

Maciej MROWIEC<sup>1\*</sup>, Oliwia KOCHAŃSKA<sup>1</sup>, Bartosz SZELAĞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
Instytut Inżynierii Środowiska

ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

\* e-mail: mrowiec@is.pcz.pl

<sup>2</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki

Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska

al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

## Analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych

W artykule przedstawiono problematykę działania zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych w systemach odprowadzania ścieków opadowych z obszarów zurbanizowanych. Głównym celem była ocena działania tego typu zbiorników dla hydrogramów generowanych na podstawie opadów rzeczywistych w odróżnieniu od przyjmowanych w dotychczasowych publikacjach opadów obliczeniowych. Przeprowadzone zostały badania symulacyjne z zastosowaniem modelu hydrodynamicznego zlewni zurbanizowanej, wykonanego przy użyciu programu SWMM5. Model ten uwzględniał specyfikę hydraulicznego działania zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego typu Parkus. Na podstawie danych pluwiometrycznych z okresu 2009-2012, zarejestrowanych na deszczomierzu zlokalizowanym w Częstochowie, dokonano analizy funkcjonowania zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego. Rozpatrzonych zostało pięć różnych wariantów udziału objętości napelnianej podciśnieniowo w całkowitej objętości retencyjnej (od 25 do 75% udziału) dla zmiennych wartości jednostkowego natężenia odpływu ze zbiornika (od 4 do 16 dm<sup>3</sup>/s-ha). Na podstawie przeprowadzonych symulacji możliwe było określenie częstotliwości włączania urządzeń do wytwarzania podciśnienia, jak też objętości ścieków, retencjonowanej średniorocznie w warunkach podciśnieniowych. Otrzymane wyniki umożliwiły wskazanie warunków, w jakich zastosowanie podciśnienia do retencjonowania ścieków opadowych jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione.

**Słowa kluczowe:** zbiorniki retencyjne, ścieki opadowe, kanalizacja deszczowa

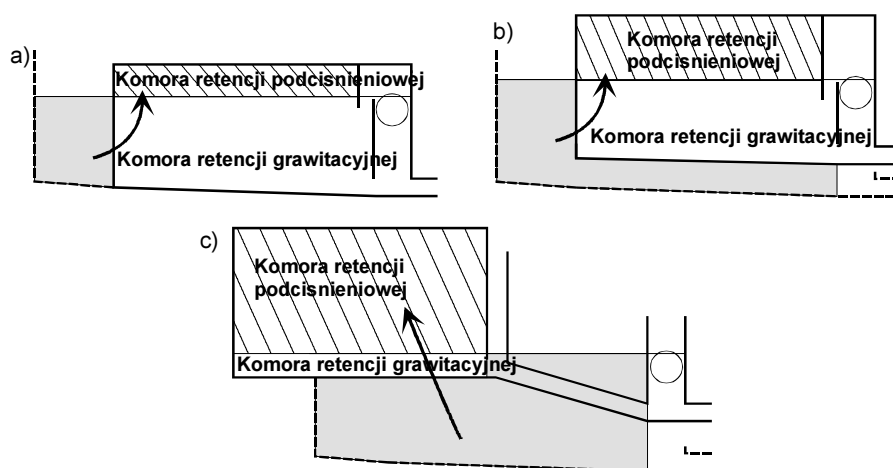
### Wprowadzenie

Koncepcja zastosowania zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych w systemach kanalizacyjnych została przedstawiona przez Kisiela [1-3] jako alternatywne rozwiązanie dla tradycyjnie stosowanych zbiorników o grawitacyjnym sposobie akumulacji ścieków. Opracowanych zostało kilka konstrukcji zbiorników, których komora retencyjna była przeznaczona w całości (zbiornik typu Commodus) lub częściowo do podciśnieniowej akumulacji ścieków deszczowych (zbiorniki typu Mirus, Conses, Parkus) [4].

