

TADEUSZ NAWROT

Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## CHARAKTERYSTYKA HYDRAULICZNA ARMATURY OSADNIKÓW GNILNYCH W SYSTEMIE KANALIZACJI MAŁOŚREDNICOWEJ

**Streszczenie.** Przedstawiono charakterystykę hydrauliczną filtra wylotowego z osadnika gnilnego i nowatorskiego zaworu zwrotnego – podstawowych elementów osadników gnilnych, stosowanych w systemie grawitacyjnej kanalizacji małośrednicowej na terenach wiejskich. Badano oporność hydrauliczną tych urządzeń przy przepływach czystej wody w warunkach laboratoryjnych. Określono zależność współczynnika miejscowych strat ciśnienia od liczby Reynoldsa dla filtra wylotowego w zakresie  $1700 \leq Re \leq 36\,500$ , tj. dla przepustowości  $0,03 \text{ dm}^3/\text{s} \leq Q \leq 1,3 \text{ dm}^3/\text{s}$  oraz zaworu zwrotnego w zakresie  $3000 \leq Re \leq 30\,500$ , tj.  $0,08 \text{ dm}^3/\text{s} \leq Q \leq 0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

**Słowa kluczowe:** odciążona kanalizacja małośrednicowa, osadnik gnilny, zawór zwrotny, filtr wylotowy, charakterystyka hydrauliczna

### Wstęp

System odciążonej kanalizacji małośrednicowej składa się z osadników gnilnych (OG) oraz sieci przewodów o małych średnicach (25-100 mm), tzw. małośrednicowych, wykonanych z tworzyw sztucznych (PE, PVC). Ścieki z gospodarstw domowych dopływają do OG. W OG następuje wstępne oczyszczenie ścieków, głównie sedymentacja zawiesiny. Ścieki wstępnie oczyszczone w OG – odciążone – dopływają siecią małośrednicową do oczyszczalni ścieków.

System odciążonej kanalizacji małośrednicowej może być nawet dwukrotnie tańszy od tradycyjnej kanalizacji grawitacyjnej, gdy stosuje się go w niekorzystnych warunkach terenowych, takich jak mała gęstość zabudowy, wysoki poziom wód gruntowych, teren płaski (małe spadki) lub pagórkowaty (BŁAŻEJEWSKI i SKUBISZ 2005). Sieć odciążonej kanalizacji małośrednicowej można układać równolegle do terenu, nawet z przeciwnospadkiem (KREISSL i IN. 2008). Musi być przy tym spełniony jedynie taki warunek, że wartość średniego spadku hydraulicznego powinna być równa lub większa od 0,15%.

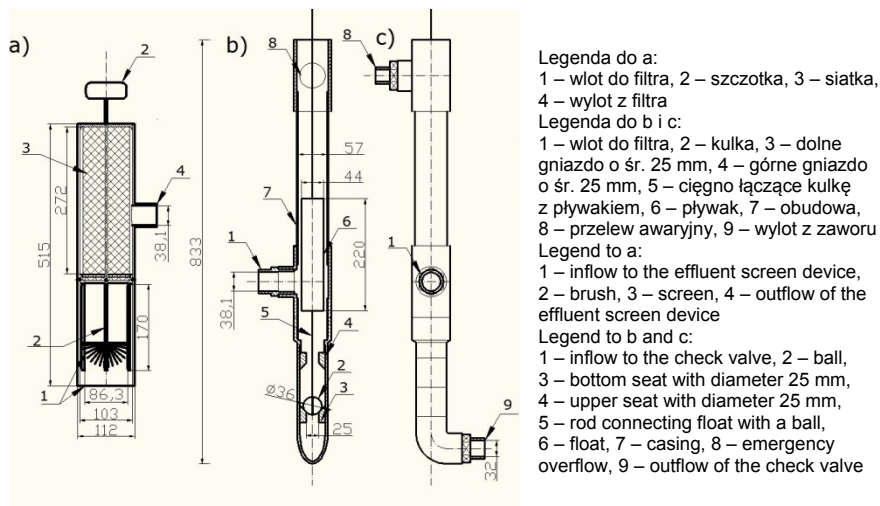
System ten powstał 1962 r. w Australii, a później w latach 70. XX wieku zaczęto go stosować w USA (OTIS i MARA 1985). W 2001 roku w Australii obsługiwał on ponad 110 tys. mieszkańców (PALMER i IN. 2010). W Polsce system ten nie został szeroko rozpowszechniony. Jest on rozwijany przez firmę Biotop z Zamościa oraz Katedrę Inżynierii Wodnej i Sanitarnej UP w Poznaniu. Głównym powodem słabego rozpowszechnienia systemu odciążonej kanalizacji małosrednicowej jest słabe rozpoznanie warunków hydraulicznych przepływu ścieków w sieci. Dlatego wskazane jest stworzenie modelu matematycznego sieci odciążonej kanalizacji małosrednicowej i określenie charakterystyki hydraulicznej armatury będącej częścią tego systemu.

