

RÓŻA FRUZIŃSKA*, JAKUB KOSTECKI*

**KANALIZACJA BYTOWO-GOSPODARCZA
NA PRZYKŁADZIE MIEJSCOWOŚCI JEMIOŁÓW.
CZĘŚĆ II PRZEPOMPOWNIE ŚCIEKÓW**

Streszczenie

W artykule zaprezentowano warunki stosowania, obliczenia oraz dobór przepompowni ścieków na przykładzie koncepcji projektowej kanalizacji bytowo-gospodarczej dla miejscowości Jemiołów.

Słowa kluczowe: kanalizacja bytowo-gospodarcza, przepompownie ścieków

WPROWADZENIE

Kanalizacja ciśnieniowa to systemy niekonwencjonalnej, nad którymi prace trwają od połowy lat 70 XX wieku [Chudzicki i Sosnowski 2009, Bień i Cholewińska 2002]. Początkowo w systemach kanalizacyjnych stosowane były pompy tłokowe z napędem parowym, ok. 1990 r. zaczęto stosować pompy z napędem gazowym, wykorzystywano w nich gaz świetlny lub fermentacyjny. Pompy napędzane prądem elektrycznym zaczęto stosować w przepompowniach w latach 20 i 30 XX wieku [Suligowski 2006].

Konieczność pompowania ścieków jest zależna nie tylko od wielkości miejscowości, ale przede wszystkim od charakteru jej zabudowy, pełnionych funkcji, ukształtowania terenu, na którym jest położona, struktury sieci i usytuowania oczyszczalni ścieków. W wielu przypadkach te same ścieki są wielokrotnie przepompowywane przez kolejne przepompownie znajdujące się wzdłuż drogi spływu ścieków. Z powodu tych uwarunkowań ilość ścieków przepompowywanych może być różna w miejscowościach o podobnej wielkości. Znajomość ilości ścieków wpływa nie tylko na typ i wydajność projektowanej przepompowni, ale także na koszty eksploatacyjne [Dymaczewski i Sozański 2002].

Współcześnie popularne są bezobsługowe przepompownie o małych gabarytach z pompami zatapialnymi. Pompy te mogą rozdrabniać skratki, przepom-

* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów

powywać zanieczyszczenia długowłókniste lub poprzez odpowiednie oprogramowanie mieszać ścieki przed ich przepompowaniem, zapobiega to tworzeniu się na gromadzonych ściekach kożucha [Suligowski 2006, Flygt 2012].

Konieczność pompowania ścieków wynika ze znacznego zagłębienia kanałów przy niesprzyjającym spadku terenu lub występowania innych przeszkód.

Celem pracy było przedstawienie warunków stosowania, metody obliczeń oraz doboru pośredniej przepompowni ścieków na przykładzie koncepcyjnego rozwiązania kanalizacji bytowo-gospodarczej dla miejscowości Jemiołów.

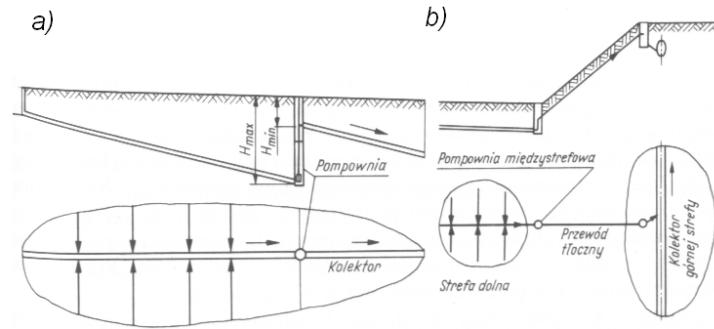
WARUNKI STOSOWANIA

W systemie kanalizacji ciśnieniowej przepływ ścieków spowodowany jest wytworzeniem różnicy ciśnień przez odpowiednio dobrane pompy [Chudzicki i Sosnowski 2009].

W grawitacyjnych sieciach kanalizacyjnych zastosowanie pompowni należy rozpatrywać, gdy [Chudzicki i Sosnowski 2009, Szpindor 1998]:

- zachowanie minimalnych spadków kanałów prowadzi do nadmiernego zagłębienia kanałów (pompownia pośrednia),
- obszar objęty projektem kanalizacji charakteryzuje się zróżnicowanymi wysokościami - skutkuje to zaprojektowaniem odrębnych układów sieci grawitacyjnej (przy jednej oczyszczalni ścieków) lub wspólnym zbieraczu dla tych stref (pompownia strefowa),
- na obszarze objętym projektem kanalizacji występują na wysokim poziomie wody gruntowe lub warunki gruntowe nie sprzyjają układaniu sieci grawitacyjnej,
- sieć projektowana jest do okresowego odprowadzania ścieków (np. z ośrodków czasowych lub innych obiektów użytkowanych sezonowo).

