осмата минута оцветената вода почти е достигнала до повърхността на втората част на резервоара, а на тридесетата минута вече започва да изтича през отвора.

Приложение на полезния модел в практиката

През месец декември 2020 г. гореописаното съоръжение е изградено в хвостохранилище „Челопечене“, което служи като езеро за утаяване на оборотната вода към обогатителна фабрика „Барит Майнинг“. На третия ден от поставянето на преградата вече се наблюдава ясно разграничение в оцветяването и бистротата на водната маса преди плаващата бариера и след нея, както личи от фиг. 5.



Фиг. 5. Снимка на монтираното на хвостохранилище „Челопечене“ съоръжение.

Монтираната плаваща преграда е направена от армиран найлон и се поддържа от въже. На всеки метър дължина от въжето са привързани по три двулитрови празни пластмасови бутилки, които играят ролята на поплавъци.

Таблица 1 представя данни за техническите характеристики на типа водоем (хвостохранилище) и оборотната вода, която се подава към него (Барит Майнинг, 2026).

За изпомпване на избистрена вода към фабриката работят непрекъснато два понтона с помпи с дебит по 300 м³/час. За три дни в месеца едната помпа (300 м³/час) за избистрена оборотна вода се спира и се включва друга помпа с дебит 300 м³/час, която подава свежа вода, за да компенсира водата от езерото, която се е изпарила.

Таблица 1. Технически характеристики на хвостохранилище „Челопечене“

Характеристика	Стойност
Площ на утаителното езеро	100 дка
Дълбочина на утаителното езеро	3,5 м
Дължина на плаващата преграда	120 м
Дълбочина на потапяне на плаващата преграда	1,2 м
Количество мътна вода, постъпваща в хвостохранилището	600 м ³ /час
Съдържание на твърда фаза в мътната вода	11%
Размер на 70% от фините твърди частици	< 20 микрона
Количество избистрена вода, постъпваща във фабриката	600 м ³ /час

Преди поставяне на преградата обогатителната фабрика работи с 60% свежа вода и 40% оборотна вода. След монтиране на съоръжението фабриката започва да работи с 95% оборотна вода и едва 5% свежа вода на месец, а свежата и оборотната вода не се различават по отношение на бистротата. Въпреки че преградата е поставена само експериментално, тя изпълнява функцията си и към днешна дата.

Обсъждане

Резултатите от опитите в контролирани условия и монтирането на плаваща преграда на действителен водоем в комбинация със заключенията от предходни проучвания подкрепят твърдението, че този тип съоръжения ефективно удължават пътя на постъпващата суспензия и благоприятстват условията за естествено утаяване, като ограничават турбулентността и увеличават времето на престой.

Лабораторният експеримент разкрива, че поставянето на преграда забавя потока на суспензията в изградения воден резервоар приблизително 30 пъти. Това наблюдение позволява оценката и моделирането на времето на престой при различни геометрични параметри на водоемите.

Практическото приложение на полезния модел в хвостохранилище „Челопечене“ също потвърждава ефективността на решението, като успява да постигне почти пълно избистряне на постъпващата оборотна вода и намалява необходимостта от използването на свежа вода в обогатителната фабрика с приблизително 92% спрямо първоначалното ниво.

Допълнително преимущество на бариерата е, че предизвиканото от нея разместване на водните слоеве води до по-малки температурни колебания през денонощието и сезоните. Този благоприятен ефект може да допринесе за ограничаване на топлинното замърсяване, свързано с човешка дейност. Една от причините за възникване на такова замърсяване са промишлените охлаждащи системи, които използват студена вода за охлаждане, след което връщат загрялата вода обратно към водоизточника.

От една страна, поддържането на относително стабилен температурен режим е от полза за заобикалящата среда и приемния обект (в случая фабриката), тъй като намалява температурния шок и създава по-благоприятен микроклимат. Това е особено полезно на места с екстремни зимни и летни температури и по-чувствителни

производствени процеси, където се изисква контрол над температурата на постъпващата вода. От друга страна, по-хладната водна повърхност през лятото например ограничава риска от бурен цъфтеж на водни организми, което влияе благоприятно върху кислородния баланс в дадено водно тяло.

Плаващият характер на преградата на свой ред позволява автоматично адаптиране към промени в нивото на водоема, намалява риска от структурни повреди и води до по-ниски разходи за поддръжка и реконструкция.

За постигане на висока ефективност при прилагането на това технологично решение е необходимо при проектирането на бариерата да се вземат предвид специфичните характеристики на водоема и постъпващата суспензия. Следва да се отчете, че законът на Стокс е в сила само при малки частици в ламинарен поток ($Re_p < 1$). При частици с размер под 1 микрон гравитационното утаяване е силно ограничено, поради което често се прилагат коагулация и флокулация.

При изработването и поддържането на плаващата преграда трябва да се обърне внимание и на използваните материалите от екологична гледна точка. Във вида, в който е изградено работещото съоръжение, съществува риск от изпускане на микропластмаси в хвостохранилището заради механичното износване под влиянието на триенето, слънцето и водата. Тъй като в утаителите за минни отпадъци условията обикновено са по-агресивни от тези в други водоеми поради наличието на абразивни частици и променлива киселинност, това води до още един потенциален източник на замърсяване на водата там. С цел предотвратяване отделянето на микропластмаси следва да се разработят щадящи конструктивни решения за намаляване на механичното триене, както и да се потърсят алтернативни материали за направа на самата преграда и поплавците (например неръждаема стомана, алуминий, стоманобетон, керамика или др.).

