

Ireneusz NOWOGOŃSKI\*

## METODY PROJEKTOWANIA I OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH SIECI KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono przykłady wytycznych projektowania i obliczeń hydraulicznych sieci kanalizacji podciśnieniowej. Przedstawione wytyczne mogą być stosowane zarówno jako podstawa opracowania projektów koncepcyjnych i technicznych oraz jako materiał umożliwiający opracowanie ogólnych wytycznych projektowania czy programów komputerowych pozwalających na teoretyczne modelowanie pracy sieci podciśnieniowej.*

### 1. WSTĘP

W ostatnim okresie daje się zauważyć znaczny wzrost zainteresowania niekonwencjonalnymi sposobami odprowadzania ścieków, takimi jak kanalizacje ciśnieniowe i podciśnieniowe. Związane jest to z możliwością ograniczenia kosztów inwestycyjnych kanalizacji w szczególnie trudnym terenie, gdzie kłopotliwe jest wykonanie rozwiązań tradycyjnych. Wybór rozwiązania musi być w każdym przypadku uzależniony od analizy efektywności pracy kanalizacji. Rozwiązania niekonwencjonalne powinny stosować się tam, gdzie zainstalowanie sieci grawitacyjnej byłoby zbyt kosztowne.

Przeprowadzenie wstępnej kalkulacji kosztów budowy i eksploatacji sieci podciśnieniowej oraz określenie parametrów pracy sieci wymaga zastosowania specjalizowanych metod obliczeń. Do niedawna metody te nie były powszechnie dostępne. W ostatnich latach coraz częściej firmy zajmujące się projektowaniem i produkcją elementów sieci podciśnieniowych publikują materiały pomocnicze z wytycznymi projektowania i obliczeń hydraulicznych takich sieci.

Zjawisko to jest o tyle korzystne, że umożliwia szerszemu gronu projektantów projektowanie tego typu instalacji. Może to spowodować zmniejszenie nieufności inwestorów w stosunku do tego niewątpliwie ciekawego rozwiązania, oraz coraz szersze jego stosowanie.

\* mgr inż. Ireneusz Nowogoński – Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych, Politechnika Zielonogórska

Do niniejszego opracowania wybrano trzy metody: jedną zachodniej firmy "Airvac" oraz dwie metody polskie. Ich przydatność leży w tym, że wszystkie posiadają praktyczne realizacje w Polsce.

## 2. OBLICZANIE KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ WG "AIRVAC"

### 2.1. Dobór i obliczenia rurociągów

Rurociągi dobiera się na podstawie maksymalnego dopuszczalnego przepływu  $Q_{d\max}$ , który wylicza się wg wzoru:

$$Q_{d\max} = N_d \cdot Q_{dśr} \quad (1)$$

gdzie:

- $Q_{d\max}$  - przepływ maksymalny dobowy w sieci,  $m^3/d$ ,
- $N_d$  - współczynnik nierównomierności dobowej,
- $Q_{dśr}$  - przepływ średni dobowy w sieci,  $m^3/d$ ,

Straty w sieci wyliczane są na podstawie wzoru Hazena-Williamsa [J. Bień, 1995]:

$$f = 2,75 \cdot 0,2083 \cdot \left[ \frac{100}{C} \right]^{1,85} \cdot \frac{Q_{dśr}^{1,85}}{D^{4,8655}} \quad (2)$$

gdzie:

- $C$  - współczynnik przyjmowany w zależności od materiału, dla PVC,  $C=150$ ,
- $Q_{dśr}$  - przepływ średni dobowy w sieci,  $m^3/d$ ,
- $D$  - średnica rury, m.

Jednostkowe liniowe straty ciśnienia wyliczone dla przewodów ze spadkiem 0,2-2 % z powyższego wzoru można też odczytać z katalogów, zawartych w materiałach pomocniczych firmy.

### 2.2. Dobór pomp próżniowych:

Wydajność pomp próżniowych  $Q_{vp}$  wytwarzających podciśnienie dla całego systemu można obliczyć wg wzoru:

$$Q_{vp} = \frac{A \cdot Q_{d\max}}{7,5} \quad (3)$$

gdzie:

- $Q_{vp}$  - wydajność pomp próżniowych,  $m^3/d$ ,
- $A$  - współczynnik zależny od długości głównego kolektora [];
- $Q_{d\max}$  - przepływ maksymalny dobowy,  $m^3/d$ .