Wykorzystanie podciśnienia do retencjonowania ścieków umożliwia osiągnięcie wymiernych korzyści zarówno na etapie inwestycji, jak i wieloletniej eksploatacji

zbiornika [4-6]. Do podstawowych zalet zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych należy zaliczyć (rys. 1):

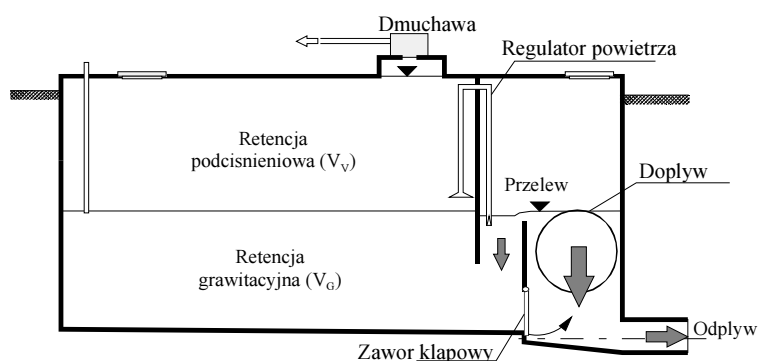
- możliwość prawie dowolnego przestrzennego ukształtowania bryły zbiornika, szczególnie w odniesieniu do poziomu zwierciadła ścieków w dopływie do niego. Zwiększa to zakres stosowania tych zbiorników w praktyce, wliczając możliwość ich realizacji na terenach płaskich topograficznie oraz hydrogeologicznie trudnych;
- znaczne zmniejszenie głębokości ułożenia kolektora odpływowego ze zbiornika w porównaniu do wielokomorowych zbiorników o działaniu grawitacyjnym;
- osiągnięcie efektu prawie stałego natężenia odpływu ścieków ze zbiornika zarówno w fazie jego napełniania, jak i podczas opróżniania podciśnieniowej komory retencyjnej, co powoduje zdolność szybkiego odzyskiwania pojemności retencyjnej zbiornika.



Rys. 1. Możliwości wykonania komory do retencji podciśnieniowej: a) ograniczenie powierzchni zajmowanej przez zbiornik; b) ograniczenie powierzchni z jednoczesnym wypływnicę ułożenia kolektora odpływowego; c) komora retencyjna zlokalizowana w pewnej odległości od głównego kanału powyżej poziomu gruntu

Fig. 1. Possible profits of vacuum storage in comparison to a traditional reservoir: a) reduction of the area occupied by the reservoir; b) reduction of the necessary depth of foundations; c) construction of detention tank on the level of the ground and in some distance from the stormwater conduit

Spośród przedstawionych w literaturze konstrukcji na szczególną uwagę zasługuje zbiornik typu Parkus, który praktycznie nie różni się od klasycznej konstrukcji zbiornika wyposażonego w przelew boczny i zawór klapowy (zbiornik typu Contract). Nie wymaga on dodatkowego stropu rozdzielającego komory górną i dolną jak w zbiornikach typu Mirus i Conses oraz w zbiornikach pompowych, co znacząco redukuje koszty wykonania. Zbiornik tego typu może zostać wykonany na bazie istniejącego zbiornika o działaniu grawitacyjnym, dzięki czemu możliwe jest pełne wykorzystanie objętości dotychczas nieużytkowanej (przestrzeń pomiędzy maksymalnym grawitacyjnym napełnieniem zbiornika a stropem komory) [1, 7, 8].



Rys. 2. Schemat zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego typu Parkus

Fig. 2. Scheme of vacuum-driven storage tank Parkus type

Ta dodatkowa objętość, w zależności od konkretnych rozwiązań, może sięgać nawet 25÷35% pojemności retencyjnej dla warunków wyłącznie grawitacyjnych (np. wykorzystanie 0,5 m wysokości przy maksymalnym napełnieniu komory grawitacyjnej 2,0 m). Oznacza to możliwość przyjęcia przez sieć dodatkowej ilości ścieków przy niewielkich nakładach inwestycyjnych związanych z gęstością górnej części komory, przegrody oddzielającej komorę przepływową od retencyjnej oraz dmuchawy wraz z oprzyrządowaniem.

