Kamil Pochwat
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

SYSTEMATYKA OBIEKTÓW RETENCYJNYCH

Streszczenie

Funkcjonowanie systemów odwodnieniowych bardzo często wymaga stosowania obiektów pozwalających na zwiększenie pojemności retencyjnej systemu, która jest szczególnie istotna podczas wystąpienia bardzo intensywnych zdarzeń opadowych. W obecnej praktyce inżynierskiej wykorzystuje się szeroko rozumiane obiekty retencyjne, które w systemie kanalizacyjnym bądź odwodnieniowym mogą zasadniczo pełnić różne funkcje.

Biorąc to pod uwagę, w pracy dokonano przeglądu literaturowego na temat istniejących (stosowanych) kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Przedstawiono także podział zbiorników retencyjnych ze względu na różne kryteria, m.in. pełnioną przez nie funkcje w systemie kanalizacyjnym, układ hydrauliczny komór zbiornika, konstrukcję, usytuowanie na sieci kanalizacyjnej, sposób funkcjonowania czy warunki dopływu do niego ścieków. Przedstawione w pracy rozwiązania zbiorników retencyjnych zostały scharakteryzowane wraz z dokonaniem analizy ich przydatności w poszczególnych przypadkach projektowych. Dokonana charakterystyka zbiorników retencyjnych wskazała na możliwość uzyskania określonych korzyści w zakresie zwiększenia efektu kubaturowego lub istotnych korzyści eksploatacyjnych. W opracowaniu zasygnalizowano także ograniczenia w stosowaniu poszczególnych rozwiązań zbiorników retencyjnych.

Słowa kluczowe: zbiorniki retencyjne, systematyka, wody opadowe

TAXONOMY OF RETENTION FACILITIES

Summary

The functioning of drainage systems often require the use of facilities allowing for an increase of retention capacity of the system. This is especially important during an extremely intense rainfall events. In current engineering practice, are used retention facilities, which can perform various functions. Taking this into account, in the paper reviews the literature on existing (used) retention facilities. In the paper presents also the systematics of reservoirs due to different criteria, among others, their function in the sewer system, their hydraulics, location on the sewerage system, the conditions of inflow to retention facilities. Solution of retention facilities being presented in the paper have been characterized, along with making the analysis of their usefulness in specific cases.

Conducted research allow to indicate the possibility of obtaining specific benefits in terms of increasing the cubature effect and significant performance benefits.

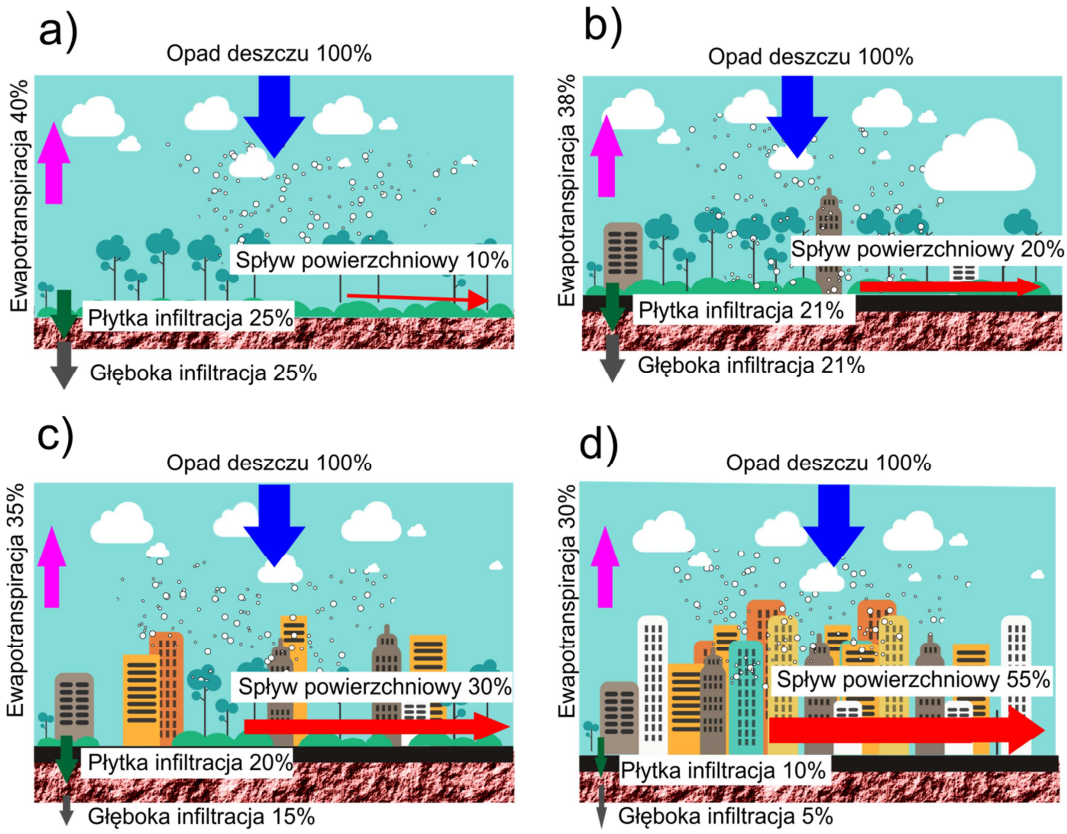
Keywords: underground tank, storage reservoir, taxonomy, stormwater