Osadniki gnilne w danej sieci mogą być wyposażone w armaturę w postaci zaworów kulowo-żyłkowych oraz filtrów wylotowych (NAWROT 2010). Zawory kulowo-żyłkowe pełnią rolę zaworów zwrotnych oraz zapobiegają dopływowi powietrza do sieci odciążonej kanalizacji małosrednicowej. Powietrze lub inne gazy w sieci są niekorzystne w zasyfonowanych układach sieci, tam, gdzie mogą się tworzyć korki wodno-powietrzne blokujące grawitacyjny przepływ ścieków. Zaworów tych nie trzeba montować na wylocie z każdego OG za filtrem wylotowym. Instaluje się je głównie przy niekorzystnie nisko położonych OG, które mogą być zalewane ściekami z sieci w okresie opróżniania osadników gnilnych położonych korzystniej. W takim przypadku na zasyfonowanych odcinkach sieci, w ich najwyższych punktach, powinny być montowane odpowietrzniki. Filtr wylotowy ma za zadanie zwiększyć skuteczność usuwania zawiesin.

## Material i metody

Filtr wylotowy (rys. 1 a) składał się z otwartego cylindra o średnicy 112 mm z blachy nierdzewnej, siatki oraz pokrywy górnej z PE z otworem, w którym umieszczono trzpień szczotki do czyszczenia siatki filtra. Dopływ do filtra odbywał się od dołu, aby wydłużyć drogę przepływu ścieków przez osadnik oraz uniemożliwić uprzywilejowany przepływ świeżych ścieków bezpośrednio do wylotu z OG. Siatka filtra miała średnicę 86,3 mm i wysokość 272 mm, a średnica zastępcza otworów równa była 5,5 mm, co uniemożliwiało przedostawanie się większych cząstek, mogących zablokować zawór.

Zawór kulowo-żyłkowy (zwrotno-odcinający) (rys. 1 b i c), opatentowany przez firmę Biotop z Zamościa (A1 382467), montowany jest na wylocie z OG za filtrem wylotowym. Badany zawór kulowo-żyłkowy składał się z cylindrycznego żyłwaka, połączonego z kulką umieszczoną między dwiema redukcjami, pełniącymi rolę gniazda zaworu. Przy braku wody powyżej odpływu w zbiorniku żyłwak znajdował się w pozycji dolnej i powodował zamknięcie dopływu powietrza oraz wody do instalacji. W miarę podwyższania się poziomu wody w zbiorniku żyłwak – dzięki sile wyporu – podnosił się, a wraz z nim kulka. Podniesienie się kulki powodowało otwarcie zaworu i odpływ wody ze zbiornika. W przypadku wystąpienia przepływu zwrotnego do instalacji, co byłoby możliwe w sytuacji opróżniania zbiornika położonego znacznie wyżej od rozpatrywanego, następowało podniesienie się kulki i jej zatrzymanie na górnym gnieździe. W ten sposób blokowany był dopływ z instalacji do zbiornika. Przebadano 4 różne zawory. Pierwszy rodzaj zaworu miał średnicę gniazda równą 25 mm, a kulka nie była połączona z obudową zaworu. Badano także zawory z kulką połączoną za pomocą żyłki



