

Janusz Dolecki

ZASADY PROJEKTOWANIA I MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

Zasady obliczania podciśnieniowego systemu odprowadzania ścieków w istotny sposób odbiegają od zasad rozwiązywania i wymiarowania układów kanalizacji grawitacyjnej. Spowodowane jest to przede wszystkim zmianą sposobu wprowadzania ścieków do sieci przewodów, warunkami przepływu oraz pojawieniem się urządzeń charakterystycznych dla kanalizacji podciśnieniowej. Przeprowadzona analiza warunków pracy tego systemu kanalizacji pozwoliła na opracowanie zasad wymiarowania jednoprzewodowej kanalizacji podciśnieniowej, umożliwiających obliczenie wielkości poszczególnych jej elementów, z uwzględnieniem warunków ich pracy, współdziałania i przebiegu zjawisk zachodzących w pracującym układzie [1]. Poniżej omówiono zagadnienia dotyczące metod obliczania wielkości charakterystycznych parametrów oraz rozwiązywania elementów, decydujących o warunkach pracy układu kanalizacji podciśnieniowej.

Zasady obliczania układów kanalizacji podciśnieniowej

Rozwiązanie zaprojektowanego układu kanalizacji podciśnieniowej polega na:

- zwymiarowaniu sieci przewodów podciśnieniowych,
- określeniu wymaganego podciśnienia w poszczególnych węzłach sieci i w stacji próżniowej,
- doborze elementów stacji próżniowej (zbiornik próżniowy, pompy próżniowe, pompy ściekowe),
- zwymiarowaniu studzienek (komór) zbiorczych z zaworem opróżniającym.

Podstawą do obliczeń tych elementów jest miarodajny przepływ ścieków. Ze względu na sposób odprowadzania ścieków do sieci przewodów, wielkość ta musi być określana w sposób odmienny, aniżeli w przypadku sieci grawitacyjnej. Losowy charakter spływu ścieków do studzienki zbiorczej, losowy stan jej napełnienia w dowolnej chwili czasowej, jak również losowy czas jej opróżniania w zależności od stanu całego układu i ilości równocześnie opróżnianych studzienek zbiorczych, zadecydowały o konieczności poszukiwania metod rozwiązania w dziedzinie modeli probabilistycznych. Szczegółowa analiza warunków pracy i współdziałania poszczególnych elementów oraz przeprowadzony eksperyment numeryczny,

pozwołyły na rozwiązanie zagadnienia szacowania wartości przepływu miarodajnego z wykorzystaniem teorii obsługi masowej [2—4]. Podstawowe definicje teorii obsługi masowej w odniesieniu do układów kanalizacji podciśnieniowej, weryfikacja hipotez pozwalających na rozpatrywanie kanalizacji podciśnieniowej jako systemu obsługi masowej, przedstawione zostały w pracy [1].

W oparciu o przyjęte w niej stwierdzenia, wprowadzono następujący tok postępowania, przy wyznaczaniu wielkości przepływu miarodajnego:

- dla i -tego węzła sieci przewodów podciśnieniowych wyznaczona jest intensywność strumienia zgłoszeń λ_i :

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{T_j} \quad (1)$$

gdzie:

n_j — liczba studzienek zbiorczych na j -tym odcinku sieci przewodów, położonych powyżej i -tego węzła,

T_j — czas napełniania studzienki zbiorczej na j -tym odcinku. Wielkość ta wyznaczona jest w funkcji natężenia dopływu ścieków do studzienki oraz jej pojemności czynnej.

