

BADANIA HYDRAULICZNYCH WARUNKÓW PRACY SIECI KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

Marek Kalenik, Grzegorz Dybiec

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Głównym celem badań było przeanalizowanie hydraulicznych warunków pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej, która nastęrczała dużo problemów w trakcie jej eksploatacji, i zaproponowanie działań naprawczych, żeby je wyeliminować. Zakres badań obejmował sieć kanalizacji podciśnieniowej, wybudowaną w miejscowości Starawieś w pobliżu Warszawy. W artykule przedstawiono analizę uzyskanych wyników badań zmian podciśnienia na długości zbiorczego rurociągu podciśnieniowego o średnicy 225 mm w warunkach technicznej eksploatacji sieci kanalizacji podciśnieniowej. Urządzenia do pomiaru podciśnienia rozmieszczono w sześciu wyznaczonych punktach (studzienkach żelbetowych z zaworami opróżniającymi typu ISEKI) na długości zbiorczego rurociągu podciśnieniowego. Rozmieszczone na długości rurociągu urządzenia pomiarowe przez kilka dni mierzyły co minutę, w sposób ciągły, zmiany podciśnienia. Zmiana podciśnienia w sieci zależy od częstotliwości otwierania się zaworów opróżniających i podciśnienia w zbiorniku podciśnieniowym [Kalenik 2015]. Żeby zawory opróżniające mogły się otwierać, podciśnienie w rurociągach kanalizacji podciśnieniowej nie może być mniejsze niż -20 kPa [Kalenik 2014b]. Analiza uzyskanych wyników badań pozwoliła na określenie przyczyn nieprawidłowego działania sieci kanalizacji podciśnieniowej. Główną przyczyną problemów było niezgodne z projektem wybudowanie przejść zbiorczego rurociągu podciśnieniowego pod drogą krajową 62. Po przebudowaniu przejść rurociągu pod drogą zgodnie z projektem i prawidłowym wyregulowaniu nastaw długości czasu otwarcia zaworów opróżniających badana sieć kanalizacji podciśnieniowej zaczęła pracować prawidłowo.

Słowa kluczowe: ścieki, system kanalizacji podciśnieniowej, zawór opróżniający, zbiorczy rurociąg podciśnieniowy

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Kalenik, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, Zakład Wodociągów i Kanalizacji, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: marek_kalenik@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

WSTĘP

Koncepcja kanalizacji podciśnieniowej powstała w latach sześćdziesiątych XIX wieku w Holandii [EPA/625/1-91/024 1991]. Na przełomie XIX i XX wieku w Holandii i innych krajach europejskich działały już tego typu systemy. Jednak dopiero 60 lat później zaczęto projektować i budować nowoczesne systemy kanalizacji podciśnieniowej. Kanalizację tego typu zalicza się do tak zwanych niekonwencjonalnych systemów odprowadzania ścieków do indywidualnych lub zbiorczych oczyszczalni bazujących na technologii osadu czynnego. Aktualnie w Polsce budowane są systemy kanalizacji podciśnieniowej w technologiach: ROEVAC, AIRVAC, REDIVAC, FLOVAC, QUO-VAC i SCHLUFFA [Kalenik 2011]. Transport ścieków w tego typu kanalizacji jest wymuszony przez pompy próżniowe. Może ona współpracować z systemem kanalizacji grawitacyjnej i ciśnieniowej. Można ją także stosować w warunkach, w których kanalizacja grawitacyjna i ciśnieniowa sprawia kłopoty techniczne, ekonomiczne lub budzi zastrzeżenia z punktu ochrony środowiska przyrodniczego. Za stosowaniem systemu kanalizacji podciśnieniowej na terenach wiejskich (szczególnie na terenach płaskich) przemawiają również mniejsze nakłady inwestycyjne, a niekiedy i koszty eksploatacyjne niż w przypadku innych systemów kanalizacyjnych [Heidrich 1991, Błażejowski i Bykowski 1999].

W dostępnej literaturze naukowo-technicznej niewiele jest informacji na temat badań hydraulicznych warunków pracy i niezawodności sieci kanalizacji podciśnieniowej w trakcie jej eksploatacji [Kalenik i Kanclerz 2005, Miszta-Kruk i Kwietniewski 2005, Kwietniewski i Miszta-Kruk 2007]. Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że w sieci kanalizacji podciśnieniowej najbardziej awaryjnymi elementami są zawory opróżniające. Najczęściej występującymi awariami w zaworach opróżniających są uszkodzenia (oberwania) mechanizmów zamykających zawory i niedomknięcia zaworów [Miszta-Kruk 2006].

W artykule przedstawiono analizę uzyskanych wyników badań zmian podciśnienia na długości zbiorczego rurociągu podciśnieniowego o średnicy 225 mm w warunkach technicznej eksploatacji sieci kanalizacji podciśnieniowej. Głównym celem badań było przeanalizowanie hydraulicznych warunków pracy sieci, która narażona była na wiele problemów w trakcie jej eksploatacji, i zaproponowanie działań naprawczych, jakie należy przeprowadzić, żeby je wyeliminować. Zakres badań obejmował sieć kanalizacji podciśnieniowej wybudowanej w miejscowości Starawieś, która jest położona w pobliżu Warszawy.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Sieć kanalizacji podciśnieniowej w miejscowości Starawieś została wybudowana w technologii ISEKI. Posiada ona 70 zaworów opróżniających typu ISEKI o średnicy 90 mm z magnetycznym licznikiem cykli i przyciskiem do ręcznego sterowania, które zainstalowano w studzienkach (rys. 1). Do wybudowanej sieci kanalizacji podciśnieniowej podłączono 128 budynków.