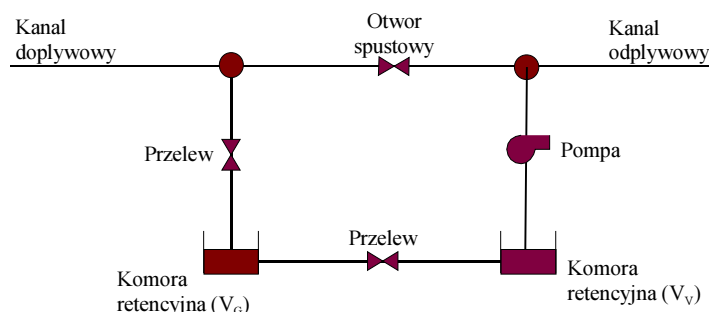
Dotychczasowe opracowania naukowe koncentrowały się na badaniu efektywności działania zbiorników retencyjnych w odniesieniu do pojedynczych hydrogramów dopływu [8-10]. Zazwyczaj analizowano hydrogramy o kształtach trapezowych bądź trójkątnych, co wynikało ze stosowania metody granicznych natężeń na etapie obliczania wymaganej pojemności retencyjnej. Brak jest dotychczas opracowań odnoszących się do analizy długookresowej działania tego typu zbiorników, uwzględniających rzeczywiste, a nie obliczeniowe opady. Jest to szczególnie istotne w przypadku wszelkiego rodzaju zbiorników, w których retencjonowanie ścieków wymaga dostarczenia energii do zasilania urządzeń typu pompy, dmuchawy. Dzięki symulacjom opartym na rzeczywistych danych możliwe jest określenie częstotliwości włączania tych urządzeń, ich czasu pracy, a w konsekwencji oszacowanie ilości dostarczonej energii elektrycznej i związanych z tym kosztów [11, 12].

Dodatkowym uzasadnieniem dla prowadzenia symulacji ciągłych jest uwzględnienie procesów opróżniania zbiorników retencyjnych. Rzeczywiste opady charakteryzują się tym, że mogą generować hydrogramy dopływu, mające dwie, a nawet trzy szczytowe wartości [13]. W takiej sytuacji istotne znaczenie ma zdolność zbiornika do efektywnego zrzutu ścieków w okresach pomiędzy szczytowymi dopływami. Jak wykazały wcześniejsze prace, zbiorniki grawitacyjno-podciśnieniowe charakteryzują się znacząco wyższą efektywnością w zakresie odzyskiwania zdolności retencyjnej w porównaniu do zbiorników grawitacyjnych, zarówno jedno-, jak i wielokomorowych. Wynika to z faktu, że objętość ścieków zmagazynowana w warunkach podciśnieniowych jest odprowadzana ze zbiornika przy zachowaniu quasi-stałego natężenia odpływu  $Q_0$ .

## 1. Metodyka badań

Analiza działania zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego została wykonana przy zastosowaniu programu EPA SWMM5, którego funkcjonalność została opisana w wielu krajowych i zagranicznych publikacjach [14-16]. Zasadniczym argumentem za wyborem tego programu była możliwość prowadzenia symulacji ciągłych w oparciu o dane zarejestrowane na deszczomierzu, czyli uwzględniając nierównomierność czasową opadów, jak też występowanie okresów bezdeszczowych. Dla potrzeb wykonania modelu wyselekcjonowano zlewnię miejską zlokalizowaną w Częstochowie w dzielnicy Raków. Całkowita powierzchnia zlewni (32 ha) została podzielona na 51 homogenicznych podzlewni o powierzchni od 0,2 do 1,7 ha. Uwzględniono przy tym sposób zagospodarowania, kształt oraz spadki poszczególnych części zlewni (stopień uszczelnienia zlewni: 32%). Podstawowe parametry charakteryzujące podzlewnie (retencja terenowa, współczynniki szorstkości, szerokość pasa spływu itp.) miały wartości typowe dla zlewni miejskich [16, 17]. Sieć kanalizacji deszczowej, wykonanej z rur betonowych, została podzielona na 55 odcinków o średnicach kanałów od 300 do 600 mm.