### 2.3. Dobór pomp ściekowych:

Przyjmuje się że wydajność pomp ściekowych  $Q_{dp}$  równa jest maksymalnemu przepływowi w sieci:

$$Q_{dp} = Q_{dmax} \quad (4)$$

### 2.4. Obliczanie próżniowego zbiornika ściekowego:

Objętość czynna  $V_0$  zbiornika jest to ilość ścieków niezbędna do ponownego uruchomienia pomp wypompowujących ścieki. Zwykle określa się ją w taki sposób, aby przy minimalnym przepływie pompa włączała się raz na 15 minut:

$$V_0 = \frac{900 \cdot Q_{dmin}}{Q_{dp}} (Q_{dp} - Q_{dmin}) \quad (5)$$

gdzie:

- $V_0$  - pojemność użytkowa zbiornika ściekowego,  $m^3$ ,
- $Q_{dmin}$  - przepływ minimalny dobowy,  $m^3/d$ ,  $Q_{dmin} = Q_{dśr}/2$ ,
- $Q_{dp}$  - wydajność pompy ściekowej,  $m^3/d$ .

Całkowita objętość zbiornika powinna być trzykrotnie większa od  $V_0$ , ale nie mniejsza niż  $1,50 m^3$ .

### 2.5. Dobór próżniowego zbiornika zapasowego:

Dla próżniowego zbiornika zapasowego przyjmuje się pojemność  $V_{pz} = 1,50 m^3$ .

### 2.6. Czas pracy pomp próżniowych

Czas pracy pomp próżniowych oblicza się wg wzoru:

$$t = \frac{2,3 \cdot V}{S} \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad (6)$$

gdzie:

- $V$  - objętość ścieków,  $m^3$ ,
- $S$  - przeciętna wydajność pompy,  $m^3/s$ ,
- $P_1$  - ciśnienie początkowe, hPa,
- $P_2$  - ciśnienie końcowe, hPa.

### 3. OBLICZENIA HYDRAULICZNE KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ METODĄ DOLECKIEGO

#### 3.1 Określenie natężenia przepływu ścieków

Objętościowe natężenie przepływu obliczeniowego należy wyznaczyć na podstawie następującego postępowania:

- a) dla każdego odcinka sieci przewodów podciśnieniowych, do którego bezpośrednio jest przyłączona studzienka zbiorcza należy wyznaczyć intensywność strumienia zgłoszeń wg wzoru:

$$\lambda_i = \frac{q_z^2}{21,1 * V_{ui}} \quad (7)$$

gdzie:

$\lambda_i$  - intensywność strumienia zgłoszeń pochodzącego od i-tej studzienki zbiorczej,  $\text{min}^{-1}$ ;

$q_z$  - wydajność zaworu opróżniającego,  $\text{dm}^3/\text{min}$ ;

$V_{ui}$  - pojemność użytkowa i-tej studzienki zbiorczej,  $\text{dm}^3$ ;

- b) dla każdej studzienki zbiorczej należy wyznaczyć czas opróżniania pojemności użytkowej na podstawie zależności:

$$t_{oi} = \frac{V_{ui}}{Q_i - q_z} \quad (8)$$

gdzie:

$t_{oi}$  - czas opróżniania i-tej studzienki zbiorczej, min;

$Q_i$  - maksymalne natężenie spływu ścieków do studzienki zbiorczej,  $\text{dm}^3/\text{min}$ ;

$q_z$  - wydajność zaworu opróżniającego,  $\text{dm}^3/\text{min}$ ;

- c) dla każdego odcinka sieci przewodów podciśnieniowych należy wyznaczyć iloczyn  $\lambda_i t_{oi}$ ; w wypadku odcinka, w którego górnym węźle przyłączonych jest więcej niż jeden przewód podciśnieniowy, intensywność strumienia obliczyć jako sumę intensywności strumieni w łączących się przewodach, tzn.