Rys. 1. Wnętrze studzienki żelbetowej z zaworem opróżniającym typu ISEKI

Fig. 1. The interior of ferroconcrete well with interface valve type ISEKI

Zawór opróżniający typu ISEKI wykonany jest z polipropylenu zbrojonego włóknem szklanym, natomiast studzienka jest monolitem wykonanym z betonu zbrojonego o wymiarach zewnętrznych $1,0 \times 1,0 \times 2,05$ m. Kwadratowa płyta pokrywy studzienki wyposażona jest w otwór zamykany okrągłą pokrywą żeliwną z małymi otworami. Podczas pracy zaworu opróżniającego napowietrzanie studzienki odbywa się poprzez pokrywę i piony kanalizacyjne podłączonych budynków.

Po otwarciu się zaworu opróżniającego ścieki ze studzienki zostają zasysane do sieci kanalizacji podciśnieniowej. Jednorazowo zasysana porcja ścieków przez zawór opróżniający to około 40 dm^3 . Zawór opróżniający pracuje bez użycia energii elektrycznej. Otwierany jest przez podciśnienie panujące w sieci i zamykany za pomocą wbudowanej sprężyny. Podciśnienie panujące w sieci wspomaga prawidłowe domknięcie zaworu. Bardzo istotnym elementem zaworu opróżniającego jest sterownik pneumatyczny, który w zależności od zawartości ścieków w studzience otwiera go lub zamyka. Kiedy poziom ścieków w studzience wzrośnie do $0,22 \text{ m H}_2\text{O}$, odpowiadającej objętości około 40 dm^3 , to wzrośnie ciśnienie powietrza w rurze sensorowej. Wzrost ciśnienia powietrza w rurze sensorowej inicjuje otwarcie zaworu opróżniającego poprzez przełączenie w sterowniku pneumatycznym zaworu trójdrogowego w pozycję umożliwiającą doprowadzenie podciśnienia z sieci kanalizacji podciśnieniowej do szczelnej komory z membraną gumową. Sterownik pneumatyczny utrzymuje zawór opróżniający w pozycji otwartej przez założoną długość czasu. Gdy zawór opróżniający jest otwarty, to w tym czasie ze studzienki są zasysane ścieki, a następnie zasysana jest nastawiona ilość powietrza, zanim zawór zostanie zamknięty.

Długość czasu otwarcia zaworu opróżniającego jest regulowana zaworem igłowym w przedziale od 3 do 10 sekund. Po upływie ustawionego czasu otwarcia zawór trójdrogowy w sterowniku pneumatycznym zostaje ustawiony w pozycji, która odcina połączenie z siecią kanalizacji podciśnieniowej i umożliwia dopływ powietrza atmosferycznego do szczelnej komory z membraną gumową. Znajdująca się w komorze sprężyna powoduje jego zamknięcie.

W sieci kanalizacji podciśnieniowej rurociągi ułożono w kształcie zębatej piły ze wzniesieniami pod kątem 45° . Zagłębienie rurociągów podciśnieniowych waha się średnio od 1,6 do 2,2 m. Do budowy sieci kanalizacji podciśnieniowej zastosowano rury PE 80 SDR 13,6 PN 10 o średnicach: 90 mm i łącznej długości 1097 m, 110 mm i łącznej

długości 2033 m, 160 mm i łącznej długości 1177 m oraz 225 mm i łącznej długości 2501 m. Zastosowane rury łączono przez zgrzewanie doczołowe. Projekt sieci kanalizacji podciśnieniowej nie przewidywał montażu rewizji za wzniesieniami i w miejscach łączenia się rurociągów. W rurociągach zamontowano 10 zasuw firmy AVK ARMADAN Sp. z o.o. typu 06/30 z obudową teleskopową typu 04 i skrzynką uliczną do zasuw [Projekt kanalizacji... 2005].

Stacja próżniowo-pompowa (rys. 2) składa się z trzech pomp próżniowych typu BUSCH RA 0502B Aqua o wydajności $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ każda, rozdzielacza rurociągów podciśnieniowych oraz z szafy sterowniczej. Wyposażenie to umieszczono w budynku, natomiast na zewnątrz w gruncie zakopany został zbiornik podciśnieniowy o pojemności 16 m^3 (rys. 3), w którym znajdują się dwie zatapialne pompy typu FLYGT CP3127. Zbiornik podciśnieniowy o średnicy 2,4 m i wysokości 4 m został wykonany z blachy stalowej o grubości 10 mm i zabezpieczony antykorozyjnie powłokami wewnątrz oraz na zewnątrz.



Rys. 2. Wnętrze stacji próżniowo-pompowej
Fig. 2. The interior of vacuum-pump station



Rys. 3. Zbiornik podciśnieniowy z komorą zasuw
Fig. 3. The vacuum tank with valves chamber

Stacja próżniowo-pompowa pracuje w pełni automatycznie. Za pośrednictwem tablicy obsługi układu sterowania można zmieniać wszystkie nastawiane parametry. W przypadku braku dopływu prądu elektrycznego praca wszystkich urządzeń w stacji próżniowo-pompowej zostaje wstrzymana, prócz tablicy obsługowej, ponieważ jest ona zasilana z akumulatora. W trakcie braku dopływu prądu elektrycznego na tablicy obsługowej wskazywane są sygnały alarmowe i zapala się lampka sygnalizująca ogólną awarię. Po przywróceniu dopływu prądu stacja próżniowo-pompowa uruchamia się automatycznie i można wtedy skasować poszczególne stany alarmowe i sygnalizowane zakłócenia. Pompy próżniowe załączają się, gdy podciśnienie w zbiorniku podciśnieniowym spadnie do -65 kPa , a wyłączają, gdy wzrośnie do -75 kPa . Załączanie i wyłączanie pomp kontrolowane jest poprzez sterownik PLC. Jedna z pomp pełni funkcję podstawową, a pozostałe pompy są pomocnicze.