Na rysunku 1 przedstawiono zasady stosowania pompowni w dwóch przypadkach: nadmiernym zagłębieniu sieci oraz przy projektowaniu strefowego systemu kanalizacyjnego.



Rys. 1. Zasady stosowania pompowni: a) pośredniej na kolektorze, b) strefowej [Szpindor 1998]

Fig. 1. Principles of pumping stations: a) the intermediate at the collector, b) zone

W rozpatrywanym przypadku konieczność zastosowania pompowni ścieków wynika z nadmiernego zagłębienia kanałów oraz potrzeby pokonania pewnej odległości pomiędzy grupami zabudowań.

OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW CIŚNIENIOWYCH

Podstawowym parametrem przewodów ciśnieniowych jest wysokość podnoszenia h_c , na którą składa się geometryczna wysokość podnoszenia oraz wysokość strat ciśnienia w przewodzie tłocznym.

$$h_c = h_{st} + h_s$$

gdzie:

h_c - wysokość podnoszenia pompowni [m],

h_{st} - geometryczna wysokość podnoszenia [m],

h_s - wysokość strat ciśnienia w przewodzie tłocznym [m].

Aby właściwie dobrać pompownię należy wyznaczyć geometryczną wysokość podnoszenia h_{st} , która jest stratą ciśnienia - sumą strat ciśnienia wywołanych tarciem h_t i strat ciśnienia wywołanych oporami miejscowymi h_m .

$$h_s = h_t + h_m$$

Straty ciśnienia w przewodach kanalizacyjnych oblicza się w oparciu o normę PN-EN 12056-4:2002 z uproszczonym założeniem wartości lepkości kinematycznej. Przyjmuje się wartość lepkości kinematycznej jak dla wody czystej

o temp. 10°C przy całkowitym wypełnieniu przekroju poprzecznego rurociągu. Straty ciśnienia opisane są wzorem:

$$h_s = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} [m]$$

gdzie:

λ - współczynnik strat liniowych (tarcia) obliczany przy pomocy wzoru Colebrook-White'a, zależny od liczby Reynoldsa i chropowatości przewodu [-],

d - wewnętrzna średnica przewodu [m],

g - przyspieszenie ziemskie [$m \cdot s^{-2}$],

l - długość przewodu [m],

v - prędkość przepływu ścieków [$m \cdot s^{-1}$],

ζ - współczynnik strat miejscowych w przewodzie [-].

Współczynniki strat miejscowych są wartościami charakterystycznymi dla wszystkich zaworów i kształtek. Przy obliczaniu strat miejscowych należy uwzględnić zawory i kształtki przewodu odpływowego aż do lewara przepływu zwrotnego [PN-EN 12056-4:2002]. W Tab. 1 przedstawiono zestawienie współczynników oporów miejscowych ζ zaworów i kształtek [PN-EN 12056-4: 2002].

Tab. 1. Współczynniki oporów miejscowych zaworów i kształtek [PN-EN 12056-4: 2002]

Tab. 1 Local resistance factors of valves and profiles

Typ oporu miejscowego	Współczynnik oporu miejscowego ζ
Zawór odcinający*	0,5
Zawór zwrotny	2,2
Kolano 90°	0,5
Kolano 45°	0,3
Swobodny wypływ	1,0
Trójnik 45° na wylocie przepływu	0,3
Trójnik 90° na wylocie przepływu	0,5
Trójnik 45° na odgałęzieniu przepływu	0,6
Trójnik 90° na odgałęzieniu przepływu	1,0
Trójnik 90° przy przepływie przeciwnym	1,3
Zwiększenie średnicy	0,3

* należy kierować się wymaganiami technicznymi ustalonymi przez producenta

Współczynnik strat liniowych określający opór tarcia przepływających ścieków o ściany przewodu powinien być obliczany przy wykorzystaniu wzoru Colebrooka-White'a:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71} \right)$$

gdzie:

λ - współczynnik strat liniowych (tarcia) [-],

D - wewnętrzna średnica przewodu [m],

L - długość przewodu [m],

g - przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

Re - liczba Reynoldsa [-],

ε - chropowatość względna wewnętrznych ścianek przewodu [-].

Liczbę Reynoldsa wykorzystywaną do obliczania współczynnika strat liniowych oblicza się na podstawie wzoru:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

gdzie:

v - prędkość przepływu ścieków [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

D - wewnętrzna średnica przewodu [m],

ν - kinematyczny współczynnik lepkości [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

Natomiast chropowatość względną wewnętrznych ścian przewodu oblicza się ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{k}{D}$$

gdzie:

k - chropowatość bezwzględna [m],

D - wewnętrzna średnica przewodu [m].

