Potencjał regulowanych kolumn napływu ścieków do osadników wtórnych – na przykładzie oczyszczalni ścieków w Dreźnie

Dr Martin Armbruster, Hydrograv GmbH

Dr Matthias Barth, Stadtentwässerung Dresden GmbH / Miejskie Przedsiębiorstwo Kanalizacji w Dreźnie Sp. z o.o.

Streszczenie

Osadniki wtórne często ograniczają wydajność oczyszczalni ścieków. Jeśli zachodzi konieczność zwiększenia wydajności lub redukcji zawiesiny na odpływie przed dobudowaniem dodatkowych osadników lub filtrów opłaca się określić, czy istnieje potencjał do zwiększenia wydajności przy zastosowaniu regulatora napływu. Badania takie wykonuje się przy wykorzystaniu symulacji CFD – komputerowej symulacji dynamiki płynów w osadniku. W przypadku osadników wtórnych w oczyszczalni ścieków w Dreźnie zainstalowanie regulatorów napływu hydrograv adapt okazało się środkiem prowadzącym do tak postawionego celu.

Po modernizacji oczyszczalni potwierdziły się przewidywane na podstawie symulacji CFD wyraźnie pozytywne efekty nie tylko odnośnie przejrzystości, zawiesiny ogólnej i stężenia fosforu na odpływie, lecz także możliwości zwiększonego obciążenia osadnika wtórnego. W ten sposób uniknięto kosztownej rozbudowy i jednocześnie wyraźnie poprawiono wartości osiągane na odpływie. W przypadku klasycznych oczyszczalni ścieków regulatory napływu do osadników wtórnych wyznaczają nowy poziom w obszarze osiągalnych wartości cząstek stałych na odpływie – przy średniej mętności wynoszącej ok. 2 NTU w porze bez opadów deszczu tj. na poziomie porównywalnym z wieloma urządzeniami filtrującymi i to przy jednoczesnym wzroście obciążenia osadnika.

Wprowadzenie

Osadniki wtórne stanowią w oczyszczalni ścieków bezpośrednie połączenie z otaczającym środowiskiem i dlatego w wyjątkowo dużym stopniu wpływają na działanie całej oczyszczalni ścieków. Wzajemne oddziaływanie wahającego się obciążenia i zależnej od obciążenia zmiennej geometrii regulatora napływu ścieków do osadników wtórnych determinują przy tym zarówno odfiltrowanie zawiesiny, jak i możliwy stopień obciążenia ładunkiem i obciążenia hydraulicznego przy oczyszczaniu metodą osadu czynnego. Ze względu na występujące regularnie w oczyszczalniach ścieków szerokie spektrum obciążenia i wynikające z tego bardzo duże różnice położenia płaszcza osadu firma Hydrograv stworzyła regulatory napływu ścieków do osadników wtórnych, których wysokość automatycznie dostosowuje się do aktualnego obciążenia osadnika. Dzięki tym regulatorom możliwa jest ciągła optymalizacja położenia i szerokości otworu napływowego zgodnie z aktualnymi obciążeniami i tym samym poziomu płaszcza osadu.

Wydajność osadników wtórnych określają procesy wynikające z mechaniki płynów i związana z nimi geometria oraz w istotny sposób następujące czynniki:

- Stężenie osadu indykuje efekty gęstości, które determinują fizykę przepływu.
- Sedymentacja osadu, co opisuje indeks osadu.
- Zagęszczony osad jest odciągany strumieniem o dużym objętościowym natężeniu przepływu, co dla osadnika wtórnego oznacza większy dopływ.

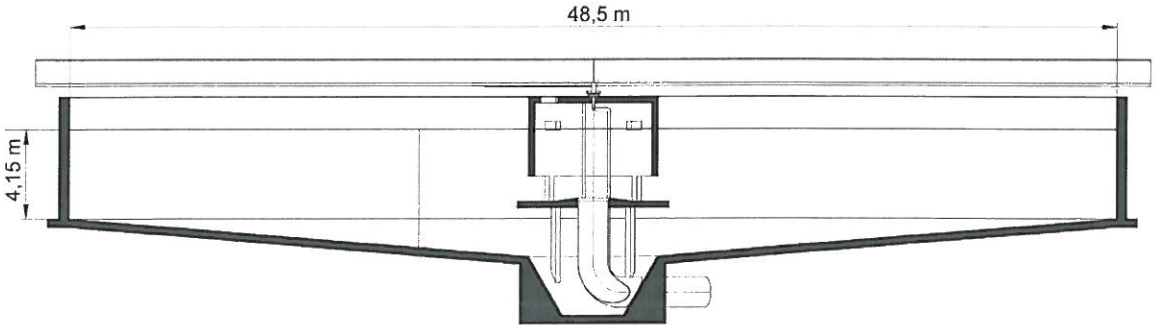
Konwencjonalne kolumny napływu do osadników do tej pory były nieregulowane i dlatego doprowadzały one mieszaninę ścieków i osadu zawsze na tej samej wysokości. Przy tym powstawały znacznie zaburzenia w gęstości, tym większe im większy jest odstęp pomiędzy płaszczem osadu, a wysokością na której lokalizowany jest napływ. Jeśli napływ znajduje się powyżej płaszcza osadu, nurt na wlocie opada poprzez ściek sklarowany, a napływający osad nanosi wzbijające się kłaczki osadu do sklarowanego ścieku. Ponieważ osad czynny w ogóle nie osadza się jako pojedynczy kłaczek, osad naniesiony przez nurt do oczyszczonego ścieku jest usuwany poprzez odprowadzenie ścieku sklarowanego i powoduje podwyższenie zawartości cząsteczek osadu na odpływie osadnika wtórnego.