1. Wprowadzenie

Intensyfikacja zjawisk opadowych [1, 4, 17, 19, 21, 25, 29, 36] oraz urbanizacja terenów biologicznie czynnych [3, 27, 34], skutkująca uszczelnianiem tych powierzchni,

wywiera negatywny wpływ na gospodarkę wodno-ściekową zlewni miejskich. Te dwa ważne aspekty implikują niekorzystne zwiększanie się strumienia objętości spływu powierzchniowego [44, 45], co powoduje kierowanie większej objętości ścieków do systemów kanalizacyjnych, zaburzając tym samym naturalny cykl hydrologiczny (ryc. 1). W konsekwecji tego, prawidłowe funkcjonowanie istniejącej infrastruktury odwodnieniowej jest utrudnione, a bardzo często wręcz niemożliwe ze względu na niewystarczającą przepustowość hydrauliczną tych sieci.

Ryc. 1. Bilans wodny zlewni w zależności od sposobu jej zagospodarowania:
a – zlewnia naturalna, b – uszczelnienie zlewni 10–20%, c – uszczelnienie zlewni 35–50%,
d – uszczelnienie zlewni 75–100%



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: M. Fidala-Szope, A. Koczyk, H. Sawicka-Siarkiewicz, Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami burzowymi w kanalizacji ogólnospławnej, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1997.

Dostosowanie istniejących systemów kanalizacyjnych do zwiększonego strumienia objętości przepływających ścieków jest możliwe dzięki wykorzystaniu retencji wód opadowych [11], która pozwala odciążyć hydraulicznie sieci kanalizacyjne i obiekty z nią związane. Podstawowym jej elementem są obiekty zapewniające możliwość okresowego magazynowania nadmiaru ścieków deszczowych, wśród których można wyróżnić zbiorniki retencyjne [6].

Równocześnie ze stosowaniem zbiorników retencyjnych znajdują zastosowanie inne obiekty kubaturowe, które pozwalają na odprowadzenie wód opadowych do gruntu, wśród których należy wyróżnić obiekty infiltracyjne i retencyno-infiltracyjne.

Badania przeprowadzone w tym zakresie przez licznych autorów [10, 42, 43, 47, 50] potwierdziły, że detencja powierzchniowa wód opadowych i odprowadzenie ich bezpośrednio do gruntu są zabiegami koniecznymi, ponieważ umożliwiają znaczące zmniejszenie odpływu ścieków do sieci [15, 28, 42]. Wyniki tych badań wskazują także na konieczność odejścia od zwyczaju tradycyjnej gospodarki ściekami deszczowymi, polegającej na jak najszybszym ich odprowadzeniu do wód powierzchniowych.

Wykorzystanie obiektów retencyjnych może dodatkowo nieść ze sobą pozytywne skutki w zakresie ochrony jakości wody w odbiornikach. Literatura przedmiotu [9, 16] wskazuje, że ścieki deszczowe niekorzystnie wpływają na jakość wód powierzchniowych. Jest to rezultatem kontaktu spływów wód opadowych z zanieczyszczoną powierzchnią zlewni oraz kumulacji zanieczyszczeń powietrza w opadzie atmosferycznym.

W efekcie tego ścieki deszczowe przyjmują niekorzystne parametry fizykochemiczne [24, 39]. Jak to zauważyli Fidala-Szope i Kopczyk [14], zjawisku temu można skutecznie przeciwdziałać, projektując obiekty retencyjne, które zapewniają redukcję strumienia objętości ścieków przed ich zrzutem do odbiornika.

Celem artykułu jest dokonanie systematyki obiektów retencyjnych wraz z ich syntetyczną charakterystyką w świetle badań krajowych i zagranicznych.

2. Zbiorniki retencyjne

W dostępnej literaturze branżowej, tak polskiej, jak i zagranicznej, występują różne definicje pojęcia *zbiornik retencyjny,* wśród których można zauważyć podział na dwie zasadnicze grupy. Pierwszą z nich reprezentują definicje dotyczące zbiorników retencyjnych związanych z ciekami wodnymi, natomiast drugą – zbiorniki retencyjne wykorzystywane w systemach kanalizacyjnych.

