

Kamil POCHWAT
Józef DZIOPAK
Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju
Politechnika Rzeszowska

ANALIZA HYDRAULICZNA FUNKCJONOWANIA ZBIORNIKA RETENCYJNEGO Z SYSTEMEM GRAWITACYJNEGO PŁUKANIA

Ścieki transportowane w sieciach kanalizacyjnych charakteryzują się dużym stężeniem zawieszin łatwo opadających, które na różnych etapach ich przepływu prowadzą do tworzenia się osadów. Powstający w ten sposób osad osiada nie tylko w kanałach zmniejszając ich hydrauliczną sprawność, ale także w obiektach współpracujących z sieciami kanalizacyjnymi, takich jak: przelewy burzowe, komory przepompowni ścieków czy zbiorniki retencyjne. W publikacji przedstawiono innowacyjny system płuczący zalecany do stosowania w zbiornikach retencyjnych, a także przeprowadzono analizę hydrauliczną sposobu funkcjonowania takiego rozwiązania zbiornika retencyjnego z grawitacyjnym systemem płukania.

1. Wprowadzenie

Systemy kanalizacyjne mają za zadanie przetransportowywanie ścieków z miejsca ich powstania do oczyszczalni ścieków. Należy zwrócić uwagę, że ścieki płynące, zarówno w sieci kanalizacji deszczowej, jak i ogólnospławnej charakteryzują się dużym stężeniem zawiesiny. Podczas przepływu ścieków przez sieć kanalizacyjną, w wyniku niedostatecznej prędkości przepływu, zanieczyszczenia często osadzają się na dnie powodując obniżenie sprawności hydraulicznej sieci i obiektów specjalnych z nią związanych, a nawet mogą doprowadzić do ich awarii [1,2]. Problem ten dotyczy również w dużej mierze zbiorników retencyjnych zarówno tych, które posiadają grawitacyjne [3,4] jak i grawitacyjno-pompowe [5,6,7] układy akumulacji ścieków.

Znanych jest wiele systemów płuczących zbiorniki retencyjne, m.in. hydrauliczne instalacje ciśnieniowe wykorzystujące do płukania czystą wodę lub/i napływające ścieki. Stosowane są także układy grawitacyjno-próżniowe, a także nowe rozwiązania mechanicznych płuczek wywrotnych [8].

Celem badań jest przeprowadzenie analizy hydraulicznej funkcjonowania zbiornika retencyjnego posiadającego zintegrowany system grawitacyjnego płukania. Badany zbiornik został przedstawiony i opisany na schemacie akso-

nometrycznym. Analiza funkcjonowania zbiornika wielokomorowego ujmuje wszystkie charakterystyczne fazy jego działania na modelu hydraulicznym, którego rozwiązanie wraz z systemem grawitacyjnego płukania zostało zgłoszone jako projekt wynalazczy [9].

Myślą przewodnią przeprowadzonego sposobu oczyszczania zbiornika z osadów dennych jest podanie alternatywy dla stosowanych dotychczas systemów płuczających.

2. Przegląd systemów płuczających

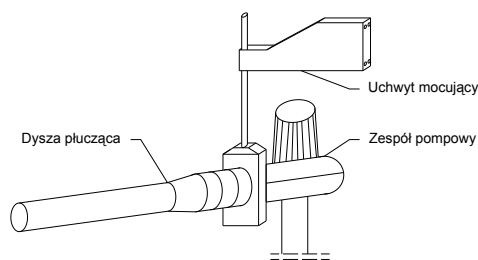
Osady denne powstają we wszystkich typach zbiorników retencyjnych, zarówno w podczyszczających mechanicznie ścieki, odciążających hydraulicznie sieć, jak i chroniących odbiornik przed nagłym zrzutem dużej objętości ścieków. Rozpatrując zbiorniki retencyjne pod kątem ich budowy należy zauważyć, że zbiorniki jednokomorowe (przepływowe) w porównaniu do zbiorników wielokomorowych (przelewowych) mają zdecydowanie większą tendencję do tworzenia się w nich osadów dennych. Brak komory przepływowej powoduje, że każdy deszcz wywołą przepływ ścieków przez jedyną komorę akumulacyjną zbiornika przepływowego. Niewielka ilość ścieków przepływająca po tak dużej powierzchni zbiornika i rozkładająca się na znacznej powierzchni osiąga niewielką prędkość, co ułatwia zawiesinom opadanie na jego dno. Natomiast zbiorniki wielokomorowe, posiadające komorę przepływową, dzięki której tylko deszcze o stosunkowo dużym natężeniu, które powodują przekroczenie założonego dopuszczalnego odpływu ze zbiornika, spowodują odpływ jedynie części ścieków jako nadmiaru podlegającego zatrzymaniu w komorze akumulacyjnej, skutkując jej mniejszym zanieczyszczeniem w porównaniu do zbiorników jednokomorowych.

Jednak żadna z wymienionych konstrukcji zbiorników retencyjnych nie zapobiegnie tworzeniu się osadów na jego dnie, dlatego też konieczne jest instalowanie w nich specjalnego systemu płuczającego, który zapewni prawidłowe ich funkcjonowanie, zwłaszcza tych, które mają konstrukcję żelbetową. Instalacje te zapewniają właściwą eksploatację dolnej strefy obiektu, spłukując osady z dna zbiornika po każdym jego napełnieniu.

Obecnie znanych i stosowanych jest szereg systemów płuczających, które zostały przedstawione w publikacjach [9,10 i 11], a wybrane z nich opisano jako przykładowe rozwiązania.