Zgromadzone w zbiorniku podciśnieniowym ścieki tłoczone są rurociągiem tłocznym o średnicy 180 mm i długości 1603 m przez naprzemiennie pracujące zatapialne pompy do oczyszczalni ścieków. Jedna pompa jest pompą pracującą, druga jest pompą rezerwową. W zbiorniku podciśnieniowym dla ochrony pomp poniżej punktu wyłączenia zain-

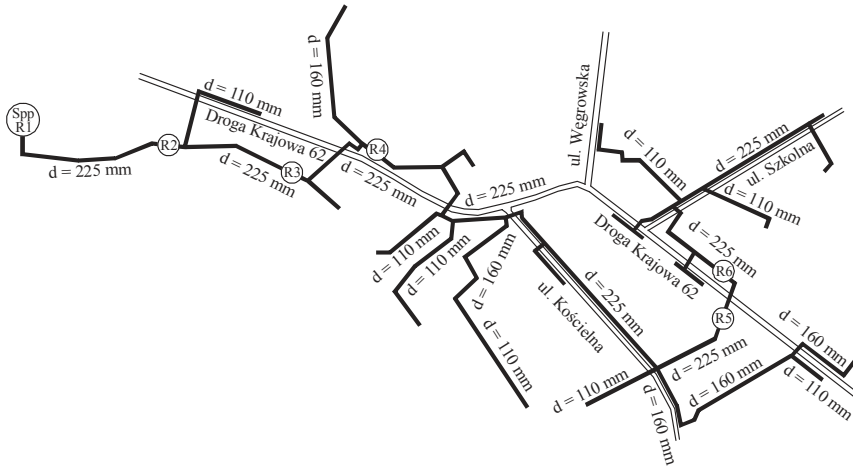
stalowane jest zabezpieczenie przed suchobiegiem. Natomiast powyżej punktu załączenia zainstalowany jest alarm wysokiego stanu, który generuje dodatkowy sygnał załączenia, a jednocześnie blokuje pracę pomp próżniowych, aby te nie podnosiły podciśnienia w zbiorniku. Kontrola poziomu napełnienia zbiornika podciśnieniowego odbywa się za pomocą sygnalizatorów poziomu oraz sondy hydrostatycznej.

METODYKA BADAŃ

Na podstawie informacji uzyskanych z przeprowadzonej wizji lokalnej na nowo wybudowanej sieci kanalizacji podciśnieniowej w miejscowości Starawieś i od pracowników zajmujących się jej eksploatacją oraz mieszkańców, których domy zostały podłączone do sieci, rozpoznano problemy, jakie następcza w eksploatacji wybudowana sieć. Stwierdzono bardzo nieregularną pracę pomp próżniowych, które załączały się i pracowały przez długi czas, nawet w godzinach nocnych, kiedy dopływ ścieków do sieci kanalizacji podciśnieniowej jest mały, lub załączały się i wyłączały w bardzo krótkich przedziałach czasu, co kilkanaście sekund. Zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku pompy próżniowe pracowały niezgodnie z obowiązującymi zaleceniami [PN-EN 1091:2002, ATV-DVWK-A 116:2004]. Zaobserwowano również wydłużający się czas otwarcia zaworów opróżniających w studzienkach albo zalewanie studzienek ściekami, ponieważ zawory nie otwierały się lub otwierały rzadko i przy znacznie wyższym zwierciadle ścieków w studzienkach. Częstotliwość i czas otwarcia zaworów opróżniających znacznie odbiegały od ustawionych parametrów według zalecenia projektanta w momencie oddania wybudowanej sieci kanalizacji podciśnieniowej do eksploatacji. Im dalej znajdowały się zawory opróżniające od stacji próżniowo-pompowej, tym więcej było z nimi problemów. Jak się okazuje, tego typu problemy eksploatacyjne często występują w wybudowanych w Polsce i Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej (USA) sieciach kanalizacji podciśnieniowej [Błażejewski i Matz 2011].

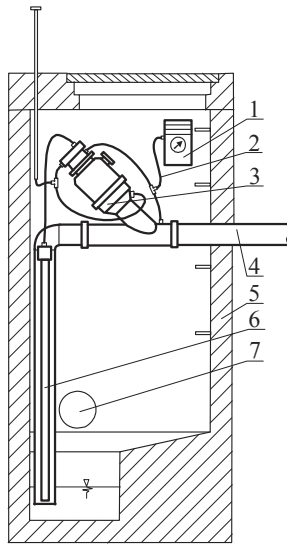
W związku z tym podjęto decyzję o rozpoznaniu, jak się zmienia podciśnienie w zbiorczym rurociągu badanej sieci kanalizacji podciśnieniowej. W tym celu w wyznaczonych studzienkach wzdłuż rurociągu zbiorczego o średnicy 225 mm (rys. 4) zamontowano urządzenia do pomiaru podciśnienia z rejestratorami danych firmy REVAC Sp. z o.o. (rys. 5). Miejsca, czyli studzienki z zaworami opróżniającymi, w których zamontowano urządzenia do pomiaru podciśnienia, wytypowano po przeprowadzeniu wizji lokalnej oraz wywiadu z obsługą sieci kanalizacji podciśnieniowej i mieszkańcami miejscowości.

Dzięki możliwości instalacji urządzeń do pomiaru podciśnienia z rejestratorem danych wewnątrz studzienki z zaworem opróżniającym pomiary mogły być prowadzone nieprzerwanie przez kilka dni, a urządzenia pomiarowe z rejestratorami danych nie były narażone na uszkodzenia ani kradzież, ponieważ były niewidoczne dla postronnych osób. Pomiary były wykonywane w trakcie normalnej pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej, nieprzerwanie przez 7 dni, mierząc zmiany podciśnienia w zbiorniku podciśnieniowym na stacji próżniowo-pompowej – R1 (rys. 4) i w studzienkach z zaworem opróżniającym, podłączonych do rurociągu o średnicy 225 mm wzdłuż jego długości – R2, R3, R4, R5, R6. Wyniki pomiarów zmian podciśnienia na poszczególnych urządzeniach do pomiaru podciśnienia z rejestratorami danych, umieszczonych w studzienkach i na stacji próżniowo-pompowej, były automatycznie rejestrowane co minutę, w tym samym przedziale czasowym.