Rys. 1. Przekrój filtra wylotowego (a) oraz przekrój pionowy (b) i widok z boku (c) zaworu kulowo-pływakowego zwrotnego o średnicy gniazd równej 25 mm

Fig. 1. Cross section of effluent screen device (a), cross section (b) and side view (c) of check valve with seats of diameter of 25 mm

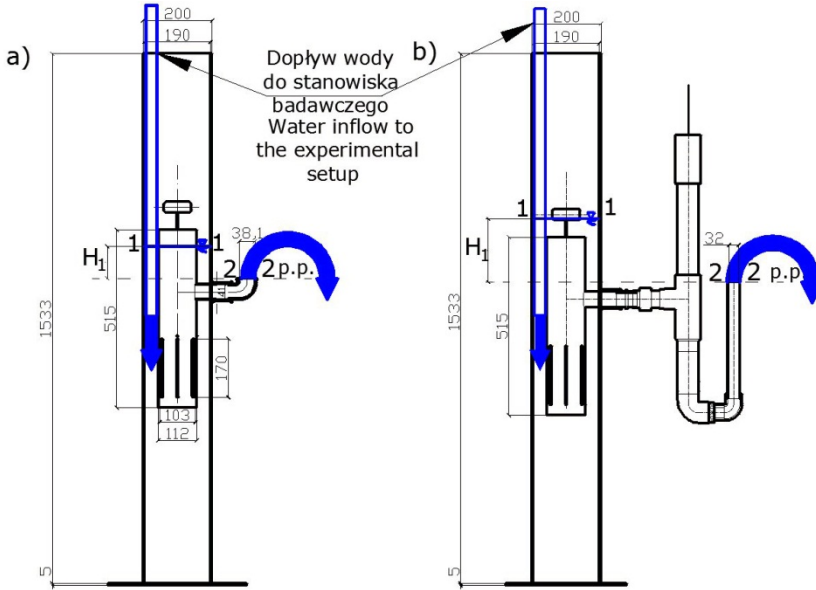
nylonowej z obudową zaworu kulowo-pływakowego o średnicy 25 i 32 mm oraz bez połączenia kulki z obudową o średnicy gniazda równej 20 mm. Połączenie kulki z obudową miało uniemożliwić ruch obrotowy kulki i pływaka.

Stanowisko do badania armatury składało się z rury ze szkła akrylowego z dnem (rys. 2). W połowie wysokości rury wykonano otwór o średnicy 38 mm, przez który wyprowadzono wylot filtra zakończony kolaniem 90° dla zatopienia odpływu. Na przezroczystej rurze naklejono podziałkę milimetrową w celu określenia poziomu wody w cylindrze.

W pierwszym etapie badano charakterystykę hydrauliczną samego filtra wylotowego (rys. 2 a), natomiast w drugim etapie wyznaczono charakterystykę hydrauliczną filtra wylotowego wraz z zaworem kulowo-pływakowym (rys. 2 b). Dodatkowo na wylocie z zaworu wkręcono kolano i rurę z PVC o średnicy 32 mm w celu podtopienia wylotu z zaworu.

Metodyka badań filtra polegała na określeniu strat ciśnienia na filtrze przy różnych przepływach. Wielkość dopływu do stanowiska regulowana była za pomocą zaworu kulowego oraz przez zmniejszenie wydajności pomp wirowych.