Instalacje ciśnieniowe posiadają w komorze akumulacyjnej zbiornika zainstalowane pompy, które włączają się po całkowitym opróżnieniu komory akumulacyjnej. Medium płuczającym może być czysta woda dostarczona systemem wodociągowym lub specjalnie zgromadzone na ten cel dopływające ścieki. Z technicznego punktu widzenia system ten jest bardzo korzystny, gdyż dzięki wykorzystaniu pomp istnieje możliwość uzyskania wysokiego ciśnienia, które z dużą skutecznością jest w stanie usunąć odłożone na dnie i często zaschnięte już osady denne. Niestety, z ekonomicznego punktu widzenia system ten posia-

da wady, które wynikają z konieczności rezerwowania i dostarczenia energii elektrycznej potrzebnej na czas działania pomp, kosztów ich konserwacji i rezerwowania miejsca do ich montażu. Koszty dodatkowe wystąpią w przypadku wykorzystywania do płukania czystej wody wodociągowej lub też związane z jej dostarczaniem specjalnym wozem technicznym, czy nowym przewodem podłączonym do systemu wodociągowego. Przykład rozwiązania pokazano na rysunku 1.



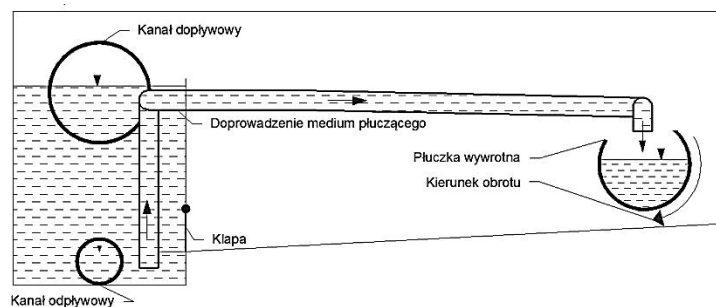
Rys. 1. Płuczka ciśnieniowa

Zakres stosowania płuczek ciśnieniowych jest bardzo szeroki, ponieważ zamontowane w tych płuczkach dysze mają możliwość wychyłu o 180 stopni, a ich zasięg wynosi nawet 25 m. Z powodzeniem można je stosować w obiektach o znacznej kubaturze. Jednak wielkość powierzchni, którą jest w stanie oczyścić pojedyncza płuczka ciśnieniowa zależy bezpośrednio od konstrukcji zbiornika, w przybliżeniu wynosi ona około 200 m². W płuczkach oferowanych przez firmę bgu dysze uaktywniają się, gdy napełnienie ścieków w zbiorniku sięga około 1 m, w wyniku czego dochodzi do zawirowań, unoszenia osadów i dodatkowo do napowietrzania ścieków. Przy odpowiedniej eksploatacji płuczek, a przede wszystkim ich okresowej konserwacji, można liczyć na 15-20 lat prawidłowego funkcjonowania tych urządzeń.

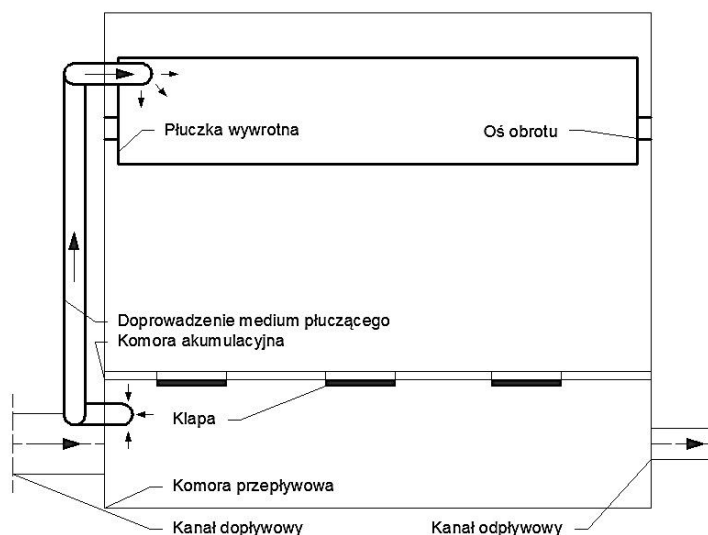
Mechanizmy wywrotne umieszcza się w komorze akumulacyjnej zbiornika, gdzie zostają zamontowane jako dodatkowy element w postaci obrotowej płuczki wywrotnej. Płuczka ta posiada określoną pojemność retencyjną, która zostaje wykorzystana do wypłukania osadów z dna zbiornika. Płuczka wywrotna umieszczona na pewnej wysokości po przeciwległej stronie względem odpływu ścieków. Jej napełnianie następuje podczas akumulacji ścieków w komorze lub za pomocą pomp. Skuteczność tego systemu płuczającego zależy jest od wysokości umieszczenia komory wywrotnej nad dnem i im jest ona większa tym skuteczność płuczki jest wyższa. Przykład rozwiązania płuczki wywrotnej pokazano na rysunku 2 i 3.

Komory płuczące umieszczone na końcu zbiornika stanowią układy wykorzystujące dodatkową komorę płuczącą zlokalizowaną na końcu zbiornika. Dzielą się one na napełniane grawitacyjnie przez przelew, napełniane za pomocą pomp lub wykorzystujące do funkcjonowania podciśnienie. W przypadku wykorzystania pomp należy przewidzieć konieczność dostarczenia energii elek-

trycznej, co wiąże się z dużymi kosztami eksploatacyjnymi wynikającymi z ich zakupu, eksploatacji i konserwacji.