Rys. 4. Schemat sieci kanalizacji podciśnieniowej: R1 – urządzenie do pomiaru podciśnienia z rejestratorem danych, Spp – stacja próżniowo-pompowa, d – średnica rurociągu

Fig. 4. Scheme of vacuum sewerage network: R1 – device for measuring the vacuum with data logger, Spp – vacuum-pump station, d – pipeline diameter



Rys. 5. Schemat połączenia urządzenia do pomiaru podciśnienia firmy REVAC Sp. z o.o.: 1 – urządzenie do pomiaru podciśnienia z rejestratorem danych, 2 – wężyk impulsowy, 3 – zawór opróżniający, 4 – rurociąg podciśnieniowy, 5 – studzienka żelbetowa, 6 – rura sensorowa, 7 – grawitacyjny przykanalik

Fig. 5. Scheme of connecting the device to measure the vacuum of REVAC Sp. z o.o.: 1 – device for measuring the vacuum with data logger, 2 – tube impulsive, 3 – interface valve, 4 – vacuum collector pipeline, 5 – ferroconcrete sump, 6 – pipe sensor, 7 – gravity the drain

Urządzenie do pomiaru podciśnienia z rejestratorem danych połączone było z zaworem opróżniającym za pomocą wężyka impulsowego (2), zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 5. Takie połączenie pozwalało na ciągły monitoring zmian podciśnienia panującego w rurociągu przed zaworem opróżniającym i umożliwiało pomiar zmian podciśnienia w rurociągu w momencie otwarcia się danego zaworu opróżniającego, jak również zaworów w sąsiednich studzienkach.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania prowadzone na sieci kanalizacji podciśnieniowej mogą być obarczone wieloma błędami wynikającymi z losowego zachowania się systemu w danej chwili. Nie można przewidzieć na przykład liczby zaworów opróżniających, które otworzą się w danym momencie ani czasu ich otwarcia. Należy pamiętać, że ustawiony czas otwarcia zaworów opróżniających w trakcie eksploatacji sieci kanalizacji podciśnieniowej ulega rozregulowaniu. Nie ma również możliwości dokładnego określenia ilości powietrza, jakie jest zasysane do sieci podczas pracy zaworu opróżniającego.

W systemie kanalizacji podciśnieniowej zawory opróżniające otwierają się losowo, w zależności od napełnienia się ściekami studzienki z zaworem opróżniającym. Podczas prawidłowej pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej pomierzone na długości rurociągu zmiany podciśnienia w zbiorczych rurociągach powinny być zbliżone do sinusoidy i o 1–2 minuty przesunięte w czasie względem siebie [Kalenik i Kanclerz 2005].

W rurociągu podciśnieniowym gwałtowną zmianę podciśnienia powoduje otwarcie się zaworu opróżniającego. Różnica ciśnienia między rurociągiem podciśnieniowym a atmosferą powoduje napływ ścieków i powietrza do rurociągu. Duże skoki podciśnienia w rurociągu wskazują na otwarcie się zaworów opróżniających w studzienkach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie urządzenia pomiarowego, a mniejsze skoki – na otwarcie się zaworów opróżniających znajdujących się w dalej położonych studzienkach.

Podczas prawidłowej pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej po zamknięciu się zaworu opróżniającego w bardzo krótkim czasie (około 30 sekund) następuje wyrównanie podciśnienia w zbiorczym rurociągu podciśnieniowym. Natomiast gdy zawory opróżniające otwierają się często, to czas wyrównania podciśnienia w rurociągu jest minimalnie dłuższy (około 40 sekund) [Kalenik i Kanclerz 2005].

Z badań przeprowadzonych na prawidłowo pracującej sieci kanalizacji podciśnieniowej wynika, że w zbiorczych rurociągach podciśnieniowych o średnicy powyżej 200 mm otwarcie się zaworu opróżniającego w bardzo małym stopniu wpływa na zmianę podciśnienia w rurociągu [Kalenik i Kanclerz 2005]. Wskazuje to, że czym większa jest średnica rurociągu w systemie kanalizacji podciśnieniowej, tym otwarcie się zaworu opróżniającego w mniejszym stopniu zakłóca hydrauliczne warunki przepływu medium, a panujące w nim podciśnienie jest bardziej stabilne.

Z przeprowadzonych badań wynika, że w prawidłowo pracującej sieci kanalizacji podciśnieniowej różnica podciśnienia między początkiem a końcem rurociągu o średnicy powyżej 200 mm w małym stopniu zależy od jego średnicy i długości (pomijając otwarcie się zaworu opróżniającego). Średnie wartości różnicy podciśnienia w zbiorczych ru-

rociąгах podciśnieniowych o średnicy powyżej 200 mm nie przekraczały -2 kPa [Kalenik i Kanclerz 2005].

Przeprowadzone badania w instalacji eksperymentalnej kanalizacji podciśnieniowej wybudowanej w laboratorium w skali 1:1 pokazują, że aby zawory opróżniające mogły się otwierać, podciśnienie w rurociąгах kanalizacji podciśnieniowej nie może być mniejsze niż -20 kPa [Kalenik 2014a]. W trakcie badań zawory opróżniające przy podciśnieniu mniejszym niż -20 kPa nie otwierały się, ponieważ aby pokonać naprężenie sprężyny zamykającej zawór opróżniający, w rurociągu podciśnieniowym musi panować podciśnienie minimum -20 kPa.