Lokalizacja modelowanego zbiornika retencyjnego wynikała z obserwowanych lokalnych podtopień i przeciążeń istniejącego systemu kanalizacyjnego. Program SWMM5 nie posiada modułu pozwalającego na bezpośrednie symulowanie działania zbiornika podciśnieniowego. Z tego względu konieczne było wykonanie modelu złożonego z podstawowych elementów dostępnych w programie: zbiornik retencyjny (storage unit), przelew (weir), otwór spustowy (orifice) oraz pompy (pumps). Dodatkowo konieczne było zdefiniowanie tzw. reguł sterujących (control rules), by możliwe było odzwierciedlenie procesu opróżniania objętości zmagazynowanej w warunkach podciśnieniowych. Ogólny schemat przedstawiono na rysunku 3.



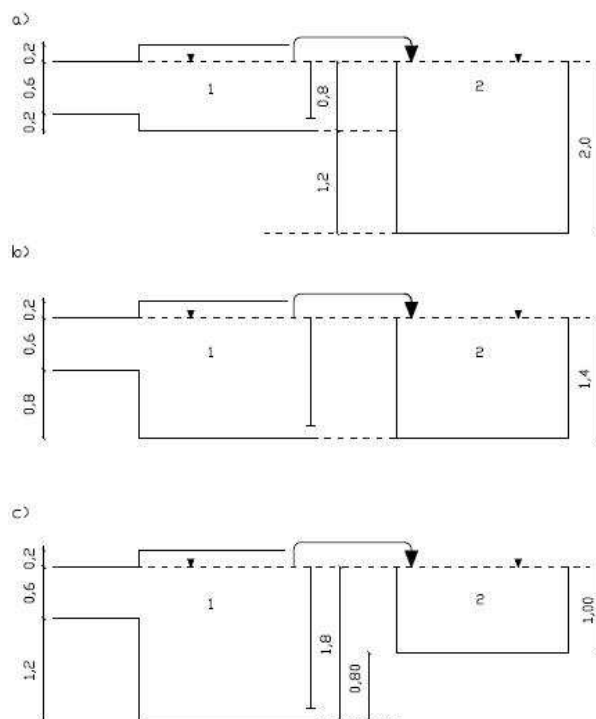
Rys. 3. Schemat modelu zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego opracowanego w programie SWMM5

Fig. 3. Scheme of hydrodynamic model of vacuum-driven storage tank made in SWMM5 software

W każdym z rozpatrywanych wariantów przyjęto, że powierzchnia rzutu poziomego zbiornika jest niezmienna i wynosi  $400 \text{ m}^2$ . Całkowitą wysokość zbiornika założono jako równą  $2,8 \text{ m}$ , w związku z czym całkowita objętość retencyjna wynosi  $1120 \text{ m}^3$ . Opracowany model zbiornika uwzględniał różne warianty rozdziału

całkowitej objętości retencyjnej ( $V_T$ ) pomiędzy objętość wypełnianą grawitacyjnie ( $V_G$ ) i podciśnieniowo ( $V_V$ ):

- $V_V = 280 \text{ m}^3$  (25%  $V_T$ ) oraz  $V_G = 840 \text{ m}^3$  (75%  $V_T$ ),
- $V_V = 373 \text{ m}^3$  (33%  $V_T$ ) oraz  $V_G = 750 \text{ m}^3$  (67%  $V_T$ ),
- $V_V = 560 \text{ m}^3$  (50%  $V_T$ ) oraz  $V_G = 560 \text{ m}^3$  (50%  $V_T$ ),
- $V_V = 750 \text{ m}^3$  (67%  $V_T$ ) oraz  $V_G = 373 \text{ m}^3$  (33%  $V_T$ ),
- $V_V = 840 \text{ m}^3$  (75%  $V_T$ ) oraz  $V_G = 280 \text{ m}^3$  (25%  $V_T$ ).



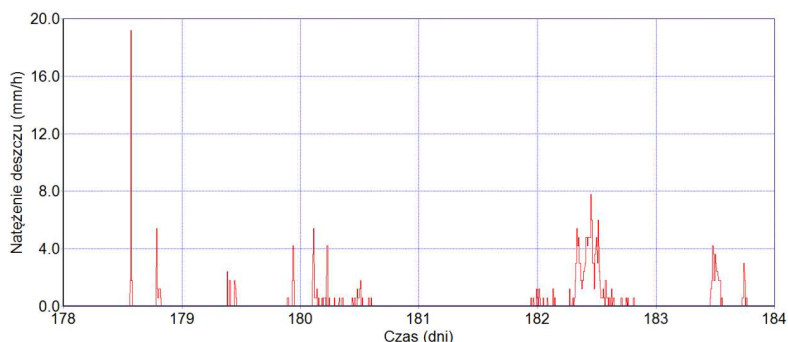
Rys. 4. Schemat podziału objętości retencyjnej w wariantach: a)  $V_V/V_T = 0,67$ , b)  $V_V/V_T = 0,50$ , c)  $V_V/V_T = 0,33$ ; 1 - komora grawitacyjna, 2 - komora podciśnieniowa