- dla i -tego węzła sieci przewodów obliczany jest średni czas opróżniania studzienek zbiorczych, z których ścieki przepływają przez i -ty węzeł:

$$t_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^i t_j}{i} \quad (2)$$

gdzie:

t_j — czas opróżniania j -tej studzienki zbiorczej obliczany ze wzoru:

$$t_j = \frac{V_j}{q' a} \quad (3)$$

gdzie:

V_j — pojemność czynna j -tej studzienki zbiorczej,

$q' a$ — wydajność zaworu opróżniającego, odpowiadająca dolnemu ograniczeniu zakresu wydajności zaworów dla przyjętego przedziału ufności α

- prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk opróżniania się (k) studzienek zbiorczych w czasie (t_{oi}) wyznaczone jest ze wzoru:

$$p_k(t_{oi}) = \frac{(\lambda \cdot t_{oi})^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda t_{oi}) \quad (4)$$

— do obliczeń przepływu miarodajnego przyjmuje się wartość k , dla której:

$$p_k(t_{oi}) = p_{max} \quad (5)$$

— przepływ miarodajny wyznaczany jest ze wzoru:

$$Q_o = k \cdot q'_a \quad (6)$$

gdzie:

q'_a — wydajność zaworu opróżniającego, odpowiadająca górnemu ograniczeniu wydajności zaworów dla przyjętego przedziału ufności α .

Przedstawiony tok postępowania pozwala na wyznaczenie przepływu miarodajnego nie tylko dla zadanej z góry wartości prawdopodobieństwa wystąpienia zjawiska, ale także z uwzględnieniem ekstremalnych warunków pracy, wynikających z przyjęcia granicznych wartości wydajności zaworu opróżniającego, dla zadanego przedziału ufności.

Obliczenia hydrauliczne sieci przewodów podciśnieniowych przeprowadzane być powinny dla wyznaczonego przepływu miarodajnego, z uwzględnieniem transportu układu dwufazowego (ścieki + powietrze). Zasady obliczeń hydraulicznych sieci przewodów kanalizacji podciśnieniowej omówiono szczegółowo w pracach [1, 5], przy czym dobór średnic przewodów dokonywany jest z dwóch niezależnych warunków:

- średnica d_1 dobierana jest z uwzględnieniem wymogów zachowania niezbędnej prędkości przepływu ścieków,
- średnica d_2 obliczana jest w funkcji zadanego, maksymalnego czasu oczekiwania na opróżnienie (według zależności stosowanych w tzw. teorii kolejek).

Jako rozwiązanie przyjmowana jest wartość (d) spełniająca warunek:

$$d = \sup \{d_1, d_2\}$$

Żądane podciśnienie wyznaczone jest dla całego układu sieci przewodów w oparciu o obliczenia hydrauliczne, przy czym w obliczeniach uwzględniony powinien zostać warunek stanowiący tzw. kryterium rozruchu układu. Określone jest ono wartością podciśnienia, jakie musi zostać wytworzone w stacji próżniowej, które dla założonego układu przewodów, dobranych średnic, wielkości studzienek zbiorczych, warunków lokalnych i wysokościowego ukształtowania układu zainicjuje jego działanie. W trakcie pracy układu kanalizacji podciśnieniowej możliwa i celowa jest powtórna regulacja zakresu pracy pomp próżniowych.

Elementy stacji próżniowej: zbiornik próżniowy, pompy próżniowe i pompy ściekowe wymiarowane są w oparciu o wielkość przepływu miarodajnego oraz wyniki obliczeń hydraulicznych. Pojemność zbiornika próżniowego (tzw. pojemność buforowa zbiornika) wynika z konieczności ograniczenia częstotliwości włączeń pomp próżniowych. We współpracy z pompami ściekowymi zbiornik spełnia taką samą rolę, jak zbiornik czerpalny w konwencjonalnej pompowni kanalizacyjnej. Wydajność pomp próżniowych określana jest z dwóch warunków:

— Q_{pp1} wynika z ilości powietrza, jakie należy odprowadzać z układu w trakcie jego pracy,

— Q_{pp2} wynika z przyjętego (minimalnego) czasu potrzebnego do uzyskania w całym układzie niezbędnej próżni.