Przy określeniu strat ciśnienia na filtrze posłużono się równaniem Bernoulliego (rys. 2). Wysokość ciśnienia w cylindrze i na wylocie z filtra była taka sama i równa ciśnieniu atmosferycznemu. Prędkość na wylocie z filtra oraz wysokość zwierciadła wody przyjmowały wartość zero przy założeniu poziomu porównawczego na wysokości wylotu z filtra. Stratę ciśnienia na filtrze obliczono z następującego wzoru:



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: a) filtra wylotowego, b) filtra z zaworem kulowo-plywakowym  
 Fig. 2. Scheme of experimental setup: a) effluent screen device, b) effluent screen device with check valve

$$h_{str f} = H_1 - \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

Dla danego dopływu do rury ze szkła akrylowego ustalał się w niej określony poziom zwierciadła wody. W takiej sytuacji dopływ do stanowiska był równy odpływowi. Badanie rozpoczynano od określenia wysokości wody w cylindrze  $H_1$  ponad poziom porównawczy, z dokładnością 0,5 mm. Prędkość  $v_2$  wyznaczono, dzieląc natężenie przepływu wody przez pole powierzchni czynnej wylotu ze stanowiska badawczego. W następnej kolejności dokonywano pomiaru temperatury wody z dokładnością do 0,1°C w celu wyznaczenia jej lepkości kinematycznej. Natężenie przepływu ustalono metodą naczynia podstawianego, na podstawie objętości pomierzonej z dokładnością do 0,5% w czasie 5-15 s.

Wartości liczby Reynoldsa oraz współczynnika strat miejscowych obliczono z równań:

$$Re = \frac{v_2 \cdot d}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \cdot \nu} \quad (2)$$

$$\xi = \frac{2g \cdot h_{str f}}{v_2^2} \quad (3)$$

gdzie:

- Re – liczba Reynoldsa (–),
- $v_2$  – prędkość w przekroju wylotowym z filtra (m/s),
- $d$  – średnica przekroju wylotowego (m),
- $\nu$  – współczynnik lepkości kinematycznej ( $m^2/s$ ),
- $Q$  – natężenie przepływu wody ( $m^3/s$ ),
- $\xi$  – współczynnik strat miejscowych (–),
- $h_{str,f}$  – wysokość strat ciśnienia na filtrze (m),
- $g$  – przyspieszenie ziemskie ( $m/s^2$ ).

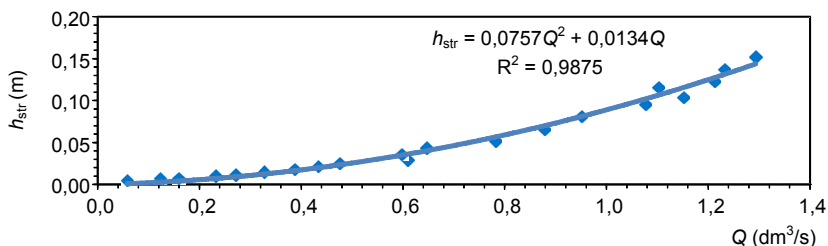
Metodyka badań zaworu kulowo-pływakowego polegała na podobnym określeniu straty ciśnienia na zaworze przy danym przepływie. Jednak w tym przypadku badano stratę na zaworze kulowo-pływakowym i filtrze. Charakterystyka samego zaworu może nieznacznie różnić się od charakterystyki uzyskanej podczas takiego badania, jednak w rzeczywistości filtr wylotowy montuje się zawsze na wylocie z OG i nie ma możliwości, aby zainstalowany był tylko zawór. Metodyka była taka sama, jak w przypadku badania samego filtra. Określono krzywą zmian wysokości strat ciśnienia na zaworze i filtrze dla założonego przepływu oraz krzywą zmian wysokości strat ciśnienia na zaworze dla założonego przepływu – przez odjęcie od straty ciśnienia na zaworze i filtrze straty ciśnienia na samym filtrze dla danego przepływu. Kolejną różnicą był inny poziom porównawczy, będący poziomem wylotu wody z zaworu kulowo-pływakowego, oraz przekrój, w którym określono prędkość na wylocie z zaworu. Średnica tego przekroju wynosiła 32 mm. Zawory badano przy ustalonym otwarciu zaworu.

## Wyniki

Wyniki uzyskane podczas kilkukrotnych pomiarów charakterystyk filtra wylotowego oraz zaworów kulowo-pływakowych pokazano na wykresach (rys. 3-6).