Fig. 4. Scheme of the division of storage volume: a)  $V_V/V_T = 0.67$ , b)  $V_V/V_T = 0.50$ , c)  $V_V/V_T = 0.33$ ; 1 - gravitational chamber, 2 - vacuum-driven chamber

Dla każdego wariantu rozdziału objętości retencyjnej rozpatrzono dodatkowo zmienne wartości natężenia odpływu zredukowanego, który w sposób decydujący wpływa na funkcjonowanie zbiornika. Rozpatrzono następujące wartości jednostkowego natężenia odpływu:  $q_0 = 4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ,  $q_0 = 8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ,  $q_0 = 12 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ,  $q_0 = 16 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ . Jednostkowe natężenie przepływu zredukowanego jest odniesione do hektara powierzchni uszczelnionej.

Do badań wykorzystano rzeczywiste dane opadowe z lat 2009-2012 zarejestrowane w Częstochowie na deszczomierzu zlokalizowanym przy ulicy Brzeźnickiej. Na potrzeby symulacji wybrano zdarzenia z okresu od początku marca do końca października, zatem nie uwzględniano okresu opadów, jak również topnienia

śniegu. Dane były rejestrowane z dokładnością 0,1 mm wysokości opadu, z krokiem czasowym  $\Delta t = 10$  minut. Fragment hietogramu opadów wykorzystanych w badaniach symulacyjnych przedstawiono na rysunku 5.

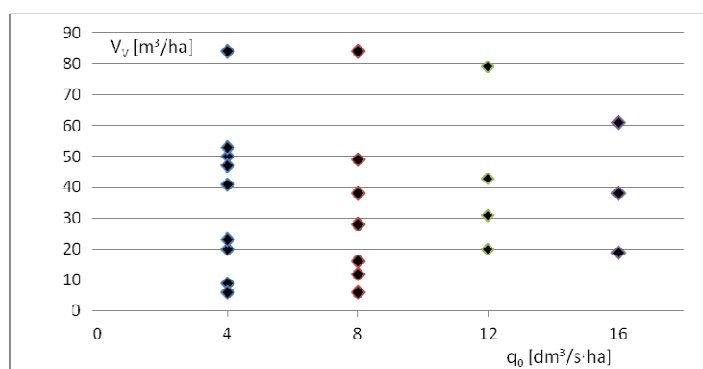


Rys. 5. Przykładowy fragment hietogramu opadów zarejestrowanych w 2011 roku

Fig. 5. Sample part of hyetograph of rainfall recorded in 2011

## 2. Wyniki badań

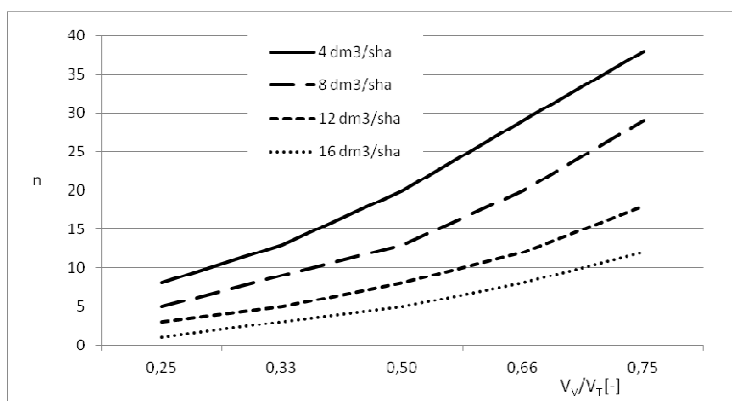
Przeprowadzone symulacje hydrodynamiczne przy wykorzystaniu czteroletnich danych o opadach umożliwiły opracowanie diagramów dla każdego wariantu rozdziału objętości retencyjnej. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy diagram dla zbiornika, w którym udział komory podciśnieniowej wyniósł 75% dla roku 2011. Każdy z punktów oznacza jednostkową (czyli odniesioną do hektara powierzchni uszczelnionej) objętość ścieków wypełniającą komorę. Na podstawie takich diagramów opracowano statystyczne zestawienie liczby napełnień komory oraz sumaryczną objętość ścieków retencjonowanych w warunkach podciśnieniowych dla okresu czteroletniego.