Ustawa Prawo wodne [51] przedstawia zbiorniki retencyjne jako budowle przeciwpowodziowe. Niewiele dokładniejsze sformułowanie przedstawia Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Poznaniu [35], który definiuje je jako obiekty powstające poprzez sztuczne przegrodzenie doliny rzeki zaporą, w której umieszcza się urządzenie spustowe. Zdecydowanie bardziej wyczerpującą definicję przedstawili w swojej pracy Marton i inni [32], w której zbiorniki retencyjne opisane są jako urządzenia, których głównym celem jest magazynowanie wód powierzchniowych do celów ochrony przeciwpowodziowej, dla elektrowni wodnych lub rekreacji. Podobnego zdania byli (Xin-An Yin i inni [54], bowiem opisali oni zbiorniki retencyjne jako ważne obiekty służące kontrolowaniu i zarządzaniu przepływami w rzekach. Zaznaczyli oni, że poprzez regulację przepływów zgodnie z potrzebami człowieka można w dużym stopniu przyczynić się do polepszenia stanu społecznego w zakresie energetyki wodnej, zapewnienia zaopatrzenia w wodę i ochronę przeciwpowodziową. Definicja ta pokrywa się z definicją zbiornika zaporowego przedstawioną przez Koszelnika [26]. Natomiast zupełnie odmiennie zbiorniki retencyjne przedstawili w swojej pracy Wurbs i inni

[53], sprecyzowali je jako urządzenia niezbędne do rozwoju niezawodnego systemu zaopatrzenia w wodę i stanowiące główny składnik zasobów rzeki.

Drugą grupę definicji wykorzystali w swoich pracach liczni naukowcy [20, 25, 40, 52], którzy opisują zbiorniki retencyjne jako obiekty przechwytujące i magazynujące okresowo wody deszczowe, wskazując tym samym ich przyporządkowanie do powierzchni zurbanizowanych.

Nieco dokładniejszej interpretacji można doszukać się w pracy Stec [46], która opisuje zbiorniki retencyjne jako nieodłączny element współczesnych systemów kanalizacyjnych. Zgodnie z jej opisem ich podstawowym zadaniem jest regulowanie przepływem ścieków deszczowych i ogólnospławnych do oczyszczalni, a dodatkowo mogą one służyć do ograniczenia falowych zrzutów ścieków do odbiornika.

Analizowane urządzenia zostały precyzyjnie opisane w pracach [22, 23], w których termin *zbiornik retencyjny* uzupełniono o określenie pozwalające na zidentyfikowanie miejsca jego wykorzystania np. *kanalizacyjny zbiornik retencyjny.* Opisane rozwiązanie dotyczyło urządzenia pozwalającego w okresowych szczytowych przepływach na przechwycenie i czasowe zatrzymywanie objętości ścieków deszczowych z możliwością stopniowego ich odprowadzenia do sieci kanalizacyjnej. Dobrym przykładem jest także praca Imhoffa i Imhoffa [18], którzy prezycują zbiornik retencyjny jako zbiornik ścieków deszczowych.

Słyś w swojej pracy [13] używa bezpieczniejszego sformułowania, które dotyczy obiektu służącego do zamierzonej retencji wód opadowych. Zgodnie z jego interpretacją zadaniem tych urządzeń jest transformacja niekorzystnego przebiegu funkcji odpływu wód deszczowych w czasie (charakteryzującego się dużym chwilowym natężeniem i krótkim czasem trwania) w bardziej korzystny spłaszczony hydrogram o mniejszym natężeniu i dłuższym czasie).

Analiza polskich źródeł pokazała, że zbiornik retencyjny może dotyczyć zbiornika wodnego lub zbiornika kanalizacyjnego, przy czym częściej sugeruje on związek z rzekami lub obiektami przeciwpowodziowymi.

Z kolei w literaturze anglojęzycznej istnieje jasny podział omawianej terminologii. Przykładowo wyróżnić można tutaj terminy *storage reservoirs* i *water storage reservoir*, które oznaczają wodny zbiornik retencyjny związany z rzekami. Równolegle funkcjonuje także szeroka grupa urządzeń związanych z systemami odwodnień (*detention facilitis*) [37], w których można wyróżnić:

- *underground* (detention) *vault* (tank) (podziemny kanalizacyjny zbiornik zamknięty),
- *detention/retention storage/tank* [4, 13, 17] (otwarty zbiornik na wody deszczowe),
- *basins facility*, *detention (retention) basins* [5, 7, 13, 33] (polder zalewowy),
- *stormwater tanks* [27, 31, 53] (otwarty zbiornik na wody deszczowe).

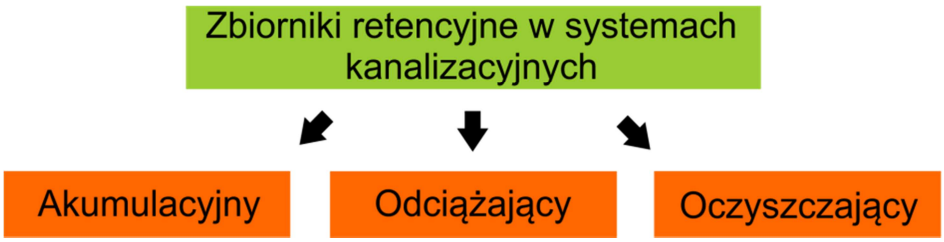
3. Podział zbiorników retencyjnych

W pracach [2, 8, 20] opisano kanalizacyjne zbiorniki retencyjne, które mogą pełnić funkcję obiektów: akumulujących, odciążających i oczyszczających. Ze względu

na ich różne przeznaczenie odmienna jest także procedura służąca do obliczenia ich niezbędnej pojemności retencyjnej.