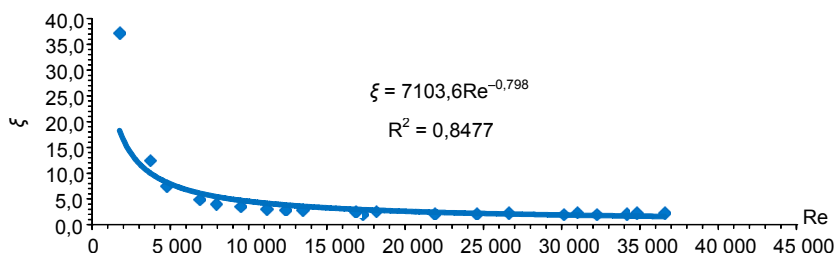
Strata ciśnienia na filtrze wylotowym została zbadana w zakresie przepływu od 0,03  $dm^3/s$  do 1,3  $dm^3/s$  (rys. 3). Był to maksymalny zakres natężenia przepływu, możliwy do osiągnięcia na stanowisku do badań armatury. Zakres ten był dwukrotnie większy niż uzyskany podczas badania zaworów kulowo-pływakowych. Strata ciśnienia podczas badania wahała się między wartością bliską zeru a 0,16 m  $H_2O$ . Na wykresie pokazano linię trendu wraz z jej równaniem, opisującą charakterystykę straty ciśnienia w zależności od przepływu.

Podczas badań filtra określono również zależność współczynnika strat miejscowych w zależności od liczby Reynoldsa (rys. 4). Stwierdzono bardzo duży wzrost współczynnika strat miejscowych przy wartościach liczby Reynoldsa mniejszych od 5000, czyli dla ruchu przejściowego, w którym filtr najczęściej będzie pracował. Pokazuje to, jak ważne jest określenie charakterystyki strat ciśnienia na filtrze, ponieważ przy ruchu przejściowym wartości współczynnika strat miejscowych mogą się zmieniać aż pięciokrotnie, przy niewielkiej zmianie wartości liczby Reynoldsa. Współczynnik strat miejscowych wynosił od 37 do 2 dla  $1700 < Re < 36\ 500$ . Na rysunku 4 dodano linię trendu wraz z równaniem opisującym badaną zależność. Jak wynika z analizy danych na rysunku 4, dla  $Re > 17\ 000$  współczynnik strat miejscowych na filtrze przyjmuje wartość stałą, równą  $\xi = 2,3 \pm 0,2$ .



Rys. 3. Straty ciśnienia na filtrze wylotowym w zależności od przepływu (średnie z 3 pomiarów)

Fig. 3. Pressure loss in the effluent screen device depending on the flow (means of 3 measurements)