Jeśli natomiast napływ zlokalizowany jest poniżej poziomu płaszcza osadu, w osadzie zostają wyłapane także pojedyncze bakterie z cząstkami osadu, nie powodują wtedy one zmętnienia czystego ścieku. To zjawisko nazywa się „działaniem filtrującym kłaczków". Jednakże wraz ze zwiększającą się wysokością złoża osadu i tym samym zwiększającym się odstępem pomiędzy płaszczem osadu, a wysokością na której zlokalizowany jest wlot ścieków wzbija się coraz więcej osadu, co ma silny negatywny wpływ na wydajność osadnika. Wewnętrzne przepływy poważnie się zwiększają i osadnik jest obciążony znacznie bardziej niż można oczekiwać na podstawie wyliczeń teoretycznych (Armbruster, 2004). Nisko zlokalizowana kolumna napływu do osadników ponadto obniża zawartość zawiesiny w strefie czynnej poprzez niepotrzebnie silne przemieszczanie osadu i obniża tym samym wydajność redukcji azotu. Ponadto poziom płaszcza osadu wrasta i w ten sposób zmniejsza się przepustowość hydrauliczna i zabezpieczenie przed utratą biomasy z osadnika.

Stan wyjściowy osadników wtórnych w Dreźnie i analiza danych eksploatacyjnych

Część biologiczna oczyszczalni ścieków Dreźnie obecnie jest rozbudowywana. Dzięki symulacjom opartym na obliczeniowej dynamice płynów (CFD) przeanalizowano w jakim stopniu można zwiększyć efektywność osadników poprzez zastosowanie regulatorów napływu ścieków do osadnika wtórnego przy jednoczesnym zagwarantowaniu oczekiwanych celów oczyszczania.

Strefa osadników wtórnych w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz składa się z sześciu okrągłych zbiorników o średnicy 48,5 m i 2/3 głębokości wynoszącej ok. 4,62 m (rys. 1). Cześć środkowa ma średnicę D = 6,0 m. Otwór wlotowy dotychczas umieszczony był na wysokości 2,56 m nad dnem ma szerokość ok. 1,15 m i pionowe lamele. Osadniki są wyposażone w zgarniacze, odpływ ścieków następuje za pomocą zanurzonych rur.

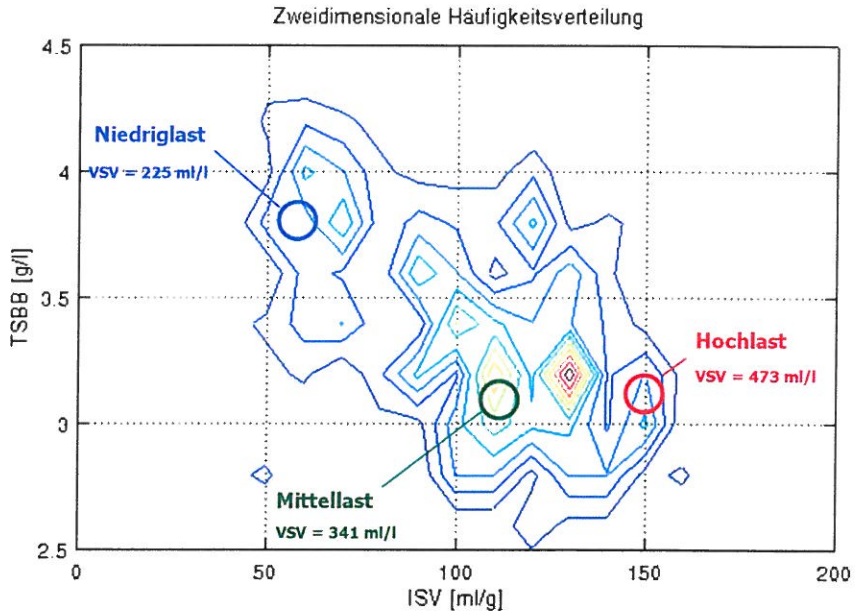


Rys. 1: Osadnik wtórny w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz. Przekrój poprzeczny.

Zadaniem właściwego badania CFD jest nie tylko optymalizacja i wykazanie wyliczonego idealnego obciążenia osadników, lecz także ich całego faktycznego spektrum obciążenia w przypadku pory roku bez deszczu i z deszczem oraz w przypadku wysokiego poziomu stężenia osadu jak i wysokiego indeksu osadu. Ponieważ zadaniem oczyszczalni ścieków jest uzyskanie najlepszych osiągalnych wartości na odpływie nie tylko okresowo dla mniej lub bardziej przypadkowo wybranych kombinacji warunków pracy, lecz także zapewnienie

ich w każdej chwili dla dowolnych realnych obciążeń. Dlatego firma Proffico - Hydrograv przed symulacjami kompleksowo analizuje dane eksploatacyjne pod kątem statystycznym, żeby możliwie jak najlepiej ująć spektrum obciążeń. Na tej podstawie ustala się trzy i więcej istotnych przypadków obciążenia niskiego, średniego i wysokiego, na podstawie których osadniki zostają ocenione zarówno pod kątem ich stanu wyjściowego, jak i możliwości ich optymalizacji. Dla najczęstszej kombinacji obciążeń „obciążenie średnie" (percentyl 50% obciążenia osadnika) tworzy się optymalny model regulatora napływu do osadników wtórnych. Dla najniższego obciążenia (percentyl 10% obciążenia osadnika) należy wskazać zabezpieczenie przed flokulacją przy zwiększonej zawiesinie. W przypadku wysokiego obciążenia (percentyl 95 % obciążenia osadnika występującego rzeczywiście w oczyszczalni ścieków) wskazuje się zabezpieczenie przed utratą biomasy. Dla oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz przeprowadzono dwuwymiarową analizę rozkładu częstotliwości porównawczej objętości osadu (patrz rys. 2) dla przypadków obciążeń wymienionych w tabeli 1.