Na rycinie 2 przedstawiono podział zbiorników retencyjnych, w którym podstawowym kryterium jest pełniona przez nie funkcja w systemie kanalizacyjnym.

Ryc. 2. Podział zbiorników retencyjnych ze względu na pełnione przez nie funkcje



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: J. Dziopak, Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.

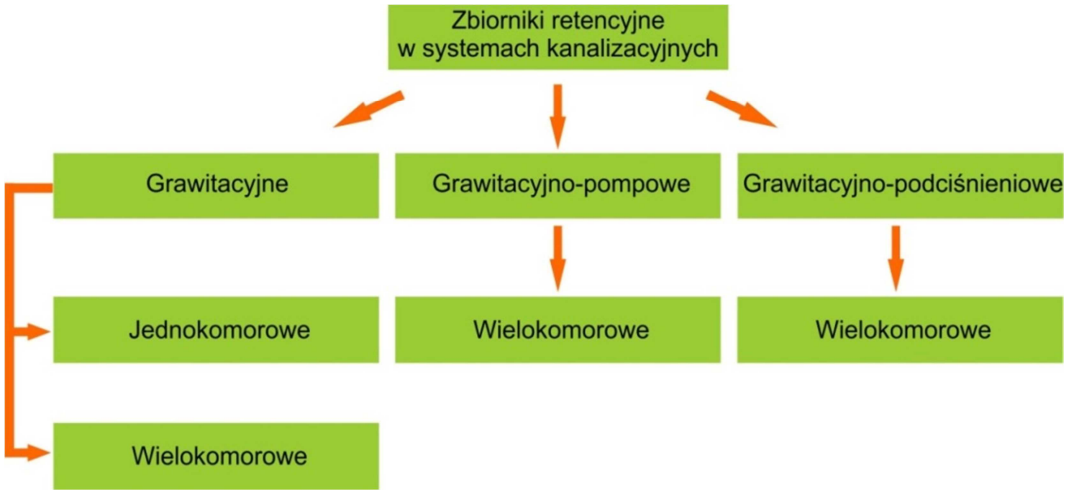
Zbiorniki akumulacyjne służą przede wszystkim do przechwytywania pierwszej fali spływu ścieków podczas pogody deszczowej. Szczgólnie zalecane są dla systemów ogólnospławnych, gdzie następuje rozcieńczenie ścieków bytowo-gospodarczych ściekami deszczowymi. Stoując takie rozwiązanie zbiornika retencyjnego, umożliwia się ochronę odbiornika przed nagłym zrzutem ścieków o dużym zanieczyszczeniu, co pozwala na poprawę stanu fizykochemicznego odbiornika [8].

Innym typem obiektów sa rozwiązania zbiorników odciążających, które mają za zadanie zmniejszyć strumień objętości ścieków transportowanych systemem kanalizacyjnym. Wykorzystanie tych obiektów umożliwia odciążenie hydraulicznie przeciążonych obiektów i kanałów [47].

W przypadku systemów kanalizacji deszczowej, w których zakłada się zrzut całości objętości cieczy do odbiornika, korzystnym jest stosowanie zbiorników podczyszczających. Pozwalają one na zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń i uzyskanie jego dopuszczalnych dla odbiornika norm [2, 31]. Cechą charakterystyczną tych obiektów jest konieczność przetrzymywania ścieków przez określony czas, niezbędny do procesu sedymentacji.

Kolejnym kryterium, systematyzującym zbiorniki retencyjne, jest ich układ hydrauliczny [7]. Na rycinie 3 przedstawiono różne rozwiązania zbiorników w zależności od ich układu hydraulicznego retencji ścieków [10, 22, 23]. W zbiornikach grawitacyjnych zarówno dopływ, jak i odpływ ścieków ze zbiornika następuje w wyniku działania siły grawitacji [23]. Obiekty te można podzielić na jedno- i wielokomorowe [8, 10].

Ryc. 3. Podział zbiorników retencyjnych ze względu na układ hydrauliczny komór



Źródło: Opracowanie własne

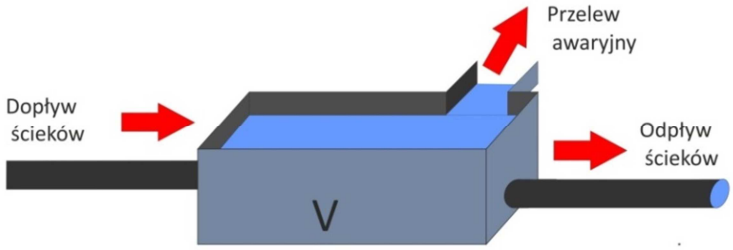
Zbiorniki jednokomorowe zawierają pojedyńczą komorę, w której następuje przepływ i akumulacja ścieków. Natomiast rozwiązania wielokomorowe posiadają co najmniej dwie komory. Pierwsza z nich, o małej kubaturze, umożliwia uzyskanie w stosunkowo krótkim czasie maksymalnych wartości napełnienia i natężenia odpływu ścieków oraz pozwala na sterowanie pracą pozostałych komór. Pozostałe komory o funkcjach akumulacyjnych służą jedynie do magazynowania nadmiaru cieczy.