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (9)$$

natomiast czas opróżniania - jako średni czas opróżniania w studzienkach zbiorczych przyłączonych do układu powyżej górnego węzła danego odcinka;

- d) dla każdego odcinka sieci przewodów podciśnieniowych należy znaleźć maksymalną wartość prawdopodobieństwa ze zbioru {pkt} którego k elementów wyznaczonych jest wg wzoru:

$$pk(t_o) = \frac{(\lambda t_o)^k}{k!} \exp(-\lambda t_o); \quad k_i = p, k, \dots, m \quad (10)$$

gdzie:

- m - liczba studzienek przyłączonych do układu powyżej górnego węzła analizowanego odcinka;
- e) dla każdego odcinka sieci przewodów podciśnieniowych obliczyć objętościowe natężenie przepływu obliczeniowego:

$$Q_{ob.} = k g_z \quad (11)$$

gdzie:

$Q_{ob.}$  - objętościowe natężenie przepływu obliczeniowego,  $dm^3/s$ ;

k - liczba dla której prawdopodobieństwo  $pk(t_0)$  wyznaczone w punkcie 4 osiąga wartość maksymalną;

Przy braku charakterystyki zaworu opróżniającego, na podstawie której możliwe byłoby przyjęcie do obliczeń wydajności zaworu ( $q_z$ ), należy tę wartość określić orientacyjnie jako:

$$Q_z = (1,3 - 1,5) Q_i \quad (12)$$

Ustalenie odcinkowych przepływów objętościowych powietrza przy zastosowaniu zaworów nie dopuszczających do wprowadzenia wraz ze ściekami kontrolowanych ilości powietrza, ustala się przyjmując stosunek objętości ( $m^3$ ) cieczy do gazu równy 0,1.

### 3.2. Dobór średnic przewodów

Doboru średnic przewodów podciśnieniowych dokonuje się na podstawie objętościowego natężenia przepływu obliczeniowego, przy czym zaleca się stosować następujące ograniczenia:

TABELA 1

Średnica przewodu [m]	Zakres natężeń przepływów ( $dm^3/s$ )
0,110	$Q \leq 4,5$
0,160	$4,5 < Q \leq 15,0$
0,225	$15,0 < Q \leq 31,0$
0,280	$31,0 < Q$

### 3.3. Obliczenie strat ciśnienia

Ustalenie oporów hydraulicznych na poszczególnych odcinkach obliczeniowych dla rurociągów z zaworami opróżniającymi, nie dopuszczających do wprowadzania wraz ze ściekami powietrza, należy przeprowadzić jak dla przepływów jednofazowych, a dla rurociągów z zaworami opróżniającymi o konstrukcji zapewniającej wprowadzenie do rurociągów określonych ilości powietrza jak dla przepływów dwufazowych.

Opory hydrauliczne trasy przewodu są sumą oporów odcinkowych i miejscowych. Jako miejscowe przyjmowane są tylko opory występujące na syfonach profilu przewodu. Ich wielkość odpowiada długości zastępczej 10 m (1 syfon).

Całkowite straty ciśnienia oblicza się sumując opory hydrauliczne trasy przewodu, całkowite podciśnienie statyczne trasy przewodu oraz wymagane podciśnienie przy zaworze.

#### 4. OBLICZENIA HYDRAULICZNE KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ METODĄ OLSZEWSKIEGO

##### 4.1. Ustalenie odcinkowych przepływów objętościowych ścieków

Przepływ ścieków na danym odcinku przewodu ustala się na podstawie danych wyjściowych z liczby mieszkań ciężących do danego odcinka, zgodnie ze wzorem:

$$Q_{L(i)} = \frac{qnmN_d N_h}{86400} \quad (13)$$

gdzie:

- $Q_{L(i)}$  - przepływ odcinkowy na odcinku i,  $\text{dm}^3/\text{s}$ ;
- q - jednostkowa ilość ścieków przypadająca na jednego mieszkańca,  $\text{dm}^3/\text{Md}$
- n - liczba mieszkań ciężących do danego odcinka;
- m - liczba mieszkańców w mieszkaniu;
- $N_d, N_h$  - współczynniki nierównomierności dobowej i godzinowej.