Dwuwymiarowy rozkład częstotliwości



Oznaczenia na rysunku: „Niedriglast" - niskie obciążenie, „Mittellast" – średnie obciążenie, „Hochlast" –wysokie obciążenie

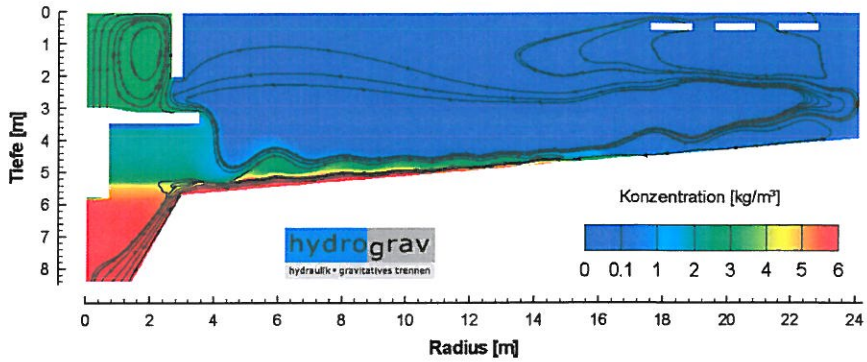
Rys. 2: Ocena danych eksploatacyjnych z dwuwymiarowym rozkładem indeksu osadu i stężenia osadu czynnego w komorze biologicznej. Największe częstotliwości występowania w obszarze brązowo-czerwonym.

Tabela 1: Obciążenia symulowane w celu podstawowej optymalizacji (porównawcza objętość osadu - średnie obciążenie, porównawcza objętość osadu – wysokie obciążenie i porównawcza objętość osadu – niskie obciążenie).

Parametr	**Porównawcza objętość osadu - obciążenie niskie**	**Porównawcza objętość osadu - obciążenie średnie**	**Porównawcza objętość osadu - obciążenie wysokie**
Dopływ okres suszy [l/s]	720	1.213	2.041
Dopływ okres deszczowy [l/s]	4.000	4.000	4.000
TS_{BB} [g/l] (stężenie osadu)	3,76	3,10	3,25
ISV (Indeks osadu) [ml/g]	60	110	150
$(q_{SV})_{RW}$ [l/(m²·h)]	297	450	643

Możliwości optymalizacji i modernizacji wykazane za pomocą stymulacji

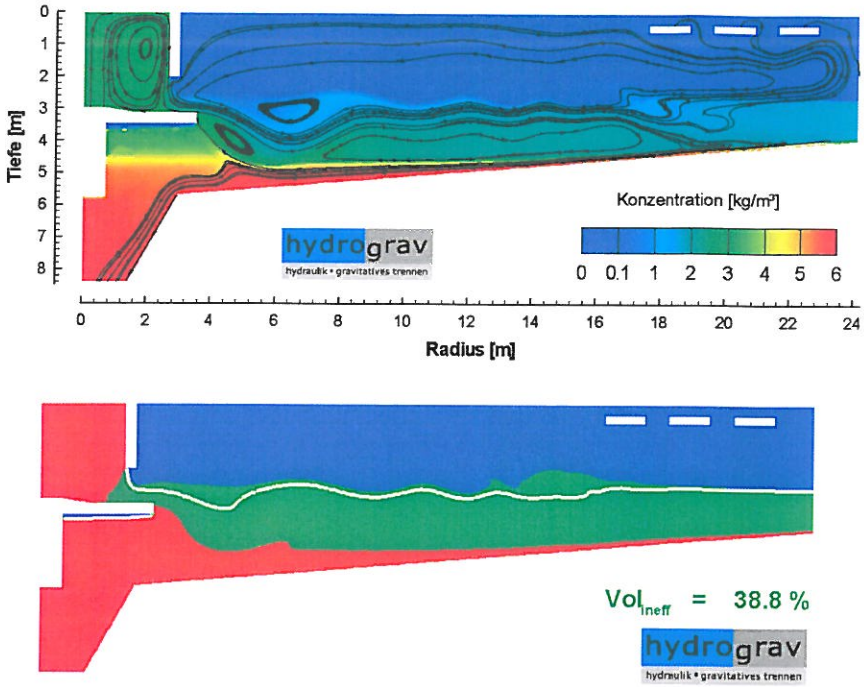
W pierwotnym osadniku wtórnym była stała przestrzeń napływu, która także przy średnim obciążeniu znajdowała się dużo powyżej płaszcza osadu – napływ ścieków od góry ku dołowi jest wyraźnie widoczny na rysunku 3 – co prowadziło do silnego zmętnienia w strefie ścieku czystego i tym samym podwyższonych wartości na odpływie spowodowanych wypływem kłaczków.



Oznaczenia na rysunku: „Tiefe" – głębokość, „Konzentration" – stężenie, „Radius" – promień

Rys. 3: Symulacja geometrii przy stanie wyjściowym. Okres suszy, średnia objętość osadu, zarys stężenia i drogi przepływu.