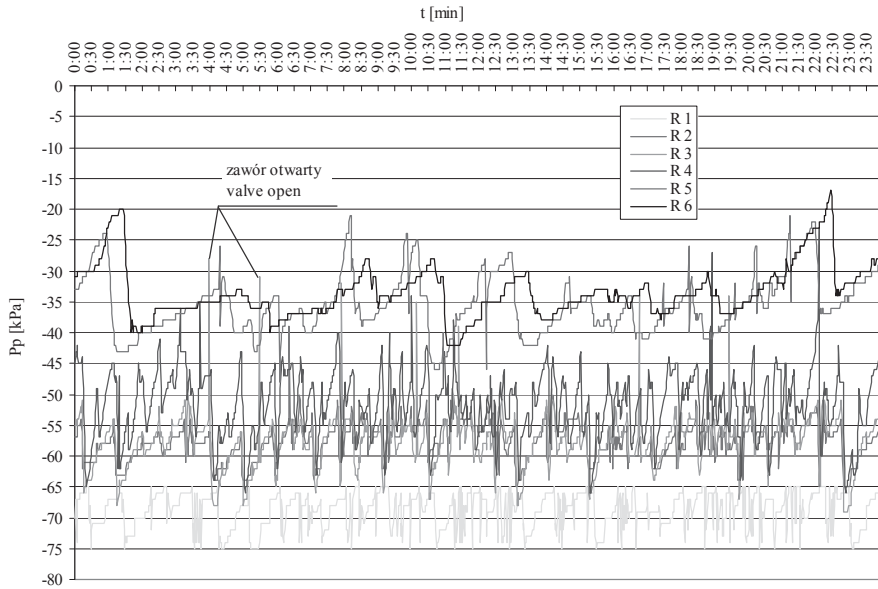
W systemach kanalizacji podciśnieniowej stosuje się od dwóch do czterech pomp próżniowych, w tym jedną rezerwową. Aby zapewnić równomierne zużywanie się pomp próżniowych, muszą one pracować w systemie rotacyjnym, z jedną pozostającą w spoczynku. Kolejno raz na tydzień jedna z pomp jest wyłączana z pracy, jest wtedy pompą rezerwową. W przypadku kiedy podciśnienie w zbiorniku podciśnieniowym spada do -30 kPa, załącza się automatycznie pompa próżniowa pozostająca w spoczynku, która w tym momencie wspomaga pracę pozostałych trzech pomp. Pompy próżniowe z reguły pracują w zakresie podciśnienia od -55 kPa do -70 kPa [Kalenik 2011].

W badanej sieci kanalizacji podciśnieniowej (rys. 4) średnice zbiorczych rurociąгов podciśnieniowych, pompy próżniowe zamontowane w stacja próżniowo-pompowej, pompy zatapialne zamontowane w zbiorniku podciśnieniowym i rurociąg tłoczny zostały dobrane na docelowy przepływ ścieków z uwzględnieniem perspektywicznej zabudowy miejscowości zgodnie z planem przestrzennego zagospodarowania gminy [Projekt kanalizacji... 2005].

Na rysunkach od 6 do 9 przedstawiono wyniki pomiarów i zmiany podciśnienia w zbiorczym rurociągu o średnicy 225 mm podczas pracy badanej sieci kanalizacji podciśnieniowej (rys. 4). Symbolami od R1 do R6 oznaczono, zgodnie z rysunkiem 4, zmiany podciśnienia, jakie rejestrowały rozmieszczone na długości rurociągu poszczególne urządzenia pomiarowe. W zbiorniku podciśnieniowym zmiany podciśnienia rejestrowało urządzenie pomiarowe oznaczone symbolem R1 – linia żółta. Natomiast pozostałe urządzenia pomiarowe oznaczono odpowiednio: R2 – linia czerwona, R3 – linia zielona, 4 – linia niebieska, R5 – linia różowa, R6 – linia czarna. Na wykresach (rys. 6–9) na osiach rzędnych zaznaczono zmiany podciśnienia (Pp [kPa]), a na osiach odciętych czas (t [min]).

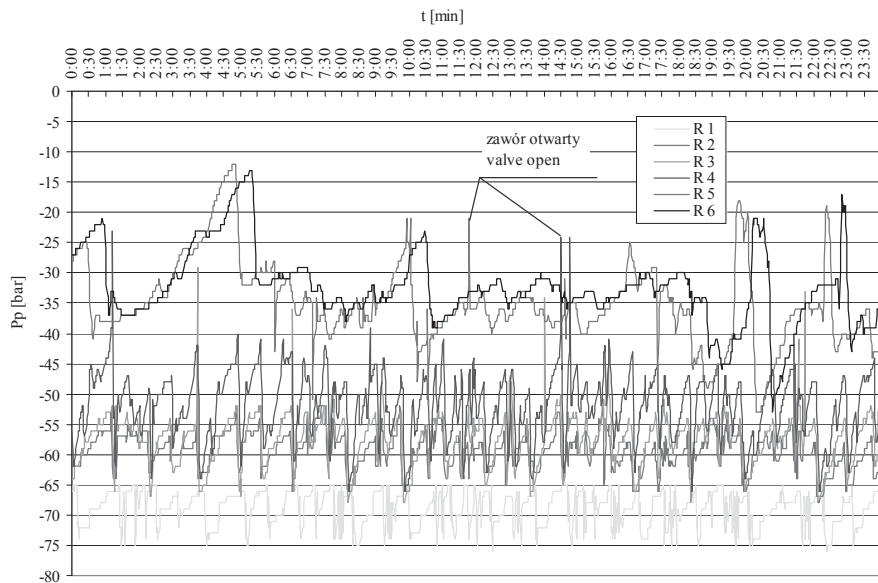
Analizując na wykresach (rys. 6–9) pracę pomp próżniowych (R1 – linia żółta) w badanej sieci kanalizacji podciśnieniowej, można stwierdzić, że załączają się i wyłączają zgodnie z wytycznymi podanymi w projekcie: gdy podciśnienie w zbiorniku podciśnieniowym spadnie do -65 kPa, to załączają się, a gdy wzrośnie do -75 kPa, wyłączają się [Projekt kanalizacji... 2005]. Niestety nastawy załączania się i wyłączania pomp próżniowych są znacznie większe, niż zalecają to wytyczne projektowania [ATV-DVWK-A 116: 2004, PN-EN 1091:2002]. W związku z tym energochłonność pomp próżniowych będzie bardzo duża. Pompy próżniowe w ciągu doby pracują bardzo nieregularnie. Natomiast w godzinach nocnych, kiedy dopływ ścieków jest mały, załączają się zbyt często.