##### 4.2. Zaprojektowanie trasy przewodu

- a) Przewód należy prowadzić w przybliżeniu równolegle do terenu z zachowaniem profilu pilastego; wysokość zamknięć wodnych  $H_{zw}$  w m ustala się wg zależności

$$H_{zw} = hg - D \quad (14)$$

gdzie:

- hg - różnica rzędnych między osiami przewodu na początku i na końcu odcinka wznoszącego, m;
  - D - średnica przewodu, m;
- b) profil wysokościowy dzielony jest na odcinki o długości nie przekraczających 75 m - jest to odległość między rewizjami w najniższych punktach sieci; odcinek ten dzieli się (idąc zgodnie z kierunkiem przepływu) na część wznoszącą o długości  $L_w \leq 50$  m i opadającą  $L_o \leq 25$  m ( $L_w / L_o \cong c$ ).

##### 4.3. Dobór średnic przewodów

Średnice dobiera się dla warunku  $V \geq 0,4$  m/s. Minimalna średnica wynosi 100 mm. Za odcinek obliczeniowy przyjmujemy odcinek pomiędzy kolejnymi załamaniem profilu przewodu.

##### 4.4. Ustalenie oporów hydraulicznych

Opory hydrauliczne oblicza się ze zmodyfikowanego wzoru Szewielewa

$$h_i = C \cdot 0,001052 \cdot L_i \cdot D_w^{-4,774} \cdot Q_L^{1,774} \quad (15)$$

gdzie:

- $h_i$  - strata liniowa na i-tym odcinku przewodu, m;
- $L_i$  - długość i-tego odcinka, m;
- $D_w$  - wewnętrzna średnica i-tego odcinka, m;
- $Q_L$  - natężenie przepływu przez i-ty odcinek, m<sup>3</sup>/s;
- $C$  - współczynnik charakteryzujący rzeczywiste warunki przepływu.

#### 4.5. Obliczenie ciśnienia dyspozycyjnego

Ciśnienie dyspozycyjne powinno zapewnić pokrycie całkowitych strat ciśnienia oraz geometrycznej wysokości pomiędzy zwierciadłem ścieków w najkorzystniej położonym punkcie (najdalej i najniżej) a głowicą lewara, powiększonej o niezbędny zapas podciśnienia:

$$H_D = H_g + H_{sr} + 0,5 \quad (16)$$

#### 4.6. Całkowite podciśnienie statyczne trasy przewodu (tzw. kryterium rozruchowe)

Całkowite podciśnienie statyczne trasy przewodu jest to maksymalna wartość z sum zamknięć wodnych na poszczególnych trasach z uwzględnieniem wysokości podciśnienia ssania w najdalszym punkcie trasy:

$$H_{kr} = G_{gf} + \sum_{i=1}^n H_{zw} \quad (17)$$

gdzie:

- $H_{gi}$  - wysokości podciśnienia ssania w najdalszym punkcie trasy,
- $H_{zw}$  - wysokość zamknięcia wodnego.

#### 4.7. Dobór pomp ściekowych w stacji próżniowo-tłocznej

$$(Q_h)_{maks} = \sum_{i=1}^n Q_{L(i)} \quad (18)$$

Pompy dobiera się na maksymalne godzinowe natężenie wypływu, ustalone na podstawie bilansu ścieków (suma przepływów obliczonych)

Wysokość podnoszenia pomp ściekowych ustalana jest ze wzorów

$$H_p = H_{gp} + \Sigma H_{sr} \quad (19)$$

$$H_{gp} = Z_t - Z_s \quad (20)$$

gdzie:

- $H_p$  - wysokość podnoszenia pomp, m;
- $H_{gp}$  - geometryczna wysokość podnoszenia, m;

- $Z_t$  - rzędna wylotu ścieków z przewodu tłocznego lub najwyższego punktu profilu przewodu tłocznego  
 $Z_s$  - rzędna wyłączenia pomp ściekowych (min. zwierciadła ścieków w studni zbiorczej);  
 $\Sigma H_{sr}$  - wysokość całkowitych oporów hydraulicznych przewodów pomp, m;

#### 4.8. Dobór pomp próżniowych w stacji próżniowo-tłocznej

Wydajność pomp próżniowych wyznaczana jest ze wzoru:

$$Q_{pp} = \frac{V_p}{t_p} \ln \frac{p_a}{p} \quad (21)$$

gdzie:

- $Q_{pp}$  - wydajność pomp próżniowych, m<sup>3</sup>/min;  
 $V_p$  - połowa sumarycznej objętości przewodów, w których należy wytworzyć podciśnienie, m<sup>3</sup>;  
 $t_p$  - założony czas, po którym w systemie powinno być wytworzone wymagane ciśnienie, min, przyjęto  $t_p = 15$  minut;  
 $p_a$  - ciśnienie atmosferyczne;  
 $p$  - wymagane ciśnienie w systemie;