Z kolei zbiorniki grawitacyjno-pompowe [43, 46] są obiektami, które do prawidłowego funkcjonowania wymagają dostarczenia energii elektrycznej [23, 45]. Związane jest to z koniecznością stosowania pomp ściekowych umożliwijących napełnianie lub opróżnianie wybranych komór zbiornika. Zaletą tych zbiorników jest możliwość ograniczenia powierzchni gruntu pod zabudowę, co jest szczególnie istotne na terenach zabudowanych.

Zupełnie innym rozwiązaniem są zbiorniki grawitacyjno-podciśnieniowe [22, 23], które stanowią podgrupę zbiorników wielokomorowych, w których funkcjonowanie komory akumulacyjnej następuje pod wpływem podciśnienia generowanego za pomocą zainstalowanych w niej pomp próżniowych.

Kolejny podział zbiorników retencyjnych, klasyfikujący je w zależności od usytuowania na sieci kanalizacyjnej, został przedstawiony w pracy Calabro i Viviani [7]. Na rycinie 4 zobrazowano zbiornik retencyjny typu *on-line*, który charakteryzuje się usytuowaniem urządzenia w ciągu kolektora kanalizacyjnego [7].

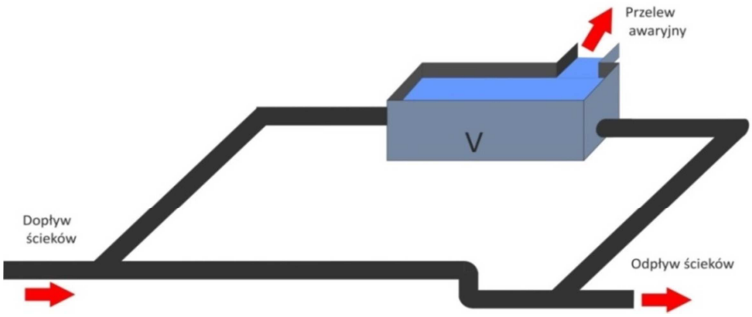
Ryc. 4. Schemat ideowy zbiornika typu on-line



Źródło: Opracowanie własne

Alternatywnym rozwiązaniem są zbiorniki, które sytuowane są na tzw. *by-passie* i określane są jako zbiornikami *off-line* (ryc. 5). Doprowadzenie ścieków w tym rozwiązaniu realizowane jest poprzez przelew zaprojektowany w ciągu kolektora kanalizacyjnego. Ten układ zbiornika dzięki swoim zaletom może być z powodzeniem realizowany w praktycznie każdych warunkach terenowych [5].

Ryc. 5. Schemat ideowy zbiornika typu off-line



Źródło: Opracowanie własne

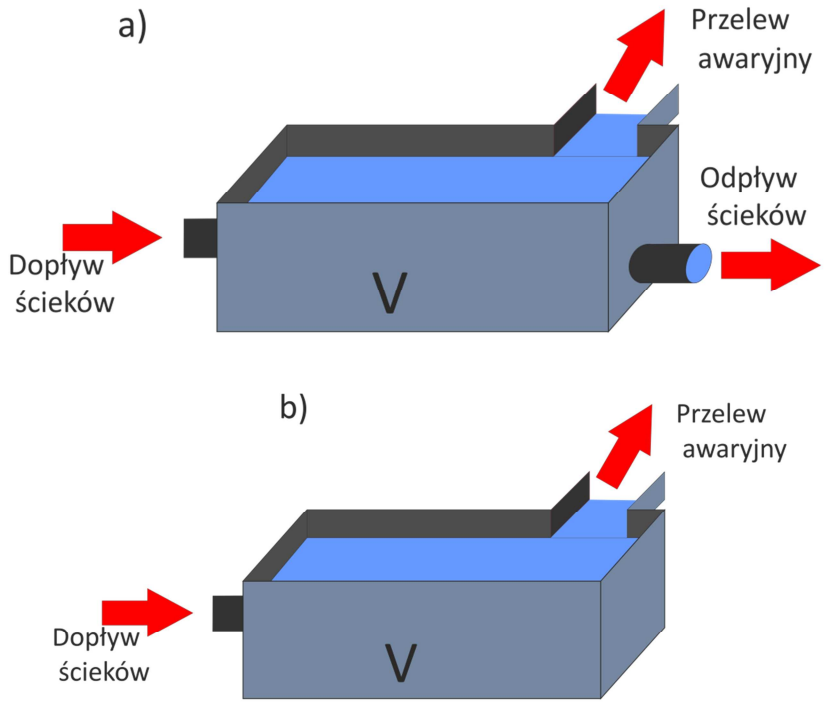
W swojej pracy [12] przedstawił klasyfikację kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych ze względu na konstrukcję. Wyróżnił on przede wszystkim zbiorniki otwarte i zbiorniki zamknięte.