Rys. 2. Bęben płuczący napływający – przekrój

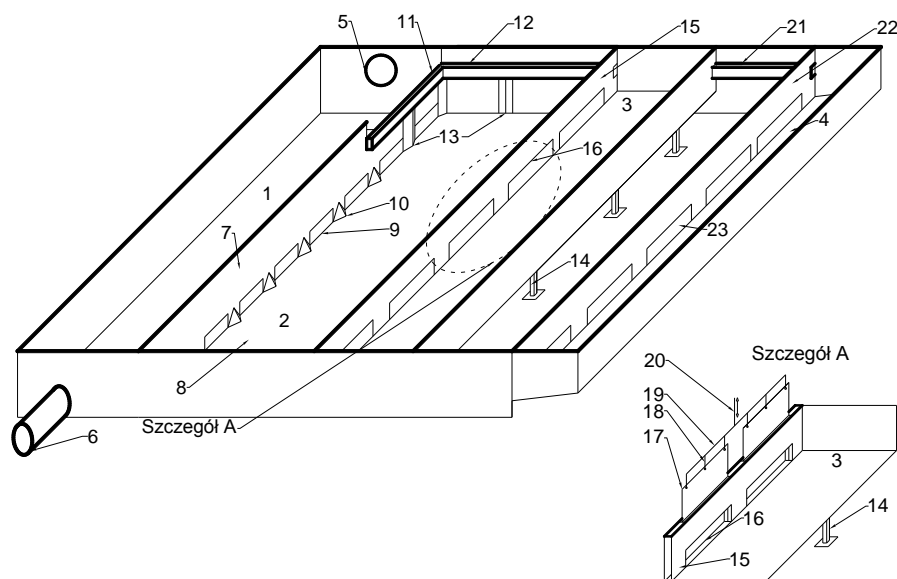


Rys. 3. Bęben płuczący napływający – rzut

Można uzyskać znaczną poprawę w zakresie kosztów eksploatacji zbiorników retencyjnych w wyniku zastosowania opracowanej nowej ich konstrukcji i innowacyjnego systemu grawitacyjnego płukania dna komór akumulacyjnych. Zbiornik taki ze względu na brak pomp nie wymaga dostarczenia energii elektrycznej. Wykorzystuje jako płuczające medium przepływające ścieki, a przez zastosowanie wewnętrznej komory płuczącej zwiększa efektywność płukania, niwelując tym sposobem obniżenie sprawności, jakie występuje przy niskim usytuowaniu komór płuczących.

3. Zbiornik retencyjny z systemem grawitacyjnego płukania

Opracowany zbiornik posiada oryginalny układ hydrauliczny (rys. 4), a przewidziana kolejność napełniania poszczególnych komór ma szereg zalet, które odróżniają go od dotychczas stosowanych [9].



Rys. 4. Schemat zbiornika z grawitacyjnym systemem płuczącym [9] (1 – komora przepływowa, 2 – komora akumulacyjna, 3 – wewnętrzna komora płucząca, 4 – zewnętrzna komora płucząca, 5 – kanał dopływowy, 6 – kanał odpływowy, 7 – ściana grodziowa, 8 – dno komory akumulacyjnej, 9 – okna wylotowe komory przepływowej z klapami, 10 – kierownice, 11 – krawędź przelewowa, 12 – koryto I, 13 – podpora, 14 – słupy podtrzymujące komorę płuczącą, 15 – ściana wewnętrznej komór płuczącej, 16 – okna wylotowe komór płuczącej, 17 – zasuwa, 18, 19, 20 – układ podnoszenia zasuwa, 21 – koryto II, 22 – ściana zewnętrznej komór płuczącej, 23 – okna wylotowe zewnętrznej komór płuczącej)

Zbiornik posiada komorę przepływową (1) i jedną komorę akumulacyjną (2), sprzężoną z zewnętrzną komorą płuczącą (4). Zgodnie z wynalazkiem zbiornik charakteryzuje się tym, że posiada wewnętrzną komorę płuczącą (3) usytuowaną w przestrzeni komory akumulacyjnej, wspartą na podporach (14), umieszczoną na zadanej wysokości nad dnem zbiornika. Dzięki umieszczeniu jej na znacznej wysokości fala wypływających ścieków uzyskuje większą energię wykorzystywaną przy zmywaniu osadów z dna zbiornika. Komora płucząca (3), od strony komory przepływowej (1), połączona jest z nią korytem (12), którego dno na wejściu do jej wewnętrznej przestrzeni jest usytuowane na wysokości przewidywanego maksymalnego napełnienia. Również na tym poziomie z przeciwległą ścianą jest połączone koryto (21) łączące ją z zewnętrzną komorą płuczącą (4). Komora ta jest także umiejscowiona na znacznej wysokości nad dnem komory akumulacyjnej zbiornika (2). W ścianach komór płuczących od strony komory przepływowej są wykonane okna z zasuwami (16, 23),

które zabezpieczają przed niekontrolowanym odpływem zgromadzonych ścieków. Zasuwy te są zwalniane po opróżnieniu zbiornika w celu wypuszczenia fali płuczającej oczyszczającej dno zbiornika.

Atutami przedstawionego zbiornika są grawitacyjny sposób płukania i wykorzystywanie dopływających rozcieńczonych ścieków jako medium płuczającego. Taki układ zapewnia tanią, łatwą i skuteczną eksploatację tego typu zbiorników kanalizacyjnych. Dodatkowo proponowany sposób płukania zapewnia etapowość działania, dzięki czemu eksploatator sam może zdecydować, która część komory zostanie oczyszczona jako pierwsza.

Jednak proponowana sekwencja płukania zbiornika powinna zacząć się od oczyszczenia w pierwszej kolejności tylnej części zbiornika, a następnie przedniej, zlokalizowanej bliżej komory przepływowej. Dodatkowo, w przypadku zbiorników retencyjnych zlokalizowanych pod powierzchnią terenu i posiadających strop, komory płuczające – tak wewnętrzne, jak i zewnętrzne – mogą stanowić podparcie tego stropu, dzięki czemu zmniejszy się konieczna liczba projektowanych podpór i słupów podtrzymujących konstrukcję stropową zbiornika. Zbiorniki kryte są stosowane głównie na kanalizacji ogólnospławnej i na kanałach deszczowych w rejonach o gęstej zabudowie miejskiej.