Z uwagi na zawikłaną postać wzoru Colebrooka-White'a do obliczenia pierwszego przybliżenia λ można wykorzystać wzór Waldena:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{6,1}{\text{Re}^{0,915}} + 0,268 \cdot \varepsilon \right)$$

Podczas doboru średnicy przewodu ciśnieniowego należy uwzględnić minimalną prędkość przepływu wynoszącą $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zachowanie minimalnej prędkości przepływu zapobiega osadzaniu się części stałych i związanemu z tym zmniejszaniu wewnętrznej średnicy przewodu. Pompownie wyposażone

w pompy zatapialne powinny przynajmniej raz na dobę zapewnić osiągnięcie minimalnej prędkości przepływu ścieków. W przypadku zalegania ścieków, także w zagłębieniach przewodów, mogą zachodzić w nich niekorzystne procesy beztlenowe. Aby uniknąć tego zjawiska powinno się zaprojektować dodatkowe przedmuchiwanie rurociągów sprężonym powietrzem. W przypadkach, gdy ścieki mają być pompowane na większe odległości warto rozważyć zastosowanie tłoczni ścieków, która zapewnia odpowiednie napowietrzenie ścieków [Hydro-Vacuum 2012].

Minimalną prędkość przepływu oblicza się ze wzoru:

$$Q_{\min} = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-3} \cdot d_i^2$$

gdzie:

Q_{\min} - minimalna wielkość przepływu [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]

v - minimalna prędkość przepływu w przewodzie odpływowym = $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

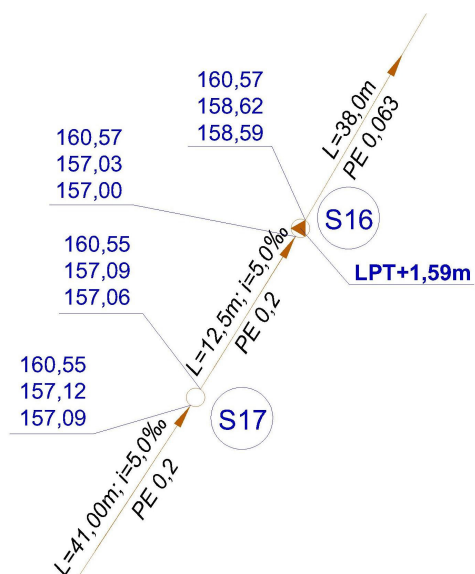
d_i - wewnętrzna średnica przewodu odpływowego [mm].

Z doбором rodzaju pomp wiąże się minimalna średnica, jaką należy zastosować do tłoczenia ścieków. Według PN-EN 12056-4:2002 minimalne średnice przewodów tłocznych w przepompowni ścieków fekalnych bez urządzeń rozdrabniających powinna wynosić 80 mm, natomiast z urządzeniami rozdrabniającymi 32 mm.

DOBÓR PRZEPOMPOWNI ŚCIEKÓW

Przepompownie ścieków dobiera się na podstawie obliczeń całkowitego dopływu ścieków bytowo-gospodarczych oraz znajomości całkowitej wysokości podnoszenia ścieków.

Na Rys. 1 przedstawiono schemat sieci kanalizacyjnej z lokalizacją projektowanej przepompowni ścieków.



Rys. 1. Schemat sieci kanalizacyjnej
 Fig. 1 Sewerage system scheme

W Tab. 2 zawarto podstawowe dane niezbędne do wykonania obliczeń i doboru przepompowni ścieków.

Tab. 2. Podstawowe dane wykorzystywane w trakcie obliczeń i doboru przepompowni ścieków

Tab. 2. The basic data used in the calculation and selection of sewage pumping station

Parametr	Rodzaj / parametr
Rodzaj ścieków	bytowo-gospodarcze
Maksymalny dopływ ścieków	$4,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$
Średnica rurociągu doprowadzającego ścieki	0,2 m
Rzędna dna rurociągu doprowadzającego ścieki	157,00 m n.p.m.
Rzędna terenu posadowienia pompowni	160,57 m n.p.m.
Poziom wód gruntowych	156,37 m n.p.m.
Rodzaj gruntu	piaski luźne
Długość rurociągu tłocznego	38 m
Rzędna włączenia rurociągu tłocznego do odbiornika (studni rozprężnej)	158,40 m n.p.m.

W toku obliczeń i poboru przepompowni wyznacza się:

- obliczeniową wydajność przepompowni,
 - średnice przewodów tłocznych,
 - wymaganą wysokość podnoszenia (jako sumę geometrycznej wysokości podnoszenia, strat lokalnych i strat na długości),
- W poniżej przedstawiono wyniki obliczeń doboru przepompowni ścieków do opracowanego projektu koncepcyjnego kanalizacji bytowo-gospodarczej [Ecol-Unicon 2012].