Jako wymaganą wydajność pomp próżniowych dla danego układu kanalizacji podciśnieniowej przyjmuje się wartość Q_{pp} równą:

$$Q_{pp} = \sup \{Q_{pp1}, Q_{pp2}\}$$

Wielkość wytwarzanej próżni określa wartość żadanego podciśnienia w stacji próżniowej, wyznaczonego na podstawie obliczeń hydraulicznych. Wydajność pomp ściekowych określana jest w funkcji przepływu miarodajnego i przyjętej częstotliwości ich włączeń. Wysokość podnoszenia obliczana jest indywidualnie w nawiązaniu do warunków lokalnych.

Biorąc pod uwagę fakt, iż tok obliczeń układu kanalizacji podciśnieniowej jest stosunkowo złożony i pracochłonny, obliczenia zostały sformalizowane i przystosowane do realizacji na emc. Opracowany i uruchomiony program obliczeniowy (maszyna cyfrowa Odra 1305) pozwala na przeprowadzenie obliczeń projektowanego układu kanalizacji podciśnieniowej, dobierając pojemności studzienek zbiorczych, średnice przewodów podciśnieniowych, pojemność zbiornika próżniowego oraz określa żądane parametry pracy pomp próżniowych i ściekowych. Opis układu kanalizacji zadawany jest poprzez wprowadzenie zbioru danych według schematu podanego w tabeli 1.

Tabela 1

**SPOSÓB OPISU UKŁADU KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ
ROZWIĄZYWANEJ Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU
OBLICZENIOWEGO**

Waga odcinka	Nr węzła		Długość odcinka	Natężenie spływu ścieków	Rzędna terenu w węźle		Zagłębienie komory zbiorczej
	początkowego*	końcowego**			początkowym	końcowym	
—	—	—	m	dm ³ /s	m npm	m npm	m
1	2	3	4	5	6	7	8

* komora (studzienka) zbiorcza oznaczana być musi numerem >1000
** ostatni węzeł (stacja próżniowa) oznaczany numerem 1

Pozostaje więc do rozstrzygnięcia problem, który dla omawianego zagadnienia ma znaczenie podstawowe: Czy w obecnych warunkach istnieje realna możliwość zastosowania kanalizacji podciśnieniowej w Polsce? Odpowiedź jest jednoznaczna: TAK.

Po pierwsze, przedstawione zasady obliczeń, pozwalają na rozwiązywanie układu kanalizacji podciśnieniowej, z uwzględnieniem zachodzących w niej zjawisk i warunków współdziałania poszczególnych elementów.

Po drugie, analiza ekonomiczna wykazała, że kanalizacja podciśnieniowa jest rozwiązaniem bardziej racjonalnym jeżeli stanowi alternatywę dla układu kanalizacji grawitacyjnej z pompownią, w warunkach wysokiego zwierciadła wody gruntowej a warunki techniczne

(dyspozycyjna wielkość podciśnienia) nie ograniczają jej zastosowania [6].

Trzecim, najbardziej przekonującym argumentem, przemawiającym za tym, iż ten sposób odprowadzania ścieków może być z powodzeniem zastosowany w warunkach krajowych, jest pracujący od przeszło dwóch lat układ kanalizacji podciśnieniowej w jednym z osiedli Darłowa. Należy tu wyraźnie podkreślić dwa, bardzo istotne czynniki:

- układ w Darłowie nie był budowany przez przedsiębiorstwo wyspecjalizowane w wykonywaniu instalacji próżniowych,
- wykonany układ nie wymagał tzw. „wsadu dewizowego”; oparty został o urządzenia, przewody i elementy produkcji krajowej.

Dla poparcia tezy o praktycznej możliwości stosowania tego systemu kanalizacji w warunkach krajowych, celowe będzie dokonanie przeglądu podstawowych elementów układu w kontekście warunków ich pracy, stawianych wymagań i dostępności na rynku.