Zbiorniki otwarte, najczęściej o budowie ziemnej lub żelbetowej, mogą być stosowane, gdy wykluczone jest zagrożenie higieniczne [5]. Badania opisane w pracach [33, 41] wskazały, że tego typu zbiorniki służą do przechowywania wód opadowych i opóźniania ich odpływu w zlewni, stanowiąc tym samym nieodłączny element systemów małej retencji. Gdy w ściekach występuje duże stężenie zanieczyszczeń fermentujących, Edel [12] zaleca stosowanie zamkniętych zbiorników podziemnych. Obiekty te mogą być wykonane z żelbetu lub z tworzyw sztucznych [32, 52].

Inny podział zbiorników przedstawiony został w pracy Rossmana [37], w której opisał on klasyfikację zbiorników ze względu na warunki odpływu ścieków, wśród których wyróżnił obiekty retencyjne i detencyjne. Różnice w budowie tych obiektów przedstawiono na rycinie 6.

Ryc. 6. Idea retencji i detencji

a – zbiornik detencyjny, b – zbiornik retencyjny

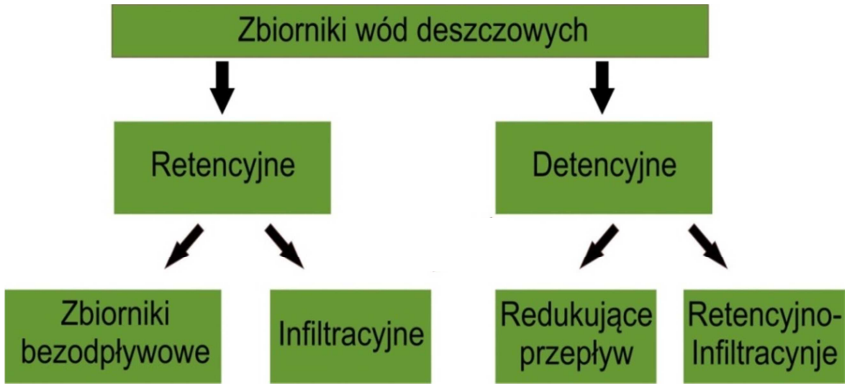


Źródło: Opracowanie własne na podstawie: L.A. Rossman, Storm water management model User's manual version 5.0, Cincinnati 2010, s. 1–285.

Zgodnie z instrukcją SWMM przykładem obiektów retencyjnych mogą być zbiorniki bezodpływowe, których opróżnianie realizowane jest poprzez przelew usytuowany w górnej części zbiornika lub/i poprzez parowanie [48]. Innym przykładem tego typu obiektów retencyjnych są zbiorniki typu *on-site*, które służą do zagospodarowania wód w miejscu ich powstania [13]. Z kolei obiekty detencyjne (ryc. 6a), zgodnie z pracą Rossmana [37], charakteryzują się dopływem cieczy w górnej części zbiornika i ich odpływem kanałem umieszczonym przy jego dnie. Zbiorniki te mogą funkcjonować jako zbiorniki redukujące przepływ ścieków lub zbiorniki retencyjno–infiltracyjne.

Analiza literatury przedmiotu skłoniła Autora do zaproponowania dodatkowego podziału zbiorników retencyjnych dla wód opadowych ze względu na realizowany odpływ ze zbiornika (ryc. 7).

Ryc. 7. Propozycja podziału zbiorników retencyjnych



Źródło: Opracowanie własne

4. Podsumowanie

Zbiorniki retencyjne stanowią nieodłączny element nowoczesnych systemów odwodnieniowych, a konieczność ich stosowania szczególnie w silnie zurbanizowanych zlewniach miejskich jest coraz częściej dostrzegana przez wielu badaczy i praktyków.

Jak to opisał Suligowski [49] „Prowadzenie inwestycji z zastosowaniem nietypowych technologii staje się nieuniknione w warunkach centrów dużych miast". Potwierdza to także Słyś [44], który wskazuje na znaczące zalety we wdrażaniu podziemnej retencji w zlewniach miejskich, które wynikają przede wszystkim z braku dostępnego terenu pod realizację wielkopowierzchniowych obiektów gospodarki wodami opadowymi.

Analiza dostępnych rozwiązań zbiorników retencyjnych wskazuje, że w zależności od potrzeb można zastosować odmiene rozwiązania zbiorników, które różnią się między sobą przede wszystkim układem hydraulicznym przepływu ścieków. Dlatego wybór najkorzystniejszego rozwiązania obiektu retencyjnego może nastąpić dopiero po szczegółowej analizie warunków lokalnych i hydraulicznych, w jakich dany obiekt będzie funkcjonował.

Dodatkowo przeprowadzona analiza stanu wiedzy wykazała, że w polskiej literaturze branżowej nie ma ściśle sprecyzowanej definicji zbiornika retencyjnego. Zatem opisując wszelkie badania, zaleca się korzystanie z terminu zbiornik retencyjny z uwzględnieniem jego precyzyjnego określenia, np.:

- wodny zbiornik retencyjny,
- kanalizacyjny zbiornik retencyjny.