- Wydajność pompowni obliczono w oparciu o wzór:
 $Q_D = 1,1 \cdot 4,5 = 4,95 [l \cdot s^{-1}] = 17,8 [m^3 \cdot h^{-1}]$ (zwiększenie ilości ścieków o 10% pozwala wykluczyć przepełnienie pompowni oraz zapewnienie samoczyszczania).

- Wyznaczenie średnic przewodów tłocznych: dla $Q_D = 4,95 [l \cdot s^{-1}]$ dokonano na podstawie nomogramu [KWH Pipe Poland 2002]. Dobrano przewód PE 63 SDR 13,6 (63x4,7), prędkość przepływu $v = 2,0 [m \cdot s^{-1}]$.

$$h_{st} = h_{g \max} - h_{\min} = 1,9m$$

$$h_m = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,02 \cdot \frac{2,0^2}{2 \cdot 9,81} = 0,21 [m]$$

- Straty miejscowe

$$h_l = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{0,0269 \cdot 38,0}{0,0536} \cdot \frac{2,0^2}{2 \cdot 9,81} = 3,9 [m] \text{ [Książczyński i in. 2002]}$$

- Całkowita wysokość podnoszenia: $h_c = 1,9 + 0,21 + 3,9 = 6,01 [m]$

Kolejnymi krokami prowadzącymi do doboru pompowni są:

- dobór średnicy zbiornika pompowni na podstawie jej wydajności,
- wyznaczenie objętości retencyjnej pompowni na podstawie wydajności pompowni i liczby włączeń pompy na godzinę,
- wyznaczenie wysokości retencyjnej (głębokości pompowni od poziomu rury wlotowej) na podstawie objętości retencyjnej oraz powierzchni poziomego przekroju zbiornika pompowni,
- wyznaczenie wysokości korpusu z uwzględnieniem wielkości typowych kręgów betonowych,
- dobór pomp na podstawie wydajności oraz wysokości podnoszenia z wykorzystaniem kart katalogowych pomp wybranego producenta.

PODSUMOWANIE

Stosowanie nowoczesnych przepompowni ścieków jest działaniem korzystnym, wpływającym pozytywnie na zmniejszenie kosztów budowy sieci kanalizacyjnej. Dotyczy to zarówno zmniejszania kosztów robót ziemnych w wynikających z konieczności nadmiernego zagłębienia sieci a także z możliwości tworzenia sieci rozproszonych (uniknięcie budowy sieci grawitacyjnych).

Autorzy są stypendystami w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa



LITERATURA

1. Bień J.B., Cholewińska M.: *Systemy kanalizacji podciśnieniowej i ciśnieniowej*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej 2001
2. Chudzicki J., Sosnowki S.: *Instalacje kanalizacyjne. Projektowanie, wykonanie, eksploatacja*. Wyd. „Seidel i Przywecki” sp. z o.o. 2009
3. Ecol-Unicon Sp. z o.o. *materiały i katalogi produktów*, www.ecol-unicon.com.pl, sierpień 2012
4. *Flygt katalogi produktów*: www.flygt.com, lipiec 2012
5. Książczyński K.W., Jeż P., Gręplowska Z.: *Tablice do obliczeń hydraulicznych*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002
6. KWH Pipe Poland Sp. z o.o.: *Systemy ciśnieniowe. Właściwości, projektowanie, montaż*. Wehopipe, 04/2008
7. PN-EN 12056-4:2002 *Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków - Część 4: Pompownie ścieków - Projektowanie układu i obliczenia*
8. Hydro-Vacuum: *Pompy do cieczy zanieczyszczonych i ścieków typu FZ, Przepompownie ścieków typu PS, Tłocznie ścieków*. Katalog produktów 1/2012
9. Suligowski Z.: *Infrastruktura kanalizacyjna w gospodarce komunalnej*. Wyd. Politechniki Gdańskiej 2006, pp. 283-291

10. Szpindor A.: *Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi*. Wyd. Arkady 1998, pp.353-356
11. *Wodociągi i kanalizacja w Polsce, tradycja i współczesność*. Red. Dymaczewski Z., Sozański M.M., Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych 2002, pp. 513-516

**DOMESTIC SEWAGE SYSTEM IN THE EXAMPLE
OF JEMIOŁÓW VILLAGE.
PART II: SEWAGE PUMPING STATION**

S u m m a r y

In the paper have been described conditions of use, calculation and selection of the sewage pumping station on the example of sewage system for the Jemiołów village.

Key words: domestic sewage system, sewage pumping station