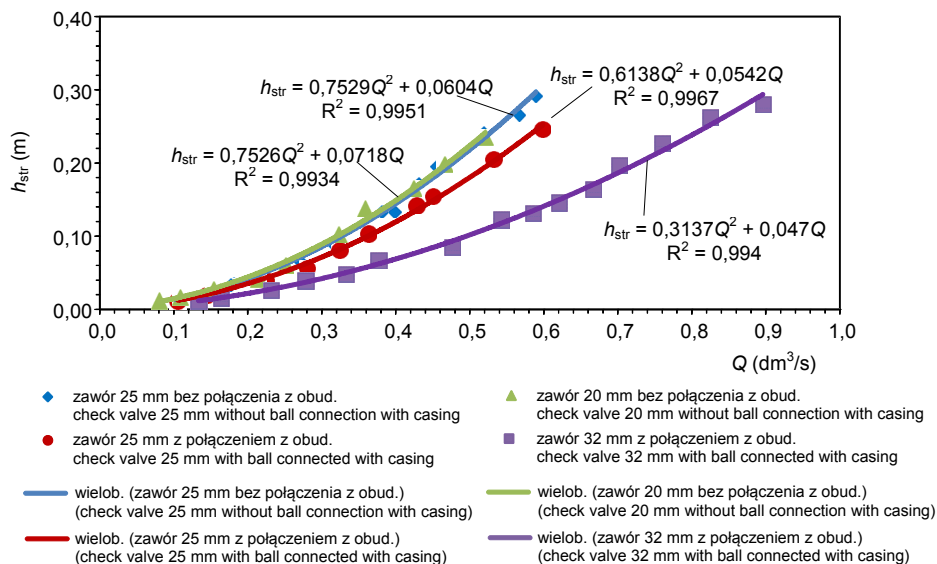


Rys. 4. Współczynnik strat miejscowych w zależności od liczby Reynoldsa dla filtra wylotowego (średnie z 3 pomiarów)

Fig. 4. Coefficients of minor pressure losses depending on the Reynolds number for the effluent screen device (means of 3 measurements)

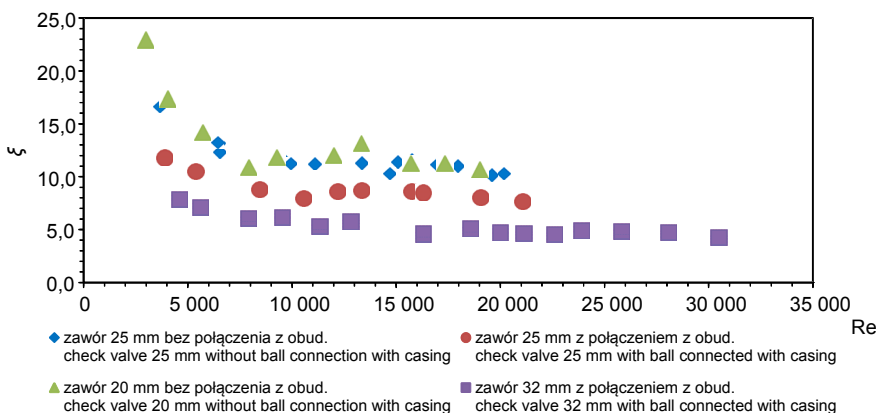
Badanie charakterystyk hydraulicznych wykonano przy ustawieniu na stałe zaworów w pozycji otwartej. Badania przeprowadzone przy różnym stopniu otwarcia zaworu wykazały brak istotnych różnic w stracie ciśnienia w zależności od stopnia otwarcia zaworu. Różnice mogłyby wystąpić tylko przy bardzo małym stopniu jego otwarcia, ale stany takie podczas normalnej pracy zaworu praktycznie nie występują. Określono zależność strat ciśnienia na zaworach kulowo-pływakowych dla przepustowości: od 0,10 do 0,57 dm³/s dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm bez połączenia kulki z obudową; od 0,08 do 0,52 dm³/s dla zaworu o średnicy gniazda 20 mm; od 0,10 do 0,60 dm³/s dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm z połączeniem kulki z obudową; od 0,13 do 0,90 dm³/s dla zaworu o średnicy gniazda 32 mm (rys. 5). Maksymalna wartość przepływu podczas badania była największą możliwą wartością przepływu dla danego typu zaworu kulowo-pływakowego. Przy ustawieniu większego przepływu następował nagły wzrost poziomu wody w rurze z filtrem wylotowym, a woda zaczynała odpływać przez przelew awaryjny zaworu. Oznaczało to, że osiągnięto maksymalną przepustowość tego typu zaworu. Strata ciśnienia mieściła się w przedziale: od 0,01 do 0,27 m dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm bez połączenia kulki z obudową oraz od 0,01 do 0,24 m dla zaworu o średnicy gniazda 20 mm; od 0,01 do 0,25 m dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm z połączeniem kulki z obudową; od 0,01 do 0,28 m dla zaworu o średnicy gniazda 32 mm.