Rys. 6. Diagram punktowy obrazujący względną objętość ścieków retencjonowanych w warunkach podciśnieniowych (dla  $V_v/V_T = 0,75$ ; 2011 rok)

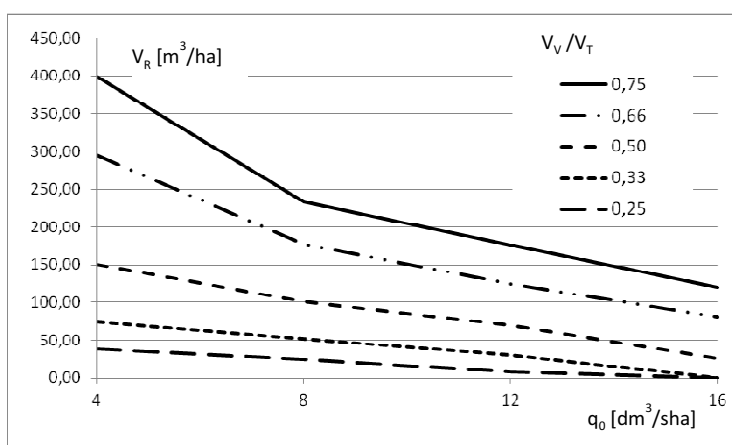
Fig. 6. Point diagram describing relative stormwater volume stored under vacuum conditions (for  $V_v/V_T = 0.75$ ; year 2011)

Na rysunku 7 przedstawiono liczbę zdarzeń opadowych ( $n$ ), które spowodowały częściowe lub całkowite wypełnienie części podciśnieniowej ( $V_V$ ) komory retencyjnej w okresie czterech lat. Zwraca uwagę fakt, że wraz ze wzrostem względnego udziału części podciśnieniowej liczba zdarzeń wzrasta wykładniczo (szczególnie przy  $q_0$  w zakresie  $4\div 8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ). Dla jednostkowego natężenia odpływu  $q_0 = 4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$  i  $V_V = 0,75V_T$  średnia roczna liczba włączeń dmuchaw wyniosła  $n = 10$ , podczas gdy dla  $V_V = 0,25V_T$  występują średnio tylko 2 włączenia. Znaczący wzrost liczby zdarzeń powodujących wypełnianie części podciśnieniowej komory retencyjnej następuje dla  $V_V = 0,50V_T$ .



Rys. 7. Liczba zdarzeń opadowych ( $n$ ), powodujących częściowe napełnienie komory podciśnieniowej w zależności od względnego udziału objętości  $V_V/V_T$  oraz względnego natężenia odpływu zredukowanego  $q_0$

Fig. 7. Number of rainfall events ( $n$ ) causing partial filling of vacuum-driven chamber, depending on relative ratio  $V_V/V_T$  and relative reduced outflow rate  $q_0$



Rys. 8. Średnia roczna objętość ścieków retencjonowanych w warunkach podciśnieniowych ( $\text{m}^3$  na hektar powierzchni nieprzepuszczalnej) w zależności od  $q_0$  oraz udziału względnej objętości retencyjnej  $V_V/V_T$

Fig. 8. Average annual volume of stormwater stored under vacuum conditions ( $\text{m}^3$  on hectare of impervious surface) depending on  $q_0$  and relative ratio of storage volume  $V_V/V_T$