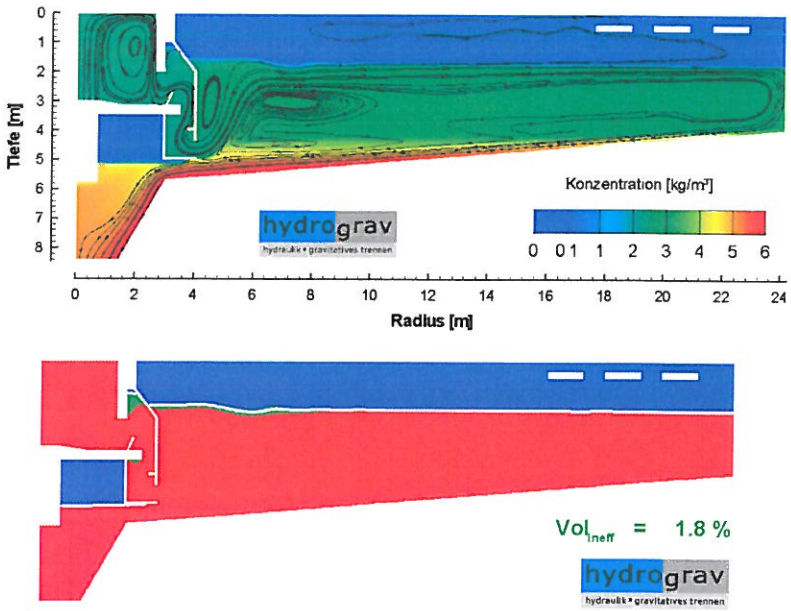
Nawet w przypadku deszczu (rys. 4) przy średnim obciążeniu napływ znajduje się zbyt wysoko i sprawia, że płaszcz zachowuje się bardzo niespokojnie i powstaje znaczna nieaktywna strefa (ilość zawiesin < 3 g/l, objętość ok. 39%) – tym samym dochodzi do silnego zmętnienia i dużej zawartości zawiesiny w odpływie.



Oznaczenia na rysunku: „Tiefe" – głębokość, „Konzentration" – stężenie, „Radius" – promień

Rys. 4: Symulacja geometrii przy stanie wyjściowym. Okres deszczowy, średnia objętość osadu, u góry: zarys stężenia i drogi przepływu, na dole: podział pola stężenia na strefy czynnościowe: zielona = strefa nieefektywna, (stężenie < stężenie osadu czynnego w komorze biologicznej), czerwona = obszar zagęszczonego osadu, niebieska = ścieki oczyszczone.

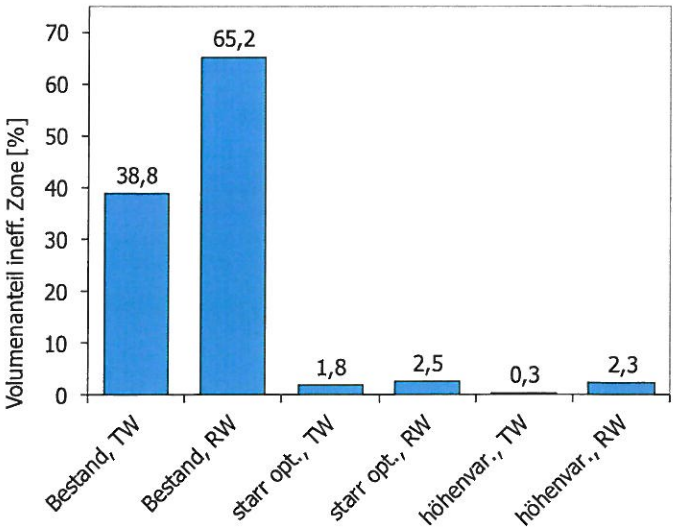
Dla średniego obciążenia w symulacji poprzez automatyczną optymalizację podstawową tworzy się optymalny regulator napływu do osadnika wtórnego. W nim napływ znajduje się niżej niż istniejący i ma mniejszą szerokość. Wynik symulacji (por. rys. 5) wyraźnie pokazuje, że pozostająca strefa nieaktywna (obszar zielony) z rozcieńczonym osadem jest bardzo wąska i że jednocześnie zwierciadło osadu uspokaja się.



Oznaczenia na rysunku: „Tiefe" – głębokość, „Konzentration" – stężenie, „Radius" – promień

Rys. 5: Symulacja zoptymalizowanej geometrii w przypadku stałej kolumny napływu. Okres deszczowy, średnia objętość osadu, u góry: zarys stężenia i drogi przepływu, na dole: podział pola stężenia na strefy czynnościowe: zielona = strefa nieefektywna, stężenie osadu mniejsze od stężenia napływu, czerwona = obszar z zagęszczonym osadem, niebieska = ścieki oczyszczone.

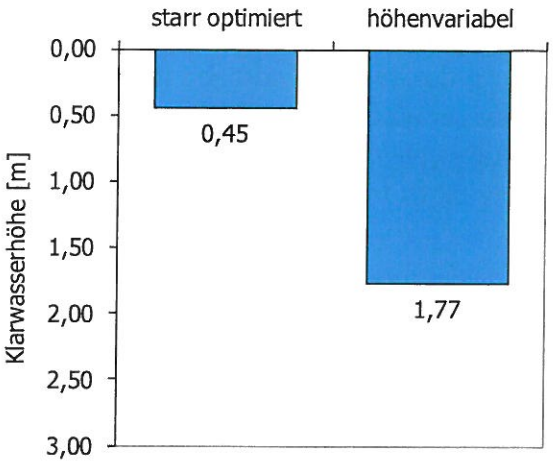
Funkcjonowanie zoptymalizowanej stałej kolumny napływu i regulatora napływu do osadników wtórnych w następnym kroku symulacji sprawdza się pod kątem niskiego i dużego obciążenia. Okazuje się przy tym, że dzięki regulatorowi napływu od osadników wtórnych możliwe było osiągnięcie dalszej poprawy jakości na odpływie, ponieważ podczas okresu suszy napływ możne być ponownie zlokalizowany znacznie niżej (rys. 6).