Natomiast analizując na wykresach (rys. 6–9) zmiany podciśnienia w poszczególnych punktach pomiarowych, wyraźnie wydać gwałtowne krótkotrwałe spadki podciśnienia, które powstają w wyniku otwierania się zaworów opróżniających w pobliżu punktów pomiarowych. Na wykresach zaznaczono je jako zawór otwarty.



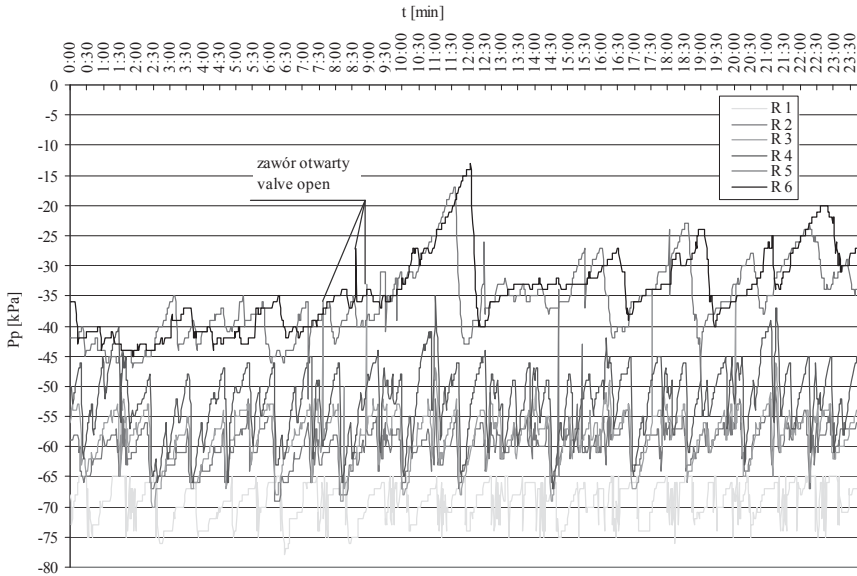
Rys. 6. Zestawienie wyników badań zmian podciśnienia w zbiorczym rurociągu podciśnieniowym o średnicy 225 mm w pierwszej dobie

Fig. 6. Statement of researches results change vacuum in the vacuum collector pipeline with a diameter of 225 mm on the first day



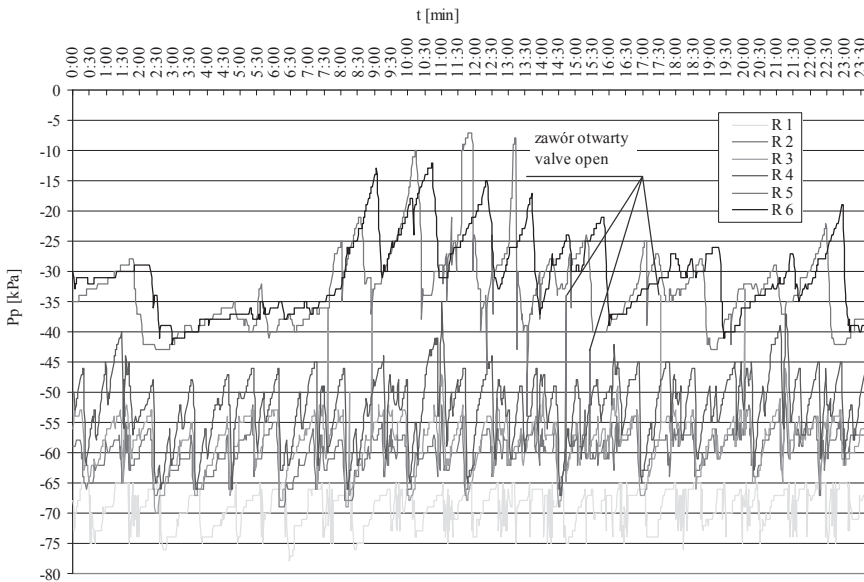
Rys. 7. Zestawienie wyników badań zmian podciśnienia w zbiorczym rurociągu podciśnieniowym o średnicy 225 mm w drugiej dobie

Fig. 7. Statement of researches results change vacuum in the vacuum collector pipeline with a diameter of 225 mm on the second day



Rys. 8. Zestawienie wyników badań zmian podciśnienia w zbiorczym rurociągu podciśnieniowym o średnicy 225 mm w trzeciej dobie

Fig. 8. Statement of researches results change vacuum in the vacuum collector pipeline with a diameter of 225 mm on the third day