Na rysunku 8 przedstawiono zależność pomiędzy jednostkową objętością ścieków (czyli odniesioną do hektara powierzchni uszczelnionej) retencjonowanych w komorze podciśnieniowej w ciągu roku a natężeniem odpływu zredukowanego  $q_0$ . Wartości obliczono jako średnią arytmetyczną z okresu 4 lat. Decydujący wpływ na objętość ścieków retencjonowanych w warunkach podciśnieniowych (a więc i na koszty retencjonowania) ma oczywiście wielkość komory podciśnieniowej. Znaczący przyrost ilości retencjonowanych ścieków następuje przy wzroście tego udziału powyżej 50% całkowitej objętości retencyjnej zbiornika. Dodatkowym czynnikiem jest jednostkowe natężenie odpływu, które istotnie wpływa na ilość retencjonowanych ścieków przy wartościach  $q_0 < 8,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ .

Powyższe zależności były podstawą przeprowadzenia szacunkowej analizy techniczno-ekonomicznej w odniesieniu do opłacalności stosowania retencji podciśnieniowej. Obliczenia przeprowadzono przy założeniu standardowych warunków gruntowych i 25-letniego okresu eksploatacji w oparciu o aktualne katalogi nakładów rzeczowych. Ponieważ zbiorniki podciśnieniowe nie zostały dotychczas zastosowane w pełnej skali technicznej, to problematyczne było przyjęcie wskaźników dotyczących eksploatacji urządzeń do wytwarzania podciśnienia. Ostatecznie przyjęto, że sprawność działania urządzeń do wytwarzania podciśnienia jest o 20% niższa niż dla standardowych pomp ściekowych, natomiast średnioroczne koszty związane z utrzymaniem tych urządzeń są o 25% wyższe niż w przypadku zestawów pompowych. Wyniki analiz wskazują, że zastosowanie podciśnienia w retencjonowaniu ścieków opadowych będzie uzasadnione, jeżeli roczna jednostkowa objętość magazynowanych ścieków nie przekracza  $135 \text{ m}^3/\text{ha}$  dla  $q_0 = 16 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$  oraz  $180 \text{ m}^3/\text{ha}$  dla  $q_0 = 4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ . W przypadku występowania niekorzystnych warunków gruntowych (np. wysoki poziom wód gruntowych) stosowanie retencji podciśnieniowej będzie uzasadnione przy wartościach o około 30% wyższych niż dla warunków standardowych. Otrzymane wyniki mogą się różnić w zależności od lokalnych charakterystyk opadowych, jednostkowych kosztów realizacji zbiorników, a także wielkości projektowanego zbiornika.

## Podsumowanie

Zastosowanie zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych w systemach odprowadzania ścieków opadowych jest szczególnie uzasadnione w przypadku występowania niekorzystnych warunków gruntowych (wysoki poziom wód gruntowych, grunty skaliste etc.) bądź w obszarach, gdzie brak jest dostępnego miejsca pod lokalizację zbiorników o tradycyjnej budowie.

Zastosowanie podciśnieniowej retencji umożliwia modernizację istniejących konstrukcji zbiorników, co pozwala na zwiększenie ich pojemności retencyjnej nawet o kilkadziesiąt procent.

W artykule przedstawiono możliwości modelowania działania zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego przy użyciu programu SWMM5 z wykorzystaniem jego podstawowych elementów (przelew, zbiornik, otwór spustowy, reguły warunkowe



i sterujące). Wykonane symulacje z wykorzystaniem rzeczywistych danych opadowych z okresu 4 lat pozwoliły na określenie średniorocznych objętości ścieków opadowych retencjonowanych w warunkach podciśnieniowych. Podstawowymi czynnikami decydującymi o kosztach eksploatacyjnych zbiornika grawitacyjno-podciśnieniowego są: jednostkowe natężenie przepływu zredukowanego oraz względny udział objętości napełnianej podciśnieniowo w całkowitej objętości retencyjnej zbiornika. Przedstawione w artykule wyniki symulacji wykazały, że istotny wzrost ilości ścieków występuje, gdy udział objętości napełnianej podciśnieniowo stanowi więcej niż 50% całkowitej objętości retencyjnej.