Oznaczenia na rysunku: „Volumenanteil ineffe. Zone" [%] – udział objętościowy strefy nieefektywnej [%]; „Bestand", RW- stan wyjściowy, okres deszczowy; „starr opt.", „RW" – zoptymalizowana stała kolumna napływu, okres suszy; „höhenvar.", „TW" - regulator napływu do osadników wtórnych, okres suszy; „höhenvar.", „RW" - regulator napływu do osadników wtórnych, okres deszczowy;

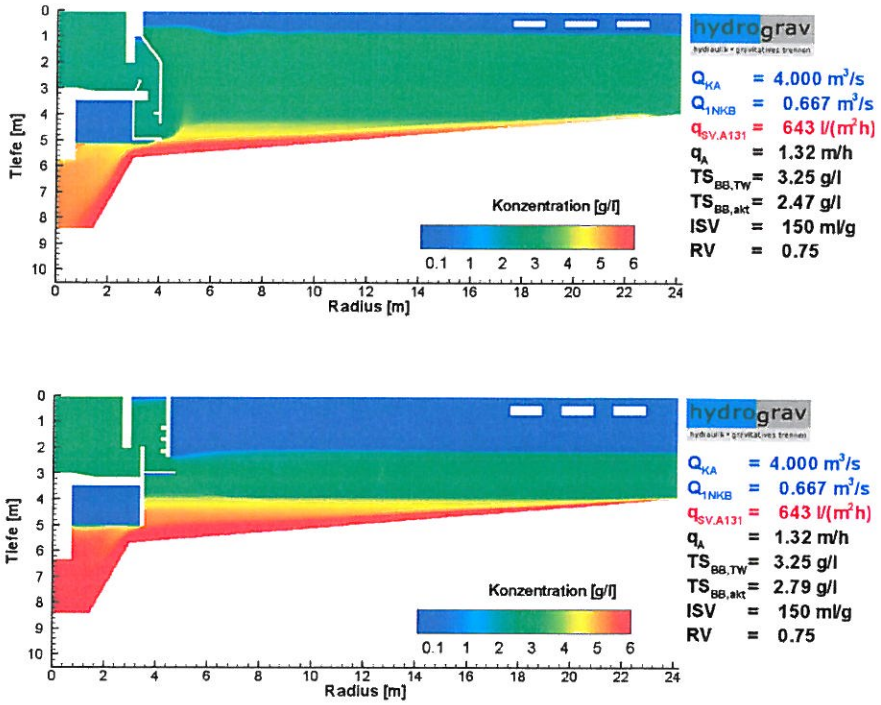
Rys. 6: Wielkość strefy nieefektywnej, porównanie pomiędzy geometrią stanu wyjściowego, optymalizacją stałej kolumny napływu i regulatorem napływu do osadników wtórnych.

Żeby przetestować zabezpieczenie przed utratą biomasy ustalono i porównano wysokości czystego ścieku przy dużych obciążeniach. Okazuje się, że bezpieczne działanie nie jest możliwe w przypadku dużego obciążenia przy stężeniu osadu czynnego w komorze = 3,25 g/l i indeksie osadu = 150 ml/g i przy stałej kolumnie napływu do osadnika wtórnego zaplanowanej na niewielką zawartość zawiesiny, która teraz wzbija dużo osadu. Poziom płaszcza osadu niebezpiecznie się podnosi, strefa czystego ścieku jest za mała. Tylko przy szkodliwym dla docelowego oczyszczania obniżeniu stężenia osadu czynnego w komorze na 3,0 g/l osadnik funkcjonowałby z nowo opracowaną stałą kolumną napływu w stopniu jeszcze wystarczająco bezpiecznym. Regulator napływu do osadnika wtórnego, który w celu zapewnienia wydajności przy dużym obciążeniu ma nawet większy odstęp od dna niż w stanie pierwotnym także przy wartości 3,25 g/l zapewnia optymalną geometrię przepływu płynów i daje w przeciwieństwie do stałej kolumny napływu przy takim wysokim obciążeniu ciągle wyraźną rezerwę bezpieczeństwa wynoszącą w przybliżeniu dwa metry (por. rys 7 i 8).



Oznaczenia na rysunku: „starr optimiert" – zoptymalizowana stała kolumna napływu do osadnika wtórnego, „höhenvariabel" – regulator napływu do osadnika wtórnego; „Klarwasserhöhe" [m] – wysokość ścieku oczyszczonego [m]

Rys. 7: Wielkość istniejącej strefy ścieków czystych; porównanie wariantów optymalizacji w porze deszczowej i przy dużej objętości osadu.



Oznaczenia na rysunku: „Tiefe"- głębokość, „Konzentration" – stężenie, „Radius" - promień

Rys. 8: Symulacja pora deszczowa, porównawcza objętość osadu-duże obciążenie. Pole stężenia. U góry: stała kolumna napływu do osadnika wtórnego, na dole: regulator napływu do osadnika wtórnego.

Wyniki udowadniają, że osadniki wtórne z zamontowanym regulatorem napływu pozwalają oczekiwać zarówno możliwości większego ich obciążenia, jak również redukcji zawiesiny na odpływie. Regulator napływu ścieków do osadnika wtórnego nadążnie dostosowuje układ przepływów w osadniku do aktualnego optimum o wiele precyzyjniej niż stała kolumna napływu, której działanie stanowi swoisty kompromis. Wysokość napływu można w tym przypadku regulować w obu kierunkach, a więc lokalizować niżej lub wyżej, na co nie pozwala stała kolumna napływu do osadnika wtórnego.