W celu ujednolicenie polskiego i anglojęzycznego tłumaczenia terminu zbiornik retencyjny sugeruje się go definiować najbardziej ogólnym i adekwatnym sformułowaniem, jako naturalny lub sztuczny obiekt służący do chwilowego zmagazynowania nadmiaru objętości cieczy.

Bibliografia

1. Andrieu H., Fletcher T.D., Hamel P., *Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art for NASA Astrophysic Data System,* [w:] Advances in Water Resources, vol. 5, 2013, s. 261–279.
2. Ashley R., Dąbrowski W., Wielogórski A., *Badania nad pochodzeniem zanieczyszczeń transportowanych w czasie pogody deszczowej w kanale ogólnospławnym,* [w:] Ochrona Środowiska, 2(61), 1996, 59.
3. Barszcz M., *Innowacyjne metody zarządzania wodami deszczowymi w obszarach zurbanizowanych,* [w:] Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 1, 2013, s. 12.
4. Bornatici L., Ciaponi C., Papiri S., *Control of urban runoff stormwater discharge to receiving waters using off-line storage,* [w:] Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 2004, s. 33–44.
5. Bowditch B.W., Phillips D.J., *Composite on-site stormwater detention storage's: improved design methods,* International Symposium on Urban Stormwater Management, Melbourne 11–13.07.1995, ss. 349–354.
6. Brombach H., *Sewerage system and stormwater tanks as reflected in statistics,* [w:] KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, 4/2002, s. 33–40.
7. Calabrò P.S., Viviani G., *Simulation of the operation of detention tanks,* [w:] Water Research, No. 40/2006, s. 83–90.
8. Dufresne M., Ghenaim A., Poulet J.-B., Terfous A., Vazquez J., *Experimental investigation and CFD modelling of flow, sedimentation. and solid separation in a combined sewer detention tank,* [w:] Computers&Fluids, No. 38/2009, s. 1042–1049.
9. Dunk M.J., Arikans J. MCIWEM, McMath S.M. MCIWEM, *A new management approach for the remediation of polluted surface water outfalls to improve river water quality,* [w:] Water and Environment Journal, No. 22/208, s. 32–41.
10. Dziopak J., *Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
11. Dziopak J., Słyś D., Stec A., *Rurowy zbiornik retencyjny ścieków deszczowych,* [w:] Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 2/2011, s. 62–64.
12. Edel R., *Odwodnienie dróg,* wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
13. Environmental Protection Agency, Storm Water Technology Fact Sheet: On-Site Underground Retention/Detention, EPA, Washington 2001.
14. Fidala-Szope M., Koczyk A., Sawicka-Siarkiewicz H., *Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami burzowymi w kanalizacji ogólnospławnej,* Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1997.
15. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych,* Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1999.
16. Guzik J., Guzik A., *Wodociągi i kanalizacja zewnętrzna,* Wydawnictwo I Handel Książkami "KaBe", Krosno 2011.
17. Harbulakova V.O., Zelenakova M., *Rainwater management in condition of climatic change,* International Scientific Conference/ People, Buildings and Environment, Brno 2014.
18. Imhoff K. i Imhoff K.R., *Kanalizacja miast i oczszczanie ścieków,* Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1996.
19. Jones R.G., Murphy J.M, Noguer M., *Simulations of climate change over Europe using a nested regional climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries,* [w:] Quart. J.R. Met. Soc., 121/1995, s. 1413–1449.
20. Kalisz P., *Wpływ eksploatacji górniczej na rurowe zbiorniki retencyjne,* [w:] Górnictwo i Geologia, nr 1/2012, t. 7, Katowice 2012, s. 87–97.