W czasie pogody bezdeszczowej do zbiornika nie dopływają żadne ścieki, natomiast w czasie wystąpienia opadu systemem kanalizacyjnym są transportowane ścieki deszczowe lub ogólnospławne, które wpływają kanałem dopływowym (5) do komory przepływowej (1) zbiornika. Do czasu, kiedy dopływ ścieków do zbiornika jest mniejszy lub równy odpływowi, nie następuje akumulacja ścieków w zbiorniku. Natomiast przy wystąpieniu opadu o większym natężeniu zdarza się sytuacja, że strumień objętości ścieków dopływających do zbiornika przewyższa strumień objętości ścieków z niego odpływających, co powoduje akumulację ścieków w zbiorniku. W początkowej fazie działania zbiornika ścieki piętrzą się w komorze przepływowej (1), aż do momentu osiągnięcia poziomu usytuowania krawędzi przelewowej (11), która jest zlokalizowana w ścianie grodziowej (7). Podczas dalszego dopływu ścieków, przelewają się one przez krawędź (11) do koryta (12) doprowadzającego ścieki do wewnętrznej komory płuczającej (3). Po jej napełnieniu ścieki z komory płuczającej (3) przepływają korytem (21) do zewnętrznej komory płuczającej (4) umieszczonej na końcu zbiornika. Po osiągnięciu maksymalnego napełnienia komór: przepływowej (1), płuczającej wewnętrznej (3), zewnętrznej (4) i koryt (12 i 21), ścieki przelewają się przez krawędzie koryt (12 i 21) do komory akumulacyjnej (2).

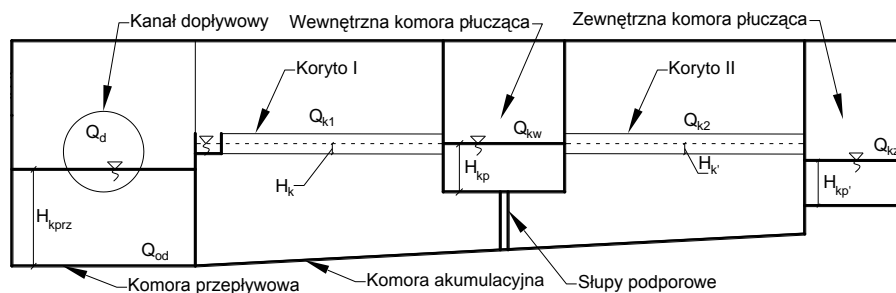
Po pewnym czasie od ustania opadu komora akumulacyjna zbiornika ulega maksymalnemu napełnieniu, zaś dopływ ścieków do zbiornika jest coraz mniejszy i wówczas następuje opróżnianie komór zbiornika retencyjnego. Wraz z obniżeniem się zwierciadła ścieków w komorze przepływowej (1) następuje otwarcie klap (9), którymi rozpoczyna się opróżnianie komory akumulacyjnej (2). Kolejnym etapem działania zbiornika jest splukiwanie pozostawionych na dnie zanieczyszczeń. W zależności od rozwiązania w sposób automatyczny lub

ręczny następuje otwarcie okien (23) zewnętrznej komory płuczającej (4). Wypuszczona w ten sposób z pewnej wysokości fala ścieków posiada energię pozwalającą na skuteczne oczyszczenie tylnej części zbiornika. Następnie otwarte zostają okna (16) komory płuczającej (3), a wytworzona fala ścieków oczyszcza pozostałą część zbiornika. Po tej fazie wszystkie komory zbiornika pozostają puste, a dno zbiornika powinno pozostać oczyszczone z nagromadzonych zanieczyszczeń.

W rozpatrywanym zbiorniku zwiększenie efektywności płukania można uzyskać przez zastosowanie odpowiedniej liczby okien wylotowych komory przepływowej. Większa liczba okien wylotowych (9) pozwoli na równomierne rozprzaskanie ścieków na całej szerokości komory akumulacyjnej (2) po odpowiednio wyprofilowanym dnie zbiornika (8). Dno komory akumulacyjnej (8) posiada jednokierunkowy spadek w kierunku okien wylotowych (9) na całej jej szerokości, a zastosowany układ kierownic (10) zapewnia odpowiedni rozdział oraz efektywne ukierunkowanie całego strumienia spływających ścieków i osadów.

4. Model hydrauliczny działania badanego zbiornika

W analizie hydraulicznej funkcjonowania zbiornika uwzględniono zarówno specyfikę, jak i zmienność strumienia objętości ścieków, jaka występuje podczas opadu i tuż po jego zakończeniu. Odzwierciedlają jego przebieg w czasie charakterystyczne fazy, które da się wyróżnić podczas napełniania i opróżniania poszczególnych komór zbiornika (rys. 5), w tym komory przepływowej, akumulacyjnej oraz wewnętrznej i zewnętrznej komory płuczającej.



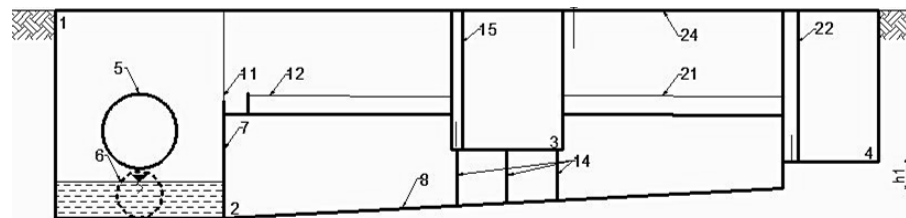
Rys. 5. Schemat przekroju zbiornika z grawitacyjnym systemem płuczającym (H_{kprz} – napełnienie ścieków w wewnętrznej komorze przepływowej, H_k – średnie napełnienie ścieków w korycie doprowadzającym ścieki do komór płuczających, H_{kp} – napełnienie ścieków w wewnętrznej komorze płuczającej, H_k' – średnie napełnienie ścieków w korycie doprowadzającym ścieki do zewnętrznej komory płuczającej, $H_{kp'}$ – napełnienie ścieków w zewnętrznej komorze płuczającej, Q_d – dopływ ścieków do zbiornika, Q_{od} – odpływ ścieków ze zbiornika, Q_{k1} – przepływ ścieków w korycie I, Q_{k2} – przepływ ścieków w korycie II, Q_{kw} – dopływ ścieków do wewnętrznej komory płuczającej, Q_{kz} – dopływ ścieków do zewnętrznej komory płuczającej)

Pogoda bezdeszczowa – faza 1

Technical drawing of a mechanical part with numbered features 1 through 24. The drawing includes a cross-section view on the left and a side view on the right. The cross-section view shows a circular feature (5) with a dashed circle (6) below it. The side view shows a rectangular block with various internal features and dimensions. The features are numbered as follows: 1 (top left corner), 2 (bottom left corner), 3 (bottom center), 4 (bottom right corner), 5 (circular feature), 6 (dashed circle), 7 (internal horizontal line), 8 (internal vertical line), 9 (internal horizontal line), 10 (internal vertical line), 11 (internal horizontal line), 12 (internal vertical line), 13 (internal horizontal line), 14 (internal vertical line), 15 (top center), 16 (top right), 17 (internal horizontal line), 18 (internal vertical line), 19 (internal horizontal line), 20 (internal vertical line), 21 (internal horizontal line), 22 (internal vertical line), 23 (internal horizontal line), 24 (internal vertical line).