Ocena możliwości stosowania kanalizacji podciśnieniowej w warunkach krajowych

Układ wewnętrznej instalacji kanalizacyjnej pomijany jest w tych rozważaniach, jako że w stosunku do tego elementu systemu odprowadzania ścieków, nie stawia się żadnych wymagań, wynikających ze współpracy z kanalizacją podciśnieniową.

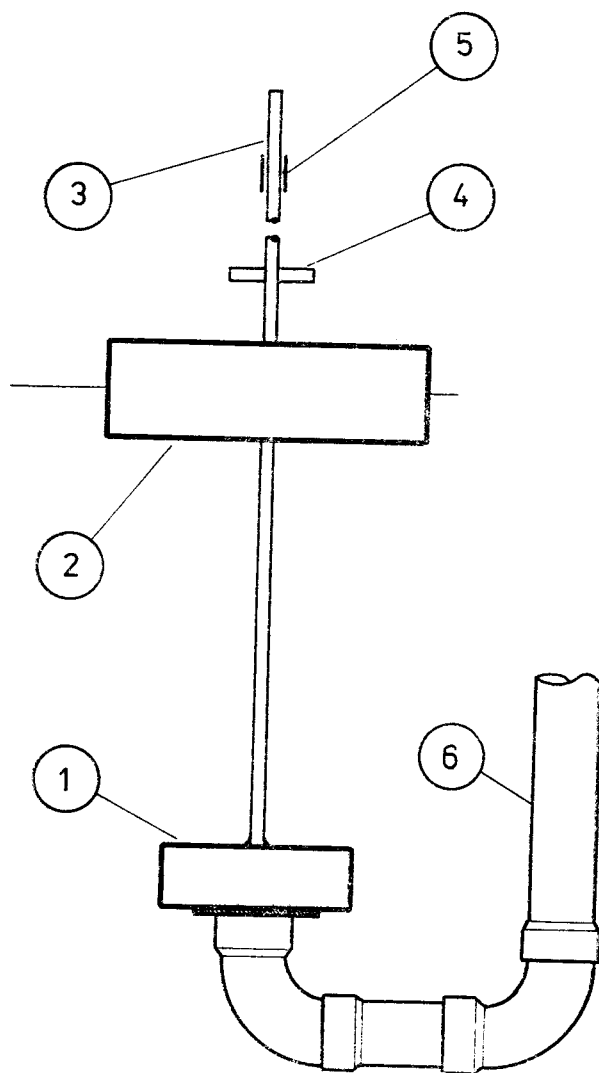
Studzienka zbiorcza

Ten element układu nie stanowi praktycznie żadnego problemu i może być wykonywany zarówno z elementów prefabrykowanych (jak typowa studzienka kanalizacyjna) lub też wylewany jako komora o większej pojemności. W stosunku do studzienki (komory) zbiorczej nie stawia się wymagań uzyskania szczelności w kontekście współpracy z siecią przewodów podciśnieniowych. Należy jednak dążyć do tego, aby nie następowała infiltracja wody gruntowej do studzienki, co powodowałoby zbędne i nadmierne obciążenie układu.

Zawór opróżniający

Stanowi on jeden z najbardziej istotnych elementów całego układu. W stosunku do niego stawia się wymagania wysokiej niezawodności oraz uzyskiwania szczelności zamknięcia wlotu do przewodu podciśnieniowego. Stosowane w krajach zachodnich rozwiązania chronione są patentami lub tajemnicami firmowymi. W Polsce brak było zaworu, który mógłby być bezpośrednio zaadaptowany do pracy w układzie kanalizacji podciśnieniowej. Zastosowany w instalacji w Darłowie zawór opróżniający autorstwa inż. Zbigniewa Gackowskiego (P 251921) jest prosty w swojej konstrukcji i niezawodny w działaniu. Schemat ideowy tego zaworu przedstawiono na rysunku 1.