Zależność współczynnika strat miejscowych zaworów kulowo-pływakowych od liczby Reynoldsa pokazano na rysunku 6. Współczynnik strat miejscowych na zaworach



Rys. 5. Straty ciśnienia w zależności od przepływu dla zaworów kulowo-żywakowych o średnicy gniazda 20 (średnie z 2 pomiarów), 25 (bez połączenia żywaka z obudową – średnie z 2 pomiarów) i 32 mm z kulką połączoną i niepołączoną z obudową

Fig. 5. Pressure loss in check valves with seats of diameter 20 (means of 2 measurements), 25 (without ball connection with casing – means of 2 measurements) and 32 mm with ball connected or not with valve carcass depending on the flow rate



Rys. 6. Współczynnik strat miejscowych w zależności od liczby Reynoldsa dla zaworów kulowo-żywakowych o średnicy gniazda 20 (średnie z 2 pomiarów), 25 (bez połączenia żywaka z obudową – średnie z 2 pomiarów) i 32 mm

Fig. 6. Coefficients of minor pressure losses depending of the Reynolds number for check valves with seats of diameter 20 (means of 2 measurements), 25 (without ball connection with casing – means of 2 measurements) and 32 mm

kulowo-plywakowych dla  $Re > 10\ 000$  przyjmował wartość stałą, równą  $11,1 \pm 0,4$ , dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm bez połączenia kulki z obudową; dla  $Re > 8000$  równą  $11,6 \pm 0,7$ , dla zaworu o średnicy gniazda 20 mm; dla  $Re > 8000$  równą  $8,4 \pm 0,4$ , dla zaworu o średnicy gniazda 25 mm z połączeniem kulki z obudową; oraz równą  $4 \pm 0,2$ , dla zaworu o średnicy gniazda 32 mm dla  $Re > 15\ 000$ .

## Dyskusja

Filtr wylotowy stawiał stosunkowo niewielki opór hydrauliczny przy przepływie czystej wody. Należy wziąć pod uwagę, że opór ten wzrośnie wskutek kolmatacji oczek siatki przez zanieczyszczenia. Oszacowano względny prześwit siatki o średnicy zastępczej 5,5 mm równy porowatości powierzchniowej  $\alpha = 0,74$ . Wartość ta może wielokrotnie zmaleć, generując bardzo duże straty ciśnienia, np. dwukrotne jej zmniejszenie spowoduje blisko dziesięciokrotny wzrost oporności hydraulicznej. Powierzchnia otworów musi być odpowiednio duża, aby zapewnić swobodny odpływ ścieków. Badany filtr wylotowy miał siatkę o powierzchni otworów równej  $0,053\ m^2$ . Pole to jest blisko 45 razy większe od powierzchni przekroju rury wylotowej z filtra. W stosunku do filtrów o wymiarach oczek  $3 \times 3\ mm$  o łącznej powierzchni prześwitu równej  $1,1\ m^2$ , stosowanych w amerykańskim systemie odciążonej kanalizacji małosrednicowej (CRITES i TCHOBANOGLIOUS 1998), powierzchnia ta jest stosunkowo mała, ale zastępcza średnica otworu siatki jest blisko dwa razy większa. Kolmatacja filtra powodująca zwiększenie jego oporności hydraulicznej jest częściowo zjawiskiem korzystnym, ponieważ wpływa na wyrównanie odpływu z OG. Jednak przy zbyt dużym zakolmatowaniu filtra może następować niekorzystne podtapianie przykanalika. Filtr ten jest wyposażony w szczotkę, którą można czyścić jego siatkę (zwykle raz w miesiącu) i tym samym zmniejszać jego zakolmatowanie. Dzięki zamontowaniu w OG poziomowskazu pływakowego można przeprowadzać czyszczenie jedynie w momencie osiągnięcia przez ścieki poziomu alarmowego.