- Warunki brzegowe w zakresie napęnienia: $H_{kprzI} = 0, H_{kl} = 0, H_{kpI} = 0, H_{k'I} = 0, H_{kp'I} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływy: $Q_{dI} = 0, Q_{odI} = 0, Q_{kI,I} = 0, Q_{kwI} = 0, Q_{k2,I} = 0, Q_{kzI} = 0$.

W początkowej fazie wystąpienia opadu strumień objętości ścieków deszczowych dopływających do zbiornika jest większy od natężenia ścieków odpływających ze zbiornika – następuje początek napełniania komory przepływowej (1). Poziom zwierciadła ścieków w komorze przepływowej (1) znajduje się na niższym poziomie niż krawędź przelewowa (11), w związku z czym jeszcze nie następuje akumulacja ścieków w komorze akumulacyjnej ani komorach płuczających.



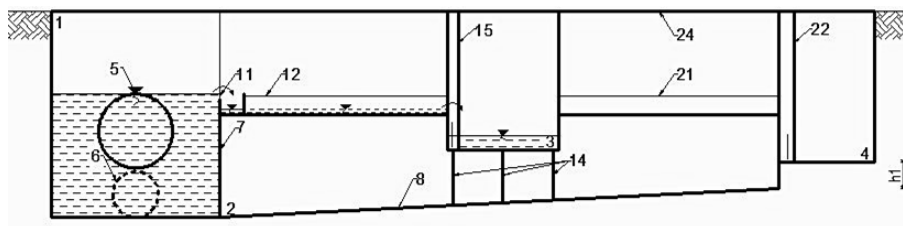
Rys. 7. Faza 2 działania zbiornika

Stan ten trwa do momentu osiągnięcia przez ścieki w komorze przepływowej (1) poziomu usytuowania krawędzi przelewowej (11), co przedstawiono na rysunku 7.

- Warunki brzegowe w zakresie napelnienia: $H_{kprz2} > H_{kprz1}$, $H_{k2} = 0$, $H_{kp2} = 0$, $H_{k'2} = 0$, $H_{kp'2} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d2} > 0$, $Q_{od2} > 0$, $Q_{k1,2} = 0$, $Q_{kw2} = 0$, $Q_{k2,2} = 0$, $Q_{kz2} = 0$.

Początek napelniania wewnętrznej komory płuczącej – faza 3

Wraz z upływem czasu trwania deszczu strumień objętości ścieków dopływających do zbiornika jest większy niż z niego odpływających, w związku z czym następuje dalsza akumulacja ścieków w komorze przepływowej (1), co przedstawia rysunek 8. Gdy poziom ścieków w komorze przepływowej (1) znajdzie się na wyższym poziomie niż poziom usytuowania krawędzi przelewowej (11) – to od tego momentu następuje przepływ ścieków przez przelew (11) do koryta (12) doprowadzającego ścieki do wewnętrznej komory płuczącej (3). Ścieki doprowadzane są przez koryto (12) do komory płuczącej (3). Nadmiar strumienia objętości ścieków, większy od przepustowości koryta (12) przelewa się przez jego krawędź do komory akumulacyjnej (2).

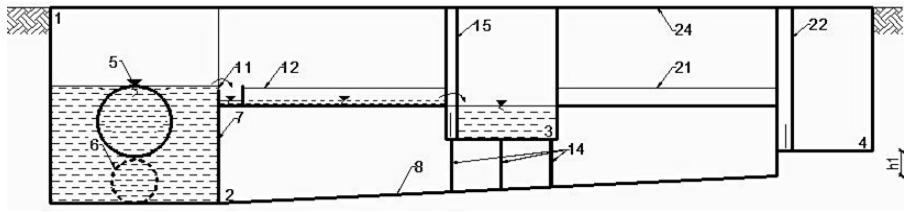


Rys. 8. Faza 3 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napelnienia: $H_{kprz3} > H_{kprz1,2}$, $H_{k3} > 0$, $H_{kp3} > H_{kp1,2}$, $H_{k'3} = 0$, $H_{kp'1} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d3} > 0$, $Q_{od3} > Q_{od2}$, $Q_{k1,3} > 0$, $Q_{kw3} > 0$, $Q_{k2,3} = 0$, $Q_{kz3} = 0$.

Akumulacja ścieków w komorze płuczącej – faza 4

Ścieki dopływają do wewnętrznej komory płuczącej (3) i napelniają ją do poziomu usytuowania dna kolejnego koryta (21), doprowadzającego ścieki do zewnętrznej komory płuczącej (4) co przedstawia rysunek 9. W tej fazie wewnętrzna komora płucząca (3) nie napelnia się jeszcze do maksymalnego poziomu, nastąpi to równocześnie z osiągnięciem maksymalnego wypełnienia zewnętrznej komory płuczącej (4) w kolejnych fazach działania zbiornika.

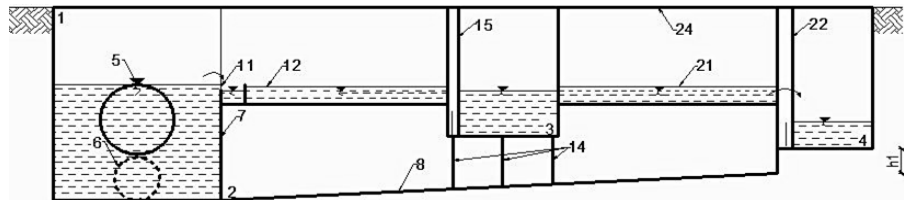


Rys. 9. Faza 4 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz4} = H_{kprz3}$, $H_{k4} > H_{k3}$,
 $H_{kp4} > H_{kp3}$, $H_{k'4} = 0$, $H_{kp'4} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d4} > 0$, $Q_{od4} = Q_{od3}$, $Q_{k1,4} > Q_{k1,3}$,
 $Q_{kw4} > Q_{kw3}$, $Q_{k2,4} = 0$, $Q_{kz4} = 0$.