21. Kaźmierczak B., *Badania symulacyjne działania przelewów burzowych i separatorów ścieków deszczowych w warunkach ruchu nieustalonego do wspomagania projektowania sieci odwodnieniowych,* Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, rozprawa doktorska (promotor: prof. dr hab. inż. A. Kotowski), Wrocław 2011.
22. Kisiel A., *Hydrauliczna analiza działania grawitacyjno-podciśnieniowych zbiorników kanalizacyjnych,* Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1998.
23. Kisiel A., Kisiel J., Malmur R., Mrowiec M., Retencyjne zbiorniki jako elementy nowoczesnych rozwiązań sieci kanalizacyjnych, [w:] Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, nr 1/2008, Kraków 2008, s. 42–63.
24. Kisiel A., Lach J., Ociepa E., *Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków deszczowych z sieci kanalizacyjnych,* [w:] Proceedings of ECOpole, vol. 3(1)/2009, s. 116–120.
25. Kostecki J., Pązik R., *Dobór optymalnej pojemności zbiornika retencjonującego wody w małych zlewniach deszczowych,* [w:] Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, Inżynieria Środowiska, z. 151(31)/2013, s. 113–122.
26. Koszelnik P., *Źródła i dystrybucja pierwiastków biogennych na przykładzie zespołu zbiorników zaporowych Solina-Myczkowce,* Rzeszów 2009.
27. Kowalska W., Prystaj A., Wieczysty A., *Teoretyczne badania nieustalonego przepływu ścieków w kanalizacji,* Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2000.
28. Królikowska J., *Ocena przydatności hydroseparatorów do podczyszczania ścieków opadowych*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
29. Kuliczkowski A., Jakubowski J., *Ocena porównawcza wybranych metod obliczania miarodajnych przepływów w kanalizacji deszczowej,* [w:] Instal, nr 11/2002, s. 28–32.
30. Licznar P., *Obliczenia częstotliwości nadpiętrzenia sieci kanalizacji deszczowej*, [w:] Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 7–8/2008, s. 16–17.
31. Marton D., Stary M., Mensik P., *Water management solution of reservoir storage function under condition of measurement uncertainties in hydrological,* [w:] Procedia Engineering 70:10941101, 2014.
32. Michelbach S., Weiβ G.J., *Settleable sewer solids at stormwater tanks with clarifier for combined sewage,* [w:] Water Science and Technology, vol. 33/(9)/1996, s. 261–267.
33. Mrowiec M., *Symulacja działania rurowych zbiorników retencyjnych przy zastosowaniu modelu fali dynamicznej,* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 51, Rzeszów 2009, s. 57–65.
34. Nascimento N.O., Ellis J.B., Baptista M.B., Deutsch J.-C., Using detention basins: operational experience and lessons, [w:] Urban Water, vol. 1/2000, s. 113–124.
35. Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Poznaniu. http://www.poznan. rzgw.gov.pl/zbiorniki-wodne (dostęp: 16.06.2016).
36. Roaf S., Crichton D., Fergus N., *Adapting buildings and cities for climate change,* [w:] A 21st Century Survival Guide, Second Edition by Elsevier, Architectural Press 2009, s. 1–373.
37. Rossman L.A., *Storm water management model User's manual version 5.0,* Cincinnati 2010, s. 1–285.
38. Ruby E., *How urbanization affects the water cycle,* [on-line], 10.04.2015, http://www.coastal.ca.gov/nps/watercyclefacts.pdf (dostęp: 15.02.2014).
39. Sakson G., Zawilski M., Badowska E., Brzezińska A., *Zanieczyszczenie ścieków opadowych jako podstawa wyboru sposobu ich zagospodarowania,* [w:] JCEEA – Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska I Architektury, z. 61, t. 31/2014.
40. Sawunyama T., Senzanje A., Mhihza A., *Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River Basin using geographical information systems (GIS) and remotely sensed*

surface areas: Case of Mzingwane catchment, [w:] Physics and Chemistry of The Earth, No. 31/2006, s. 995–1002.

41. Sehnert C., Lindenschmidt K.-E., *The efect of upstream river hydrograph characteristics on zone deposition dissolved oxygen depletion and phytoplankton growth in flood detention basins system,* [w:] Quaternary International, vol. 208(1–2)/2009, s. 1–169.
42. Słyś D., *Retencja i infiltracja wód deszczowych,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
43. Słyś D., *Retencja zbiornikowa i sterowanie dopływem ścieków do oczyszczalni,* Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Lublin 2009.
44. Słyś D., *Zrównoważone systemy odwodnienia miast,* Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2014.
45. Słyś D., Stec A., *Effect of development of the town of Przemyśl on the operation of its sewerage system* [w:] Ecological Chemistry and Engineering, No. 20(2)/2013, ss. 381–396.
46. Stec A., *Optymalizacja innowacyjnych zbiorników w kanalizacji ogólnospławnej,* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, rozprawa doktorska (promotor D. Słyś), Kraków 2013.
47. Stec A., Słyś D., *Wpływ rozwoju terenów miejskich na funkcjonowanie systemu kanalizacyjnego miasta Przemyśla,* [w:] Proceedings of ECOpole, vol. 6, No. 2/2012, s. 215–228.
48. Suligowski Z., *Wodociągi i kanalizacja w zarysie,* Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1985.
49. Suligowski Z., *Przygotowanie inwestycji liniowej w trudnych warunkach,* [w:] JCEEA Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, z. 61(3)/2014, s. 335–345.
50. Umapathi S., M.N. and Sharma A.K., *Evaluation of plumbed rainwater thanks in household for sustainable water resource management: a real time monitoringstudy,* [w:] Journal of Cleaner Production, No. 42, 2013, s. 204–214.
51. Ustawa Prawo wodne (Dz. U. z 2015 r., poz. 469).
52. Walczak R., *Systemy retencyjne i retencyjno-odciążające CFW-GRP Flowtite,* [w:] Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2009, s. 50–51.
53. Wurbs R.A. i Ayala R.A., *Reservoir evaporation in Texas,* USA 2014.
54. Xin-An Yin i inni, *Suitable range of reservoir storage capacities for environmental flow provision,* [w:] Ecological Engineering 76:122–129 DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.04.002, 2014.