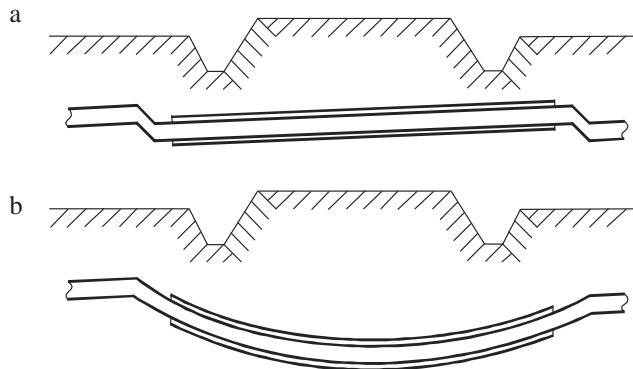
Rys. 9. Zestawienie wyników badań zmian podciśnienia w zbiorczym rurociągu podciśnieniowym o średnicy 225 mm w czwartej dobie

Fig. 9. Statement of researches results change vacuum in the vacuum collector pipeline with a diameter of 225 mm on the fourth day

W punkcie pomiarowym R2 i R3 wyraźnie widać granice zmiany podciśnienia w rurociągu w momencie wyłączenia się pomp próżniowych, a następnie ich załączenia. W tym czasie, kiedy następuje wyłączenie się i załączanie pomp próżniowych, wartości podciśnienia w punkcie pomiarowym R2 wahają się średnio od -65 do -55 kPa, a w punkcie pomiarowym R3 – od -65 do -52 kPa i zgodnie z założeniami projektowymi różnica wahań podciśnienia w rurociągu w trakcie prowadzonych badań ani razu nie przekroczyła -20 kPa [Projekt kanalizacji... 2005]. Pomierzone większe wartości podciśnienia odpowiadają momentowi wyłączenia się pomp próżniowych, a mniejsze – momentowi załączania się pomp próżniowych, które w zbiorniku podciśnieniowym wytwarzają podciśnienie. Pomierzone w punkcie R2 i R3 zmiany podciśnienia są zbliżone do sinusoidy i o kilka minut przesunięte w czasie względem siebie, korelując wyraźnie ze zmianami podciśnienia w zbiorniku podciśnieniowym (punkt pomiarowy R1). W związku z tym można uznać, że analizowana sieć kanalizacji podciśnieniowej na odcinku od punktu pomiarowego R1 do R3 pracuje prawidłowo (rys. 4).

Natomiast od punktu pomiarowego R4 sieć kanalizacji podciśnieniowej pracuje nieprawidłowo. W punkcie tym jeszcze widać granice zmiany podciśnienia w rurociągu w momencie wyłączenia się pomp próżniowych, a następnie ich załączenia się, ale już w punktach R5 i R6 granice te nie są widoczne. W tym czasie, kiedy następuje wyłączenie się i załączanie pomp próżniowych, wartości podciśnienia w punkcie pomiarowym R4 wahają się średnio od 65 do -45 kPa, ale różnica wahań podciśnienia w rurociągu w trakcie prowadzonych badań kilkanaście razy przekroczyła -20 kPa, nie spełniając założeń projektowych [Projekt kanalizacji... 2005]. Z kolei w punktach pomiarowych R5 i R6 występował bardzo duży spadek wartości podciśnienia w rurociągu, nawet poniżej minimalnego wymaganego podciśnienia, które nie może być mniejsze niż -20 kPa, gdyż wtedy zawory opróżniające przestają się otwierać (w rurociągu występuje za małe podciśnienie). Gdy w rurociągu podciśnieniowym następuje nagły duży spadek podciśnienia w dłuższym okresie, a później jego wzrost i znowu spadek i tak naprzemiennie (rys. 6–9, punkt pomiarowy R5 i R6), wskazuje to na zalewanie odcinków rurociągu ściekami. Może to być spowodowane nieprawidłowym ułożeniem rurociągu podciśnieniowego, czyli z przeciwnym spadkiem lub w postaci syfonu. W związku z tym podjęto decyzję o odkopaniu rurociągu podciśnieniowego przed i za przejściami pod drogą krajową 62.

Po wykonaniu odkrywek rurociągu podciśnieniowego przed i za przejściami pod drogą krajową 62 okazało się, że wykonawca wybudował przejścia w sposób odbiegający od zaproponowanego w projekcie, który przewidywał przejście pod drogą prostoliniową rurą ochronną i dopiero wtedy umieszczenie w niej rurociągu podciśnieniowego (rys. 10a). Natomiast wykonawca wykonał te przejścia metodą przewiertu sterowanego wiertnicą HDD. W metodzie tej wprowadzanie rury pod powierzchnię gruntu odbywa się z powierzchni terenu, a trasa przewiertu nie jest prostoliniowa tylko krzywoliniowa, w postaci łuku. Po połączeniu końców rurociągu powstaje syfon (rys. 10b), który powoduje duże opory hydrauliczne. Wtedy podczas pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej w rurociągu występują duże spadki podciśnienia, nawet poniżej wymaganego minimalnego podciśnienia -20 kPa (rys. 6–9).



Rys. 10. Schematy przejść rurociągu podciśnieniowego pod drogą: a – przejście prawidłowe, b – przejście nieprawidłowe

Fig. 10. Schemes passages vacuum collector pipeline under the road: a – correct passage, b – incorrect passage

Według informacji uzyskanej od kierownika obiektu, po przebudowaniu przejść zbiorczego rurociągu podciśnieniowego pod drogą zgodnie z projektem i prawidłowym wyregulowaniu nastaw długości czasu otwarcia zaworów opróżniających, badana sieć kanalizacji podciśnieniowej zaczęła pracować prawidłowo.

PODSUMOWANIE

W ostatnich latach nastąpił bardzo szybki rozwój technologiczny systemu kanalizacji podciśnieniowej. System ten stanowi alternatywne rozwiązanie dla kanalizacji grawitacyjnej i ciśnieniowej, gdy spadki terenu i warunki hydrogeologiczne są niekorzystne do ich zastosowania. Szczególnie zaleca się go stosować do zbierania ścieków bytowych na obszarach wiejskich o płaskiej topografii terenu [PN-EN 1091:2002].