Z tego powodu eksploatator oczyszczalni ścieków zdecydował się na zainstalowanie regulatorów napływu do osadników wtórnych. Zdjęcie 9 pokazuje osadniki przed modernizacją i w jej trakcie. Na zdjęciu 10 pokazano gotowy regulator napływu do osadnika wtórnego (średnica =9,8 m, wysokość = 8,7 m) w pozycji wysokiej i niskiej. Wysokość otworu wlotowego można regulować o wyliczone wymagane 2,9 metra. Ze względów praktycznych wynikających z eksploatacji osadniki można było wyłączać z użytku kolejno po sobie tylko jesienią i zimą. Cały okres modernizacji trwał 14 miesięcy przy czasie budowy wynoszącym trzy tygodnie na jeden osadnik.

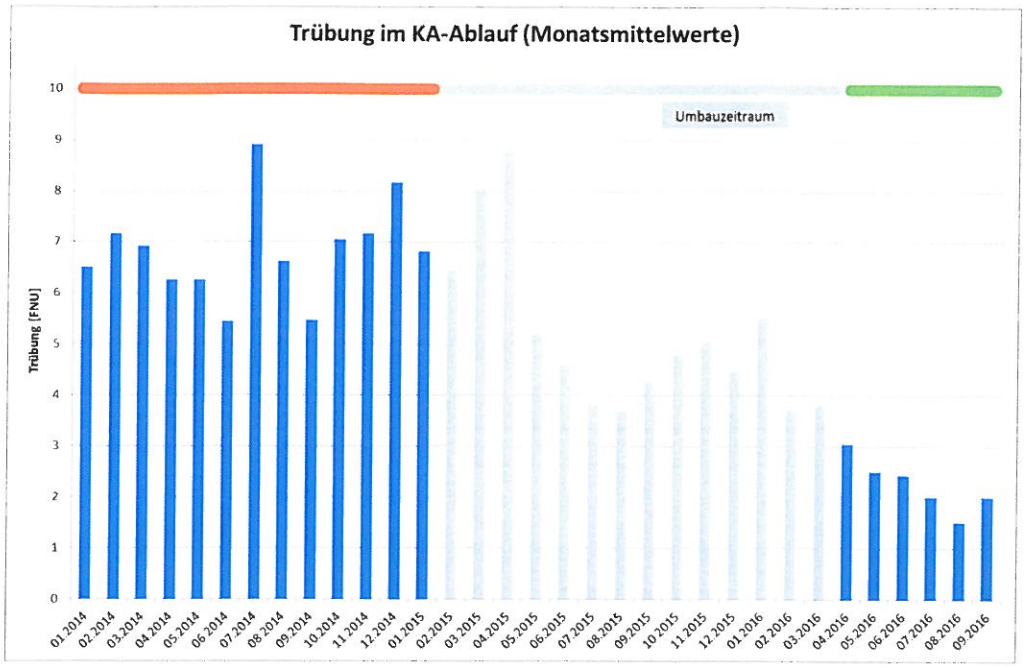
Zdj. 9: Osadnik wtórny w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz. Po lewej: przed modernizacją, po prawej: w trakcie modernizacji.

Rys. 10: Regulator napływu do osadnika wtórnego hydrograv adapt w osadniku wtórnym w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz. Po lewej stronie: w pozycji niskiej, po prawej stronie: w pozycji wysokiej.

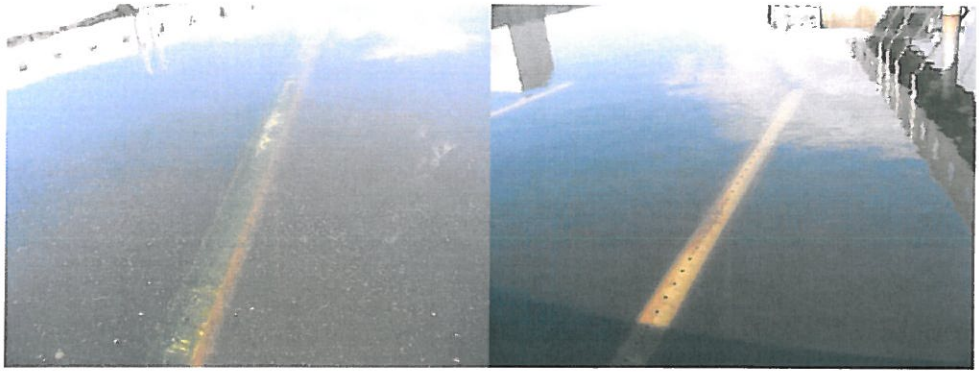
Wyniki eksploatacji przed modernizacją i po modernizacji

Wyniki pokazują, że dzięki regulatorom napływu do osadników wtórnych na odpływie osiągane są lepsze wartości w zakresie mętności i zawiesiny i tym samym odnośnie chemicznego zapotrzebowania tlenu i fosforu. Dzięki możliwemu podwyższeniu stężenia osadu czynnego w komorze biologicznej i ograniczeniu przemieszczania się osadu w przypadku ścieków zmieszanych modernizacja pozwala także oczekiwać pozytywnego oddziaływania na stężenie azotu.

Rys. 11 pokazuje wpływ modernizacji napływu do osadników na mętność na odpływie. Po modernizacji średnia miesięczna mętność spadła stale do 2 NTU i wynosi tym samym tylko jedną trzecią wartości z okresu przed zainstalowaniem regulatorów napływu do osadników wtórnych. Podczas modernizacji w tym samym czasie fotografowano (zdj. 12) odpływ czystych ścieków w osadniku ze stałą kolumną napływu i sąsiednim osadniku wtórym już wyposażonym w regulator napływu. Dobrze widoczne jest działanie regulatora hydrograv, ściek sklarowany z osadnika wtórnego wyposażonego w regulator napływu jest o wiele przejrzystszy i zawiera mniej kłaczków.