### Podziękowania

*Artykuł został opracowany w ramach BS-PB-401-306/11 oraz BS-MN-401-306/12.*

### Literatura

- [1] Kisiel A., Hydrauliczna analiza działania grawitacyjno-podciśnieniowych zbiorników kanalizacyjnych, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1998.
- [2] Kisiel A., Dobisz K., Mrowiec M., Wymiarowanie grawitacyjno-ciśnieniowych zbiorników MIRUS-ES oraz MIRUS-EP w aspekcie ich energooszczędnego działania, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2008, 10, 18-23.
- [3] Kisiel A., Mrowiec M., Metody efektywnego wymiarowania zbiorników grawitacyjno-podciśnieniowych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2008, 7-8, 22-28.
- [4] Mrowiec M., Kisiel A., Vacuum storage as effective way to increase capacity of detention facilities, Water Practice and Technology 2007, 2, 2, 1-8.
- [5] Dziopak J., Niemczynowicz J., Vacuum-driven CSO detention tanks, Urban Water 1999, 1, 105-107.
- [6] Mrowiec M., Kisiel A., Innovative structure of on-line storage tank, Proceedings of International Conference on Urban Drainage, Copenhagen 2005, 1-10.
- [7] Brombach H., Sewerage system and stormwater tanks as reflected in statistics, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002, 4, 33-40.
- [8] Stahre P., Urbonas B., Stormwater Detention for Drainage, Water Quality and CSO Management, Prentice-Hall, New Jersey 1990.
- [9] Adams B.J., Papa F., Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models, John Wiley and Sons, 2000.
- [10] Becker M., Prinz R., Liebig T., Effectiveness of a stormwater tank with overflow with a downstream stormwater holding, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2001, 1, 16-24.
- [11] Licznar P., Weryfikacja możliwości generowania syntetycznych szeregów opadowych dla hydrodynamicznego modelowania sieci kanalizacyjnych na podstawie danych niemieckich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2010, 3, 10-15.
- [12] Paoletti A., Sanfilippo U., Becciu G., Filling and emptying cycles for stormwater storage tanks in separated systems, Proceedings of Novatech 2007, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, 5th International Conference, Lyon 2007, 2, 1123-1130.
- [13] Environmental Protection Agency, Real Time Control of Urban Drainage Networks, US EPA Report, no EPA/600/R-06/120, 2006.

- [14] Burszta-Adamiak E., Mrowiec M., Modelling of green roofs' hydrologic performance using EPA's SWMM, *Water Science & Technology* 2013, 68, 1, 36-42.
- [15] Rossman L.A., Dickinson R.E., Schade T., Chan C., Burgess E.H., Huber W.C., SWMM5: The USEPA's newest tool for urban drainage analysis, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen 2005, 1-8.
- [16] Zawilski M., Integracja zlewni zurbanizowanej w symulacji spływu ścieków opadowych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2010, 6, 28-32.
- [17] Skotnicki M., Sowiński M., Weryfikacja metody wyznaczania szerokości hydraulicznej zlewni cząstkowych na przykładzie wybranej zlewni, *Współczesne problemy inżynierii i ochrony środowiska: Modelowanie systemów kanalizacyjnych*, *Prace Naukowe, Inżynieria Środowiska* 57, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.

### **Application of the Vacuum-driven Tanks - Technical and Economical Analysis**

As a result of urbanization, stormwater runoff flow rates and volumes are significantly increased due to increasing impervious land cover and the decreased availability of depression storage. Storage reservoirs are the basic devices to efficiently control the flow-rates in drainage systems during wet weather. Presented in the paper conception of vacuum-driven detention tanks allows to increase the storage capacity by usage of space above the free surface water elevation at the inlet channel. Partial vacuum storage makes it possible to gain cost savings by reduction of both the horizontal area of the detention tank and necessary depth of foundations. In order to determine the effectiveness of their operation a hydrodynamic model was developed using SWMM5 software. Continuous simulations covered a period of four years (rainfall data were recorded on raingage in Czestochowa during the years 2010-2012) and took into account the variable share of the vacuum retention in the total volume: from 25 to 75%. The result of the simulation makes it possible to estimate the cost-effectiveness of vacuum application in comparison to traditional constructions of storage tanks. The results indicated that it is reasonable to use such constructions even if the retention of nearly 50% of total volume is under vacuum conditions.

**Keywords:** storage tanks, drainage systems, hydrodynamic models