#### 4.9. Ustalenie objętości czynnej zbiornika próżniowego

$$V_{zp} = \frac{Q_p T}{4} 10^{-3} \quad (22)$$

gdzie:

- $V_{zp}$  - objętość czynna zbiornika próżniowego, m<sup>3</sup>;  
 $Q_p$  - wydajność dobranej pompy przy ciśnieniu roboczym, dm<sup>3</sup>/s;  
 $T$  - cykl pracy w s,  $T = 3600/n$ ; przy  $n=6$   $T=600$ s;

#### 4.10. Ustalenie objętości czynnej zbiornika ściekowego

Objętość zbiornika ściekowego oblicza się przy założeniu, że wydajność pomp ściekowych  $Q_{psc} \geq (Q_h)_{maks}$ , oraz liczba włączeń pompy wynosi  $n = 4-8$  /h

$$V_{zsc} = \frac{Q_p T}{4} \cdot 10^{-3} \quad (23)$$

gdzie:

- $V_{zsc}$  - objętość zbiornika ściekowego, m<sup>3</sup>;  
 $Q_p$  - wydajność dobranej pompy ściekowej, dm<sup>3</sup>/s; przy zwiększonej liczbie pomp roboczych jest to wydajność pojedynczej (największej) pompy;  
 $T$  - cykl pracy w s;  
 $N$  - liczba włączeń na godzinę.



#### 4.11. Sprawdzenie możliwości samozalewarowania

Sieć podciśnieniowa powinna być rozwiązana wysokościowo tak, by rzędna najwyższego punktu profilu przewodu podciśnieniowego nie była wyższa od rzędnych terenu w komorach zbiorczych (KZ) i w studzienkach kanalizacyjnych lokalnych układów grawitacyjnych wokół KZ. Zaleca się, by sieć przewodów podciśnieniowych była usytuowana poniżej otwartych wlotów kanalizacyjnych, w tym zwłaszcza najniżej położonych przyborów sanitarnych w piwnicach budynków. Rozwiązanie takie umożliwia samozalewarowanie sieci podciśnieniowej przy chwilowym podpiętrzeniu ścieków w grawitacyjnej części systemu - bez zagrożenia podtopienia budynku i terenu.

### 5. PODSUMOWANIE

Jak widać na załączonych przykładach metody projektowania sieci kanalizacji podciśnieniowej są bardzo zróżnicowane, zarówno pod względem ich skomplikowania, jak i przyjmowanych założeń. Największe różnice występują między metodami praktycznymi, proponowanymi przez producentów elementów sieci podciśnieniowych, a opracowaniami typowo naukowymi. W wyniku jednym z największych problemów jest dopasowanie zastosowanej metody do wymaganej w konkretnej sytuacji dokładności obliczeń. Głównym elementem odróżniającym wszystkie te metody jest sposób wyznaczania strat hydraulicznych. Rozwiązaniem może tu być niestety tylko zweryfikowanie otrzymanych wyników w porównaniu do parametrów sieci istniejącej. Koniecznym wydaje się opracowanie ogólnych wytycznych projektowania sieci kanalizacji podciśnieniowej, na wzór niemieckich norm ATV, jasno określających wielkości podstawowe oraz ogólny zakres przedsięwzięć wspomagających oraz instalacji występujących w szczególnych przypadkach. Pozwoliłoby to uniknąć zarówno nadużyć, związanych z zastosowaniem zbędnych dodatków przez projektantów, oraz nadmiernego upraszczania instalacji powodujących obniżenie kosztów, ale uniemożliwiającego właściwe działanie instalacji w sytuacjach krytycznych, czy powodujących jej szybkie zużycie.

### 6. LITERATURA

- [1] BIEN J., Cholewińska M.: *Kanalizacja podciśnieniowa i ciśnieniowa* Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995
- [2] OLSZEWSKI W., Osuch-Pajdzińska E.: *Analiza porównawcza systemów kanalizacji podciśnieniowej* GWiTS nr 8, 1995.
- [3] WIERZBICKI K.: *Kanalizacja ciśnieniowa i podciśnieniowa* Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa 1997