Początek napełniania zewnętrznej komory płuczającej – faza 5

Dopływ strumienia objętości ścieków do zbiornika nadal przewyższa objętość odpływu (rys. 10). Ścieki z wewnętrznej komory płuczającej (3) po osiągnięciu poziomu usytuowania dna koryta (21), doprowadzającego ścieki do komory zewnętrznej (4) przelewają się do niego wypełniając ją ściekami. Akumulacja ścieków w zewnętrznej komorze płuczającej (4) trwa aż do osiągnięcia poziomu dna koryta doprowadzającego (21). Po osiągnięciu tego poziomu ścieki piętrzą się w korytach (12 i 21), jednocześnie zwiększając napełnienia w komorach płuczających zewnętrznej (4) i wewnętrznej (3).

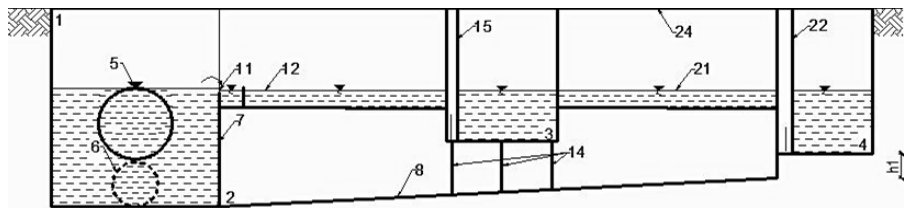


Rys. 10. Faza 5 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz5} = H_{kprz4}$, $H_{k5} > H_{k4}$,
 $H_{kp5} > H_{kp4}$, $H_{k'5} > 0$, $H_{kp'5} > 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d5} > 0$, $Q_{od5} = Q_{od4}$, $Q_{k1,5} > Q_{k1,4}$,
 $Q_{kw5} > Q_{kw4}$, $Q_{k2,5} > 0$, $Q_{kz5} > 0$.

Akumulacja ścieków w zewnętrznej komorze płuczającej – faza 6

Dopływ ścieków do zbiornika powoduje wypełnienie obu komór płuczających (3 i 4), komory przepływowej (1) oraz koryt (12 i 21), co przedstawia rysunek 11. Od tej charakterystycznej fazy system płuczający w zbiorniku uzyskuje maksymalne napełnienie i jest gotowy do działania. Zastosowanie zasuw w komorach płuczających (3 i 4) uniemożliwia niekontrolowany odpływ zgromadzonych ścieków do komory akumulacyjnej.

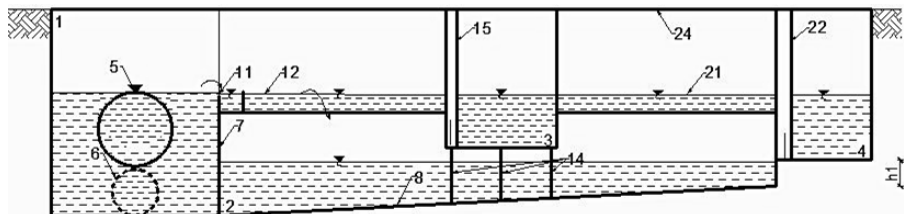


Rys. 11. Faza 6 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz6} = H_{kprz5}$, $H_{k6} > H_{k5}$,
 $H_{kp6} > H_{kp5}$, $H_{k'6} > H_{k'5}$, $H_{kp'6} > H_{kp'5}$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d6} > 0$, $Q_{od6} = Q_{od5}$, $Q_{kl,6} > Q_{kl,5}$,
 $Q_{kw6} > Q_{kw5}$, $Q_{k2,6} > Q_{k2,5}$, $Q_{kz6} > Q_{kz5}$.

Początek napełniania komory akumulacyjnej – faza 7

Faza ta jest ostatnią fazą działania zbiornika w której dopływ strumienia objętości ścieków przewyższa odpływ (rys. 12). Komora przepływowa (1) i komory płuczące (3 i 4) wraz z korytami (12 i 21) osiągnęły swoje maksymalne napełnienie w poprzedniej fazie, dlatego teraz cały nadmiar dopływających ścieków przelewa się przez krawędź przelewową (11) i krawędzie koryt (12 i 21) do komory akumulacyjnej zbiornika (2). Komora (2) napełnia się do maksymalnego poziomu, który ustala się na podstawie obliczeń przy wyznaczeniu jej potrzebnej pojemności użytkowej mając na uwadze wyznaczony krytyczny czas trwania opadu [6,12].



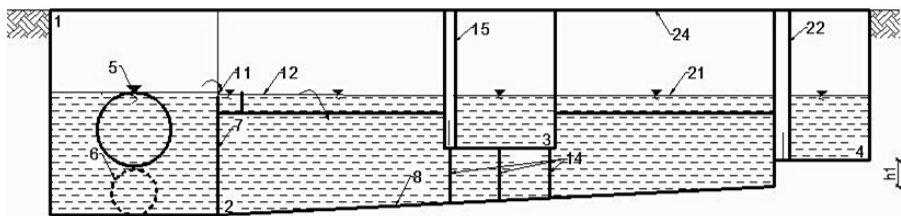
Rys. 12. Faza 7 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kpr7} = H_{kpr6}$, $H_{k7} > H_{k6}$,
 $H_{kp7} > H_{kp6}$, $H_{k'7} > H_{k'6}$, $H_{kp'7} > H_{kp'6}$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d7} > 0$, $Q_{od7} = Q_{od6}$, $Q_{kl,7} > Q_{kl,6}$,
 $Q_{kw7} > Q_{kw6}$, $Q_{k2,7} > Q_{k2,6}$, $Q_{kz,7} > Q_{kz,6}$.