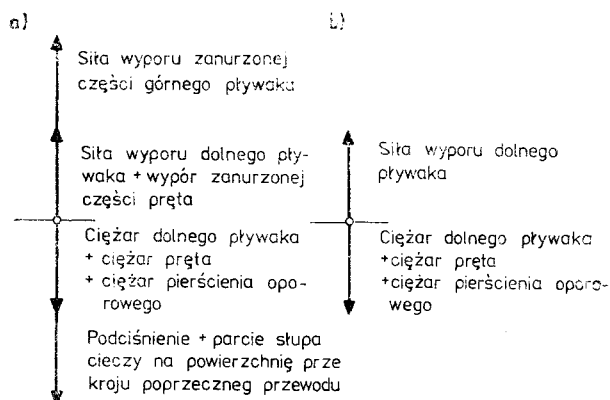
Podstawowymi elementami tego urządzenia są: pływak dolny, zamykający wlot do przewodu



Rys. 1 Schemat ideowy zaworu opróżniającego (1 — pływak dolny połączony z prętem 3, 2 — pływak górny, swobodnie pływający po powierzchni ścieków, 3 — pręt, stanowiący prowadnicę dla pływaka górnego 2, 4 — pierścień oporowy, 5 — przewód podciśnieniowy, 6 — przewód podciśnieniowy)

podciśnieniowego, połączony z prętem oraz pływak górny, pływający swobodnie po powierzchni ścieków. W momencie gdy pływak górny natrafi na pierścień oporowy znajdujący się na przecie, dalszy wzrost poziomu ścieków spowodować będzie jego zatopienie, a tym samym wzrost wyporności całego układu. Rozwiązanie układu sprowadza się do rozwiązania zagadnienia hydrostatycznego, dla którego podstawowe siły działające w dwóch stanach równowagi, tj. w chwili otwarcia wlotu do przewodu podciśnieniowego oraz w trakcie opróżniania studzienki zbiorczej, przedstawione w postaci schematu na rysunku 2.

Rozwiązanie inż. Gackowskiego spełnia jednocześnie jeden z ważnych wymogów, decydujących o konkurencyjności kanalizacji podciśnieniowej, bowiem nie wymaga zastosowania układu automatyki ani też zasilania energią elektryczną do sterowania jego pracą.



Rys. 2 Schemat układu podstawowych sił działających w zaworze opróżniającym w stanach równowagi: a) w chwili otwierania wlotu do przewodu podciśnieniowego, b) w trakcie opróżniania studzienki zbiorczej

Sieć przewodów podciśnieniowych

Ten element kanalizacji podciśnieniowej stanowił we wszystkich dotychczasowych dyskusjach ogniwo systemu, wzbudzające najwięcej uwag i wątpliwości. W nim też upatrywano najbardziej zawodnego elementu układu, praktycznie eliminującego możliwość wdrożenia tego systemu kanalizacji w warunkach krajowych. Podstawowym argumentem była wątpliwość uzyskania szczelności w rozległych układach sieci przewodów. W instalacji w Darłowie zastosowano przewody z polichlorku winylu łączone za pomocą pierścieni gumowych. W układzie sieci przewodów zastosowano również zasuwy umożliwiające wyłączenie z pracy poszczególnych części układu. Pomimo że kanalizacja budowana była bez udziału przedsiębiorstw wyspecjalizowanych w wykonywaniu instalacji próżniowych, uzyskano wystarczającą szczelność układu. Ciekawym spostrzeżeniem może być zjawisko „samouszczelnienia się układu”, co objawiło się skracaniem czasu pracy pomp próżniowych w trakcie wpracowywania się układu. Można przypuszczać, że ze względu na fakt, iż sieć przewodów układana była w gruncie o wysokim zwierciadle wody gruntowej, niewielkie nieszczelności ulegały doszczelnieniu drobnymi frakcjami gruntu, zasysanymi do wnętrza układu. Wbrew pewnym obawom, nawet zasuwy (przy czym wątpliwości wzbudzały nie same połączenia z przewodami, ale ich trzpienie) nie stały się źródłem niekontrolowanego dopływu powietrza.