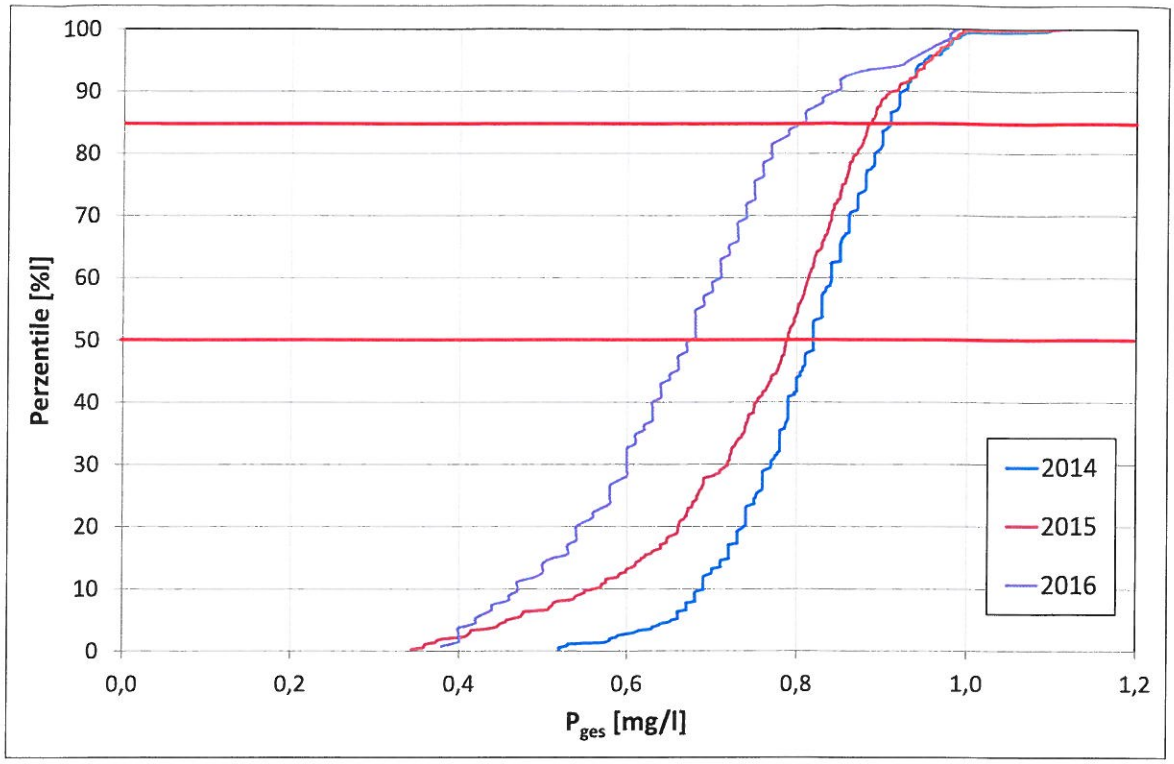


Rys. 11: Mętność na odpływie w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz (średnie wartości miesięczne).



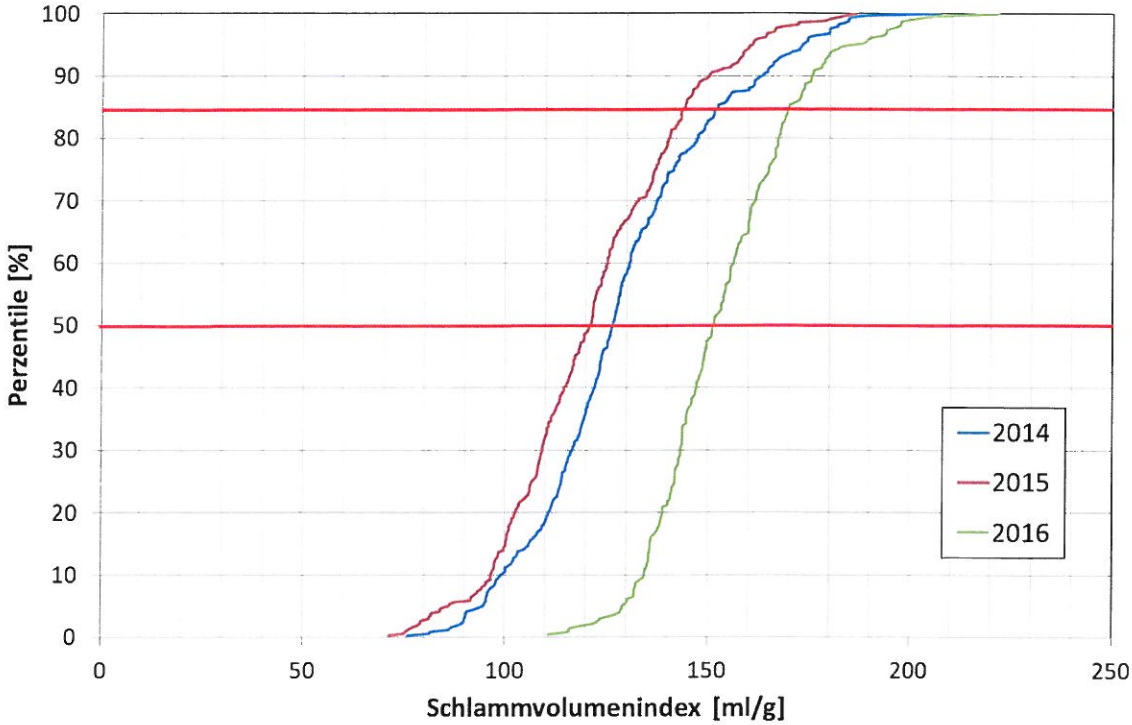
Zdj. 12: Zdjęcie z maja 2015 r. osadników wtórnych - okolica rur odpływowych osadnika ze starą stałą kolumną napływu (po lewej stronie) i już zmodernizowanego osadnika (po prawej stronie).