Maksymalne napełnienie zbiornika i ustanie opadu – faza 8

Podczas akumulacji ścieków deszczowych dochodzi do momentu, w którym wartość strumienia objętości ścieków dopływających do zbiornika zrównuje się z odpływem (rys. 13). Następuje wtedy chwilowe maksymalne napełnie-

nie wszystkich komór zbiornika. System płuczący w zbiorniku uzyskuje teraz maksymalne napełnienie.

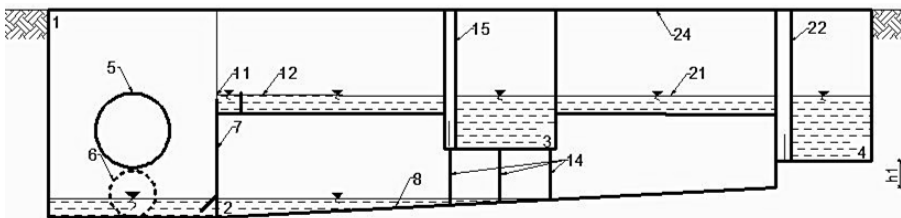


Rys. 13. Faza 8 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz8} = H_{kprz7}$, $H_{k8} = H_{k7}$,
 $H_{kp8} = H_{kp7}$, $H_{k'8} = H_{k'7}$, $H_{kp'8} = H_{kp'7}$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d8} > 0$, $Q_{od8} = Q_{od7}$, $Q_{k1,8} > Q_{k1,7}$,
 $Q_{kw8} > Q_{kw7}$, $Q_{k2,8} > Q_{k2,7}$, $Q_{kz8} = Q_{kz7}$.

Opróżnianie zbiornika – faza 9

Od tego charakterystycznego stanu wypełnienia wszystkich komór zbiornika dopływ ścieków, jest mniejszy od ich odpływu ze zbiornika. Zatem po całkowitym napełnieniu komory akumulacyjnej (2) następuje opróżnianie komory przepływowej (1), a następnie akumulacyjnej (2) co przedstawia rysunek 14. Napełnienie ścieków w systemie płuczącym znajduje się nadal na maksymalnym poziomie dzięki zamontowanym w komorach płuczących (3 i 4) zasuwom ze specjalnym uszczelnieniem.



Rys. 14. Faza 9 działania zbiornika

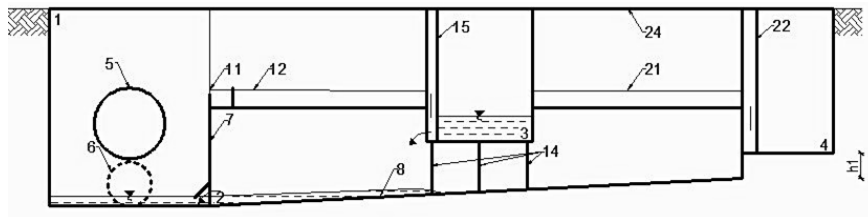
- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz9} = H_{kprz8}$, $H_{k9} = H_{k8}$,
 $H_{kp9} = H_{kp8}$, $H_{k'9} = H_{k'8}$, $H_{kp'9} = H_{kp'8}$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d9} > 0$, $Q_{od9} < Q_{od8}$, $Q_{k1,9} = 0$,
 $Q_{kw9} = 0$, $Q_{k2,9} = 0$, $Q_{kz9} = 0$.

Opróżnienie zewnętrznej komory płuczącej – faza 10

Po pewnym czasie od ustania opadu w kanalizacji deszczowej występuje sytuacja, w której dopływ ścieków do zbiornika spada do zera (rys. 15).

Opróżnienie wewnętrznej komory płuczącej – faza 12

Po splukaniu osadów z tylnej części zbiornika następuje otwarcie zasuw wewnętrznej komory płuczącej (3), uzupełniając płukanie przedniej części zbiornika. Ścieki wypływające z wewnętrznej komory płuczącej (3) posiadają większą energię, gdyż komora (3) jest usytuowana na większej wysokości w porównaniu do zewnętrznej komory (4) ($h_2 > h_1$). Fazę tę przedstawia rysunek 17.

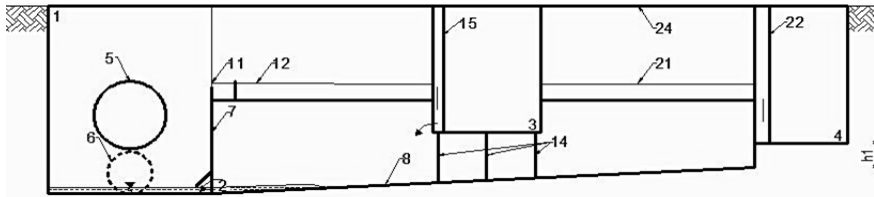


Rys. 17. Faza 12 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napęnienia: $H_{kprz12} > 0$, $H_{k12} = 0$, $H_{kp12} > 0$, $H_{k'12} = 0$, $H_{kp'12} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d12} = 0$, $Q_{od12} > 0$, $Q_{kl,12} = 0$, $Q_{kw12} > 0$, $Q_{k2,12} = 0$, $Q_{kz12} = 0$.

Pełne splukanie zbiornika – faza 13

W kolejnej fazie następuje całkowite opróżnienie zbiornika i komory (3) systemu płuczącego, a spłynięcie do końca całej płuczającej fali ścieków powinno zapewnić pozostawienie zbiornika pozbawionego osadów dennych. Fazę tę przedstawia rysunek 18.