Описаната технология е приложима както за водоеми с промишлено предназначение, така и за водоеми, предвидени за напояване и питейни нужди. Системата работи пасивно и не изисква влагане на допълнителна енергия и материали, което е основополагащ принцип в устойчивото инженерство. С нейна помощ се повишава ресурсната производителност и става по-лесно повторното хранване на отпадни води в производствения цикъл. По този начин се постига намаляване на ресурсния и енергийния отпечатък в съответствие с поставените цели за устойчиво развитие.

Заключение

Използването на пасивни плаващи прегради за утаяване на суспендирани твърди частици представлява енергийно ефективно и икономически устойчиво решение за избистряне на постъпващата вода в различни видове водоеми. Предложената технология постига значително намаление на мътността на третиранията вода, като удължава пътя на суспензията и времето за утаяване. Това свежда до минимум или напълно изключва необходимостта от първично избистряне с химически агенти, улеснявайки последващото рециклиране на водата. Методът е приложим за промишлени, селскостопански и битови нужди, като допринася за устойчивото управление на водните

ресурси и подкрепя прилагането на принципите на кръговата икономика.

Литература

- Барит Майнинг. (2026). *Технически характеристики на хвостохранилище „Челопечене“*. [Вътрешна база данни].
- Дончев, Р., Дончева, И., Владимирев, В., & Владимирев, С. (2017). Свидетелство за регистрация на полезен модел № BG 2998 U1. Патентно ведомство на Република България, 31.05.2017 г.
- Европейска комисия. (2020). *Съобщение на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите: Нов план за действие относно кръговата икономика*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098#footnote5>.
- Европейски парламент, Съвет на Европейския съюз. (2020). *Регламент (ЕС) 2020/741 на Европейския парламент и на Съвета от 25 май 2020 година относно минималните изисквания за повторното използване на водата*. Официален вестник на Европейския съюз. <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>.
- Утаители за отпадъчни води. (2015). *Екология и инфраструктура*. 1. TLL Media. <https://www.ecology-and-infrastructure.bg/bg/utaiteli-za-otpadachni-vodi/2/213/>.
- Al-Mafraji, E. A., & Al-Mussawy, H. A. (2021). Using lower and upper baffle arrangements to enhance sedimentation tank performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1067(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1067/1/012009>.
- Banaś, M., & Hilger, B. (2024). Proposal for New Method for Calculating Sedimentation Process Efficiency in Water Treatment Plants. *Materials*, 17(13), 3285. <https://doi.org/10.3390/ma17133285>.
- Bruno, P., Bruno, F., Di Bella, G., Napoli, E., & De Marchis, M. (2024). CFD study on the effect of the baffles geometry in sedimentation efficiency in wastewater treatments through Large Eddy Simulations. *Journal of Environmental Management*, 373, 123536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123536>.
- Hassanien, M., Elmolla, E., & Mahmoud, U. F. (2018). Modeling the effect of inlet baffle longitudinal and vertical positions on the settling tank performance with computational fluid dynamics. *Al-Azhar University Civil Engineering Research Magazine (CERM)*, 40(2). Retrieved from <https://www.azharcermjournal.com/CERMF1804/P18-04-11.pdf>.
- Juraev, S., Akramov, A., Abdurazzokov, A., & Pathidinova, U. (2022). Increasing the efficiency of sedimentation tanks for drinking water treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1076(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012049>.
- K., Y.P. (2024). Sedimentation in Water and Used Water Purification. In: Lahnsteiner, J. (eds) *Handbook of Water and Used Water Purification*. (pp. 29–54). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78000-9_2.
- Liu, Y., Zhang, P., & Wei, W. (2016). Simulation of effect of a baffle on the flow patterns and hydraulic efficiency in a sedimentation tank. *Desalination and Water Treatment*, 57(54), 25950–25959. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1157521>.
- Merkus, H.G. (2009). Sedimentation Techniques. In: *Particle Size Measurements*. Particle Technology Series, vol 17. (pp. 319–348). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9016-5_13.
- Moran, S. (2018). Fluid mechanics. *An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design*. Elsevier EBooks. (pp. 53–58). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811309-7.00005-9>.
- Razmi, A. M., Bakhtyar, R., Firoozabadi, B., & Barry, D. A. (2013). Experiments and numerical modeling of baffle configuration effects on the performance of sedimentation tanks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(2), 140–150. <https://doi.org/10.1139/cjce-2012-0176>.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2024, February). *Water use and stress*. Retrieved from Our World in Data. <https://ourworldindata.org/water-use-stress>.
- Shahrokhi, M., Rostami, F., Azlin, M., Sabbagh-Yazdi, S.-R., Syafalni, S., & Abdullah, R. (2012). The effect of baffle angle on primary sedimentation tank efficiency. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(3), 293–303. <https://doi.org/10.1139/l2012-002>.
- Shammas, N.K., Kumar, I.J., Chang, S.Y., Hung, Y.T. (2005). Sedimentation. In: Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K. (eds) *Physicochemical Treatment Processes*. Handbook of Environmental Engineering, vol 3. (pp. 379–429). Humana Press. <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:379>.
- Smol, M., Adam, C., & Preisner, M. (2020). Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(3), 682–697. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>