Zawory kulowo-plywakowe, w których kulka nie była połączona z obudową, charakteryzowały się podobną charakterystyką hydrauliczną w stosunku do strat ciśnienia oraz współczynnika strat miejscowych. Z kolei zawór o średnicy gniazda 25 mm, ale z kulką połączoną z obudową, dał stratę ciśnienia mniejszą niż w przypadku zaworu o tej samej średnicy gniazda, ale bez połączenia kulki z obudową. Najmniejszą stratą ciśnienia z badanych zaworów charakteryzował się zawór o średnicy 32 mm z kulką połączoną z obudową. Mniejsza strata ciśnienia powodowała, że zawory o największej stracie ciśnienia charakteryzowały się mniejszą maksymalną przepustowością. Zawór o największej średnicy przelotu (32 mm) miał blisko dwukrotnie większą przepustowość od pozostałych zaworów.

## Podsumowanie

Charakterystyka hydrauliczna badanych zaworów kulowo-plywakowych uzyskana przy przepływie wody, ze względu na właściwości ścieków oczyszczonych w OG zbli-



żone do właściwości wody oraz brak elementów ulegających kolmatacji nie wymaga korekt. Przy średnim stężeniu zawiesiny w ściekach oczyszczonych w OG równym  $100 \text{ mg/dm}^3$ , ich lepkość w stosunku do czystej wody wzrasta o około 2%.

Najkorzystniejszą charakterystykę hydrauliczną miał zawór o średnicy gniazda 32 mm, jednak na wyrównanie odpływu ścieków w czasie większy wpływ miały zawory o średnicach gniazd 20 i 25 mm.

Charakterystyka hydrauliczna filtra wylotowego jest właściwa jedynie dla początkowego okresu pracy sieci odciążonej kanalizacji małosrednicowej. W miarę kolmatacji filtra należy uwzględnić zwiększenie jego oporności hydraulicznej. Z tego względu wymagane jest przeprowadzenie dalszych badań kolmatacji filtra przez cząstki zawiesiny zawartej w ściekach.

## Literatura

- BŁĄZEJEWSKI R., SKUBISZ W., 2005. Grawitacyjna kanalizacja małosrednicowa. Gaz Woda Tech. Sanit. 10: 21-25.
- CRITES R., TCHOBANOGLOUS G., 1998. Small and decentralized wastewater management systems. McGraw Hill, Boston.
- KREISSL J., LINAHAN D.V., NARET R., LOMBARDO P., 2008. Alternative sewer systems – MOP FD-12. WEF Press, Alexandria, Virginia.
- NAWROT T., 2010. Mathematical model of small diameter gravity sewers with check valves. W: 3<sup>rd</sup> International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, UT, Poznań.
- OTIS R.J., MARA D., 1985. The design of small bore sewer systems. United Nations Development Programme, Interregional Project INT/81/047.
- PALMER N., LIGHTBODY P., FALLOWFIELD H., HARVEY B., 2010. Australia's most successful alternative to sewerage: SA's septic tank effluent disposal schemes. [<http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/articles/australia.pdf>].

## HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF SEPTIC TANK FITTINGS IN SMALL DIAMETER GRAVITY SEWER SYSTEMS

**Summary.** The paper presents hydraulic characteristics of effluent screen device at a septic tank and an innovative check valve, which compose key elements of small diameter gravity sewer systems. These data are necessary to design the small diameter gravity sewerage which is mainly used in sparsely inhabited rural areas. Hydraulic resistance of these devices was investigated at flows of clean water under laboratory conditions. Values of coefficients of minor pressure losses at the Reynolds number for the effluent screen device in range  $1700 \leq Re \leq 36\,500$ , i.e., for capacity  $0.03 \text{ dm}^3/\text{s} \leq Q \leq 1.3 \text{ dm}^3/\text{s}$  and check valves in the range  $3000 \leq Re \leq 30\,500$  ( $0.08 \text{ dm}^3/\text{s} \leq Q \leq 0.9 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) were determined.

**Key words:** small diameter gravity sewers, septic tank, check valve, effluent screen device, hydraulic characteristic

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Tadeusz Nawrot, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94 A, 60-649 Poznań, Poland, e-mail: tnawrot@up.poznan.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*13.06.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Nawrot T., 2011. Charakterystyka hydrauliczna armatury osadników gnilnych w systemie kanalizacji małośrednicowej. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #91.*