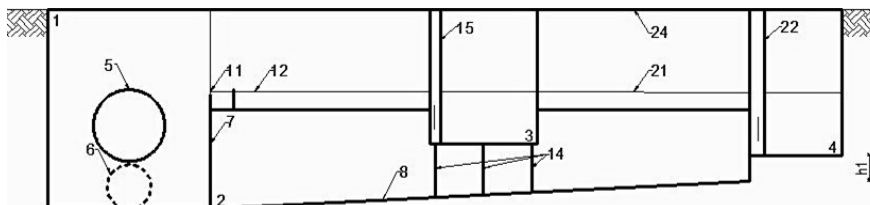
Rys. 18. Faza 13 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napęnienia: $H_{kprz13} > 0$, $H_{k13} = 0$, $H_{kp13} > 0$, $H_{k'12} = 0$, $H_{kp'13} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d13} = 0$, $Q_{od13} > 0$, $Q_{kl,13} = 0$, $Q_{kw13} > 0$, $Q_{k2,13} = 0$, $Q_{kz13} = 0$.

Zakończenie procesu płukania – faza 14

Ostatnia faza działania zbiornika (rys. 19) przedstawia jego funkcjonowanie po ustaniu opadu i zakończeniu procesu jego płukania. Do zbiornika nie dopły-

wają ścieki deszczowe, a wszystkie komory włącznie z komorami płuczącymi (3 i 4) zostały opróżnione, zaś poziom zwierciadła ścieków we wszystkich komorach jest równy zero.



Rys. 19. Faza 14 działania zbiornika

- Warunki brzegowe w zakresie napełnienia: $H_{kprz14} = 0$, $H_{k14} = 0$, $H_{kp14} = 0$, $H_{k'14} = 0$, $H_{kp'14} = 0$.
- Warunki brzegowe ze względu na przepływ: $Q_{d14} = 0$, $Q_{od14} = 0$, $Q_{k1,14} = 0$, $Q_{kw14} = 0$, $Q_{k2,14} = 0$, $Q_{kz14} = 0$.

5. Podsumowanie

Analizowany zbiornik z systemem grawitacyjnego płukania, jak wszystkie inne rozwiązania posiada ze względu na swoją budowę charakterystyczne wady i zalety. Atutem przedstawionego systemu jest grawitacyjny sposób działania w fazach jego napełniania i opróżniania, a także wykorzystywanie jako medium płuczącego dopływających rozcieńczonych ścieków. Takie rozwiązanie wyklucza konieczność instalowania drogich pomp ściekowych, czy doprowadzenia do zbiornika siecią wodociagową wody do jego płukania. Godnym podkreślenia jest że, system ten nie wymaga rezerwowania i dostarczania energii [13,14].

Efekt płukania jest bezpośrednio uzależniony od wysokości maksymalnego napełnienia ścieków w komorze akumulacyjnej, na którą został zaprojektowany. Im wysokość napełnienia jest większa tym wyżej można zamontować komory płuczące, co powoduje zwiększenie energii cieczy tworzącej falę płuczącą. Atutem systemu jest lokalizowanie komór płuczących na znacznej wysokości nad dnem zbiornika, dzięki czemu do komory płuczącej dopływają ścieki rozcieńczone, zawierające stosunkowo małą ilość zawieszin. Ścieki te dostają się do komory płuczącej przez przelew komory przepływowej, czyli są to ścieki z górnych warstw zbiornika, a nie z dolnych, w którym stężenie zawieszin jest znacznie większe. Wykorzystując przedstawiony system wraz z obiektami pomocniczymi, jak kierownice, przy odpowiednim wyprofilowaniu spadków i z odpowiednią liczbą okien wylotowych w komorze przepływowej, znacznie zwiększa efektywność płukania, zapobiegając tworzeniu się osadów dennych.

Literatura

- [1] Dziopak J., Neverova-Dziopak E.: Nowe spojrzenie na problemy gospodarki wodno-ściekowej, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Inżynieria Środowiska, Z. 16, t. 1, s. 34-40, 2003.
- [2] Kotowski A.: Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów, Warszawa 2011.
- [3] Słyś D.: Retencja zbiornikowa i sterowanie dopływem ścieków do oczyszczalni, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2009.
- [4] Dziopak J., Słyś D.: Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
- [5] Dziopak J., Słyś D.: Hydraulic analysis of EcolINFRA2 storage reservoir functioning, Environment Protection Engineering, no 2, vol. 34, 2008.
- [6] Dziopak J.: Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [7] Dziopak J., Słyś D.: Postęp w projektowaniu konstrukcji wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji, www.prz.rzeszow.pl/wbiis/zzwwios/inf.htm.
- [8] Malmur R., Kisiel A., Mrowiec M.: Nowoczesne metody hydraulicznego wypłukiwania osadów gromadzonych na dnie komór zbiorników kanalizacyjnych, <http://www.is.pcz.czest.pl/hosting/instytut/dokumenty/plukanie.pdf>
- [9] Pochwat K., Dziopak J.: Zbiornik retencyjny z systemem grawitacyjnego płukania, zgłoszenie patentowe numer P.397546.
- [10] Kisiel A., Mrowiec M., Malmur R.: Hydrauliczne metody wypłukiwania osadów gromadzonych na dnie retencyjnych komór zbiorników kanalizacyjnych, Inżynieria i Ochrona Środowiska, nr 1, t. 5, 2002.
- [11] Strona internetowa: <http://www.bgu-online.de/index.php/pl/>
- [12] Kotowski A.: Weryfikacja zasad wymiarowania zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych w Polsce, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, IV 2009.
- [13] Pochwat K.: Analiza finansowa rozwiązań zbiorników retencyjnych, Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
- [14] Dziopak J., Pochwat K., Opaliński J.: Analiza hydrauliczna zwiększenia przepustowości przejścia syfonowego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów w druku.

HYDRAULIC ANALYSIS OF RESERVOIR WITH GRAVITATIONAL FLUSHING SYSTEMS

Summary

Wastewater transported in sewer networks is characterized by high concentration of suspended solids, which slop easily. This sediment settles in the channels reducing the hydraulic efficiency. It can be also deposited in storm overflows, wastewater pump stations and storage reservoirs. The paper includes review of the flushing systems used in reservoirs, and the analysis of the hydraulic functioning of the storage reservoir with the gravity flush system. Described

storage reservoir has several advantages. It does not require delivery of electricity or clean water for rinsing, since it uses waste water flow.