Wraz z mętnością obniżyły się też wartości zawiesiny oraz fosforu ogólnego: w przypadku P_{total} wykazuje się znaczną poprawę od 0,1 do 0,2 mg/l (por. rys. 13) i to pomimo tego, że właściwości osadu są gorsze niż w latach ubiegłych (por. rys. 14). Ponieważ strącanie dwupunktowe przed modernizacją i po modernizacji prowadzone jest za pomocą tej samej strategii dawkowania, spadek wartości P_{total} należy wyjaśnić ograniczeniem zawiesiny. Po modernizacji ze względu na niższą wartość P_{total} na odpływie w oczyszczalni ścieków potrzebne jest znacznie mniej czynników strącających.



Oznaczenia na rysunku: „Perzentile" - percentyle

Rys. 13: Częstotliwość sum stężenia P_{total} na odpływie w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz. Zestawiono wyniki z wielu lat eksploatacji.



Oznaczenia na rysunku: „Schlammvolumenidex" – Indeks osadu

Rys. 14: Częstotliwość sum indeksu objętościowego osadu w strefie czynnej oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz. Zestawiono wyniki z wielu lat eksploatacji.

Ze względu na niski poziom płaszcza osadu przy wysokim indeksie osadu (rys. 14) osadniki wykazują zwiększone obciążenia i dzięki temu można było uniknąć budowy kolejnych osadników wtórnych.

Wniosek

Można stwierdzić, że symulacje dynamiki płynów dobrze nadają się do przygotowania działań mających na celu optymalizację zbiorników użytkowanych w ramach gospodarki wodnej. Przeprowadzona na bazie wielu setek kolejnych symulacji, zorganizowana w szczegółach modernizacja polegająca na instalacji regulatorów napływu do osadników wtórnych w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz okazuje się dziś na podstawie wyniku działania przedsiębiorstwa wyjątkowo sensownym krokiem zarówno z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia. Za pomocą tej względnie prostej modernizacji wyraźnie polepszono wartości na odpływie w oczyszczalni bez stosowania układu filtracji. W przypadku oczyszczalni ścieków bez układu filtracji regulatory napływu do osadników wtórnych definiują nowy stan techniki zapewniający minimalizację zawiesiny i mętność do 2 NTU. Osadniki są jednocześnie wydajniejsze pod kątem obciążenia hydraulicznego ładunkiem. Dzięki modernizacji polegającej na instalacji regulatorów napływu do osadników wtórnych w oczyszczalni ścieków w Dreźnie-Kaditz można było uniknąć rozbudowy osadników wtórnych i w szczególności uzyskać jednocześnie wyższą zawartość zawiesiny mierzoną w strefie czynnej oczyszczalni. To przyczyniło się do tego, że eksploatator poczynił istotne oszczędności w zakresie kosztów inwestycyjnych dotyczących objętości osadników. Ponadto teraz w oczyszczalni przez cały czas używa się mniej czynników strącających, i to przy znacznie lepszych wartościach fosforu na odpływie.

Odnośniki

Armbruster M. (2004). Untersuchung der möglichen Leistungssteigerung von Nachklärbecken mit Hilfe numerischer Simulationen. Diss., Universität Karlsruhe.

Autorzy

Dr Martin Armbruster
Prezes Zarządu spółki Hydrograv GmbH

Specjalności: Wzrost wydajności spowodowany zastosowaniem mechaniki płynów w gospodarce wodnej. Innowacyjne metody i produkty optymalizujące mechanikę płynów.

Aktualne projekty to m.in.:

- Arabia Saudyjska – zwiększenie wydajności oczyszczalni ścieków za pomocą regulatorów napływu do osadników wtórnych
- Program komputerowy Wasserwirtschaft 4.0 do opartego na symulacji CFD, obliczalnego sterowania i kontroli osadników wtórnych
- Oparty na mechanice płynów wzrost właściwego poboru tlenu w bioreaktorach za pomocą symulacji CFD

Kontakt:
Hydrograv GmbH
Eisenstuckstr. 46
01069 Dresden
www.hydrograv.com
tel.: 0351 811 355 10
info@hydrograv.com

Dr Matthias Barth
Technik procesów przetwórczych oczyszczanie ścieków i przetwarzanie osadów

Specjalności: Udział w zakresie techniki procesów przetwórczych i optymalizacja procesów oczyszczania ścieków i przetwarzania osadów; przygotowanie, uczestnictwo i oddawanie do eksploatacji inwestycji oczyszczających ścieki i przetwarzających osady

Aktualne projekty:

- Oczyszczalnia ścieków w Dreźnie-Kaditz: rozszerzenie wydajności biologicznego oczyszczania ścieków i przekształcenie jej pod kątem techniki procesów przetwórczych w kaskadę dwustopniową
- Badania koncepcyjne w zakresie konstruowania mechanicznych grup napływu
- Optymalizacja zarządzania energią (prąd, ciepło)

Kontakt:
Stadtentwässerung Dresden GmbH
Scharfenberger Str. 152
01139 Dresden
www.stadtentwaesserung-dresden.de
telefon: 0351 822 2165
Matthias.Barth@se-dresden.de