LITERATURA

1. J. DOLECKI: Podstawy projektowania układów kanalizacji podciśnieniowej oraz ocena ich ekonomicznej efektywności. Dysertacja, Politechnika Warszawska 1984 r.
2. L. KLEINROCK: Teoria obsługi masowej. Maszynostrojenie, Moskwa 1979 r.
3. G. P. KLIMOW: Procesy obsługi masowej. WNT, Warszawa 1979 r.

Pompy próżniowe

Produkowane w kraju pompy próżniowe doskonale nadają się do układów kanalizacji podciśnieniowej, zarówno co do ich wydajności jak i wielkości wytwarzanego podciśnienia.

Pompy ściekowe

Parametry produkowanych w kraju pomp ściekowych gwarantują uzyskanie żądanych warunków działania układów kanalizacji podciśnieniowej. Istotnym czynnikiem decydującym o przyjmowanym schemacie technologicznym stacji próżniowej są żądania zapewnienia odpowiednich warunków ciśnieniowych na króćcu ssawnym pompy. Do rozstrzygnięcia pozostaje problem, czy pompy ściekowe mogą efektywnie pracować w układzie, w którym na króćcu ssawnym panować będzie podciśnienie, a jednocześnie oś pompy usytuowana będzie poniżej zwierciadła ścieków. Decydującym przy tym, dla wysokościowego rozwiązania stacji próżniowej, będzie określenie wysokości minimalnego słupa ścieków na króćcu ssawnym przy danym podciśnieniu w zbiorniku próżniowym.

Zbiornik próżniowy

Stanowi on największy z elementów kubaturowych w układzie, w stosunku do którego stawiane są wymagania uzyskania szczelności w kontekście pracy w warunkach obniżonego ciśnienia. Warunek ten może zostać spełniony przez zastosowanie zbiorników stalowych (np. zbiorników stosowanych na stacjach paliw CPN po sprawdzeniu ich wytrzymałości na wielkość panującego podciśnienia) lub też zbiorników betonowych, jak to zostało zrobione w Darłowie. W przypadku powstania nieszczelności przy zastosowaniu zbiornika betonowego, możliwe jest wykorzystanie odpowiedniej technologii uszczelnienia z zastosowaniem żywicy epoksydowych.

Podsumowanie

Krajowe warunki techniczne oraz asortyment produkowanych urządzeń i elementów stanowiących wyposażenie kanalizacji podciśnieniowej, stwarza praktyczne możliwości stosowania w Polsce tego sposobu odprowadzania ścieków. W określonych warunkach lokalnych kanalizacja podciśnieniowa okazać się może rozwiązaniem nie tylko tańszym, ale i bardziej atrakcyjnym, eliminując niedogodności rozwiązań tradycyjnych.

4. R. M. STARK, R. L. NICHOLLS: Matematyczne podstawy projektowania inżynierskiego. PWN, Warszawa 1979 r.
5. J. DOLECKI: Zasady hydraulicznych obliczeń przewodów do transportu ścieków w układzie mieszaniny: ciecz-gaz. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1983 r. 9 s. 282—285.
6. J. DOLECKI: Analiza ekonomicznej efektywności układów kanalizacji podciśnieniowej. Ochrona Środowiska, Wyd. PZITS nr 434/3—4 (20—21), Wrocław, 1984.

J. Dolecki

PRINCIPLES OF DESIGN AND POSSIBLE APPLICATIONS OF VACUUM SEWERAGE

Vacuum sewerage is thought of as a competitive alternative of gravitational sewers. In this paper, some

general principles to the design of vacuum sewerage are discussed. These include calculation of flow, vacuum conduits, vacuum tanks, vacuum pumps, sewage pumps, and collecting wells. Possible applications of vacuum sewerage in Poland are considered.