System kanalizacji podciśnieniowej, mimo że jest coraz częściej spotykany na terenie naszego kraju, to jednak nadal jest systemem niekonwencjonalnym i wymaga wykwalifikowanej kadry do jego budowy i eksploatacji. W związku z tym niezbędne jest doksztalcanie się pracowników, którzy zajmują się jego budową i eksploatacją.

W świetle przeprowadzonych badań (rys. 6–9) eksploatowany system kanalizacji podciśnieniowej pracował nieprawidłowo. Główną przyczyną nieprawidłowej pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej było niezgodnie z projektem wybudowanie przejść zbiorczego rurociągu podciśnieniowego pod drogą krajową 62. W związku z tym jakiegokolwiek odstępstwa od projektu bądź zaprojektowanego sposobu wykonania poszczególnych elementów sieci kanalizacji podciśnieniowej muszą być bezwzględnie skonsultowane z projektantem i muszą uzyskać jego pełną akceptację na piśmie. Natomiast pracownicy zajmujący się eksploatacją sieci kanalizacji podciśnieniowej muszą znać nastawy czasu otwarcia poszczególnych zaworów opróżniających, żeby móc je skorygować, gdy się rozregulują. Pracownicy powinni przynajmniej dwa razy w ciągu roku (wczesną wiosną i późną jesienią) przejść wzdłuż sieci i przeprowadzić regulację czasu otwarcia zaworów

opróżniających. Należy stosować zasadę, że zawory znajdujące się dalej powinny być otwarte dłużej niż zawory usytuowane bliżej stacji próżniowo-pompowej. Pracownicy ci powinni również prowadzić książkę eksploatacji i konserwacji obiektu, w której muszą być notowane wszystkie zaistniałe awarie i przyczyny ich powstania oraz sposoby ich usunięcia.

PIŚMIENNICTWO

- ATV-DVWK-A 116 (2004). Part 1. Vacuum drainage outside of buildings. April.
- Błażejowski, R., Bykowski, J. (1999). Analiza techniczno-ekonomiczna sieci kanalizacyjnych na terenach niezurbanizowanych. II Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Sieci kanalizacyjne i pompownie ścieków na terenach niezurbanizowanych”. Wisła, 6–8 września. Wydawnictwo Abrys, Poznań, 19–40.
- Błażejowski, R., Matz, R. (2011). Problemy eksploatacyjne systemów kanalizacji podciśnieniowej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 7–8, 289–292.
- EPA/625/1-91/024 (1991). Alternative Wastewater Collection Systems. Manual. United States Environmental Protection Agency, Washington.
- Heidrich, Z. (1991). Analiza porównawcza różnych systemów odprowadzania ścieków z jednostek osadniczych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 7, 155–159.
- Kalenik, M. (2011). Niekonwencjonalne systemy kanalizacji. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kalenik, M. (2014a). Eksperymental investigations of interface valve flow capacity in the RoeVac type vacuum sewage system. *Environment Protection Engineering*, 40, 3, 127–138.
- Kalenik, M. (2014b). Hydrauliczne warunki przepływu w rurociągach kanalizacji podciśnieniowej. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kalenik, M. (2015). Empirical formulas for calculation of negative pressure difference in vacuum pipelines. *Water*, 7, 10, 5284–5304.
- Kalenik, M., Kanclerz, A. (2005). Badania systemu kanalizacji podciśnieniowej w warunkach technicznej eksploatacji. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 31–34.
- Kwietniewski, M., Miszta-Kruk, K. (2007). Distributions of pump work times in an operating vacuum sewerage system. In: *Environmental Engineering*. Taylor & Francis Group, London, Singapore, 145–150.
- Miszta-Kruk, K. (2006). Analiza niezawodności kanalizacji podciśnieniowej na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych systemów. Praca doktorska. Maszynopis. Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Miszta-Kruk, K., Kwietniewski, M. (2005). Ocena niezawodności systemu kanalizacji podciśnieniowej. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, Lublin. 32, 453–465.
- PN-EN 1091:2002. Zewnętrzne systemy kanalizacji podciśnieniowej.
- Projekt kanalizacji podciśnieniowej w miejscowości Starawieś, Gmina Liw (2005). Lublin.

INVESTIGATIONS OF HYDRAULIC FLOW CONDITIONS OF A VACUUM SEWAGE SYSTEM

Abstract. The main aim of the investigations was to analyze hydraulic flow conditions of a vacuum sewage system making a lot of problems during its exploitation and to propose corrective action which should be taken to eliminate these problems. The scope of the investigations encompassed a vacuum sewage system built in a village Starawieś nearby Warsaw. The paper presents the analysis of the obtained results of the investigations of negative pressure changes along the length of the vacuum collector pipeline with diameter

of 225 mm, in conditions of technical exploitation of the vacuum sewage system. Negative pressure measuring devices were distributed in six determined points (ferroconcrete wells with ISEKI interface valves) along the length of the vacuum collector pipeline. The measuring devices measured pressure changes every minute, by 24 hours per day, for several days. Changes of the negative pressure in vacuum sewage systems depend on the frequency of opening of interface valves and on the negative pressure in a vacuum container. In order to let the interface valves open, the negative pressure in vacuum sewage pipelines cannot be lower than -20 kPa. The analysis of the obtained results of the investigations allowed to define the causes of malfunctioning of the vacuum sewage system. The main cause of the problems was that the passages of the vacuum collector pipeline under the national road No. 62 were built contrary to the design. After reconstruction of the aforementioned passages according to the design and after proper adjustment of opening times of the emptying valves, the tested vacuum sewage system operated properly.

Key words: sewage, vacuum sewage system, interface valve, vacuum collector pipeline

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.06.2016

Cytowanie: Kalenik M., Dybiec G. (2016). Badania hydraulicznych warunków pracy sieci kanalizacji podciśnieniowej. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (2), 147–160.