

Marek Sowiński

WYZNACZANIE MINIMALNYCH SPADKÓW KANALÓW OGÓLNOŚPŁAWNYCH

Zagadnienie wyznaczania minimalnych dopuszczalnych spadków kanałów jest zagadnieniem podstawowym przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych, gdyż ma wpływ na jej zagłębienie, a w związku z tym i na koszty. Te ostatnie stanowią kryterium powszechnie przyjmowane w optymalizacji układu wysokościowego sieci. Wynika stąd, że minimalne dopuszczalne spadki kanałów mają istotny wpływ (zwłaszcza w płaskim terenie) na wybór rozwiązań optymalnych. Tymczasem w krajowej literaturze można znaleźć sprzeczne informacje odnośnie ich wyznaczania. Ponadto wykonywanie obliczeń w oparciu o istniejące zasady napotyka na znaczne trudności, gdyż wymaga stosowania metod kolejnych przybliżeń. W niniejszej pracy rozważania ograniczono do sieci kanalizacji ogólnospławnej, gdzie powyższe problemy występują z całą ostrością.

Wytyczne Techniczne Projektowania Miejskich Sieci Kanalizacyjnych [1], uznawane w wielu biurach projektowych za podstawowe źródło informacji, określają minimalne spadki w sposób pośredni: przez podanie minimalnej dopuszczalnej prędkości ścieków przy całkowitym wypełnieniu kanałów $V_0 = 1$ m/s. Obliczone na tej podstawie spadki [2] nie zapewniają w większości przypadków samooczyszczania się kanałów przy przepływie samych ścieków bytowo-gospodarczych. Sytuacja pogarsza się znacznie w przypadku kanałów o minimalnych średnicach, dla których podane zostały minimalne spadki (niezgodnie ze sformułowanym uprzednio warunkiem dotyczącym minimalnej prędkości): $i_{\min} = 4\text{‰}$ dla $D = 0,25$ m i $i_{\min} = 3\text{‰}$ dla $D = 0,30$ m.

Można przypuszczać, że powyższe mankamenty skłoniły autorów pracy zbiorowej [3] do sformułowania nowej wersji zasad wyznaczania spadków minimalnych, zgodnie z którą samooczyszczanie się sieci kanalizacji ogólnospławnej jest zapewnione przy minimalnych prędkościach przepływu ścieków $V = 0,3—0,4$ m/s, w okresach minimalnego natężenia przepływu ścieków komunalnych. Zapewnienie tych prędkości gwarantują ich zdaniem spadki kanałów wyznaczone ze wzoru:

$$i_{\min} = \frac{0,25}{R_h} \quad , \quad \text{‰} \quad (1)$$

w którym: R_h — promień hydrauliczny przy maksymalnym wypełnieniu kanału ściekami komunalnymi.

W tym miejscu uwagę zwraca niezgodność zawarta w przytoczonym założeniu i określeniu wypełnienia kanału, branego pod uwagę przy obliczaniu promienia hydraulicznego. Zgodnie z założeniem wypełnienie to ma odpowiadać minimalnej prędkości przepływu ścieków, więc powinno to być minimalne wypełnienie kanału, wyznaczone przy minimalnym natężeniu przepływu. Wyłania się wobec tego problem wyznaczenia minimalnego natężenia przepływu ścieków komunalnych, czyli przyjęcia odpowiednich współczynników nierównomierności odpływu ścieków. Wytyczne [1] nie zawierają na ten temat żadnych informacji, natomiast w pracy [4] zaleca się obliczanie minimalnego współczynnika nierównomierności godzinowej dla ścieków bytowo-gospodarczych z zależności [5]:

$$N_{h \min} = 0,146 Q_d^{0,196} \quad (2)$$

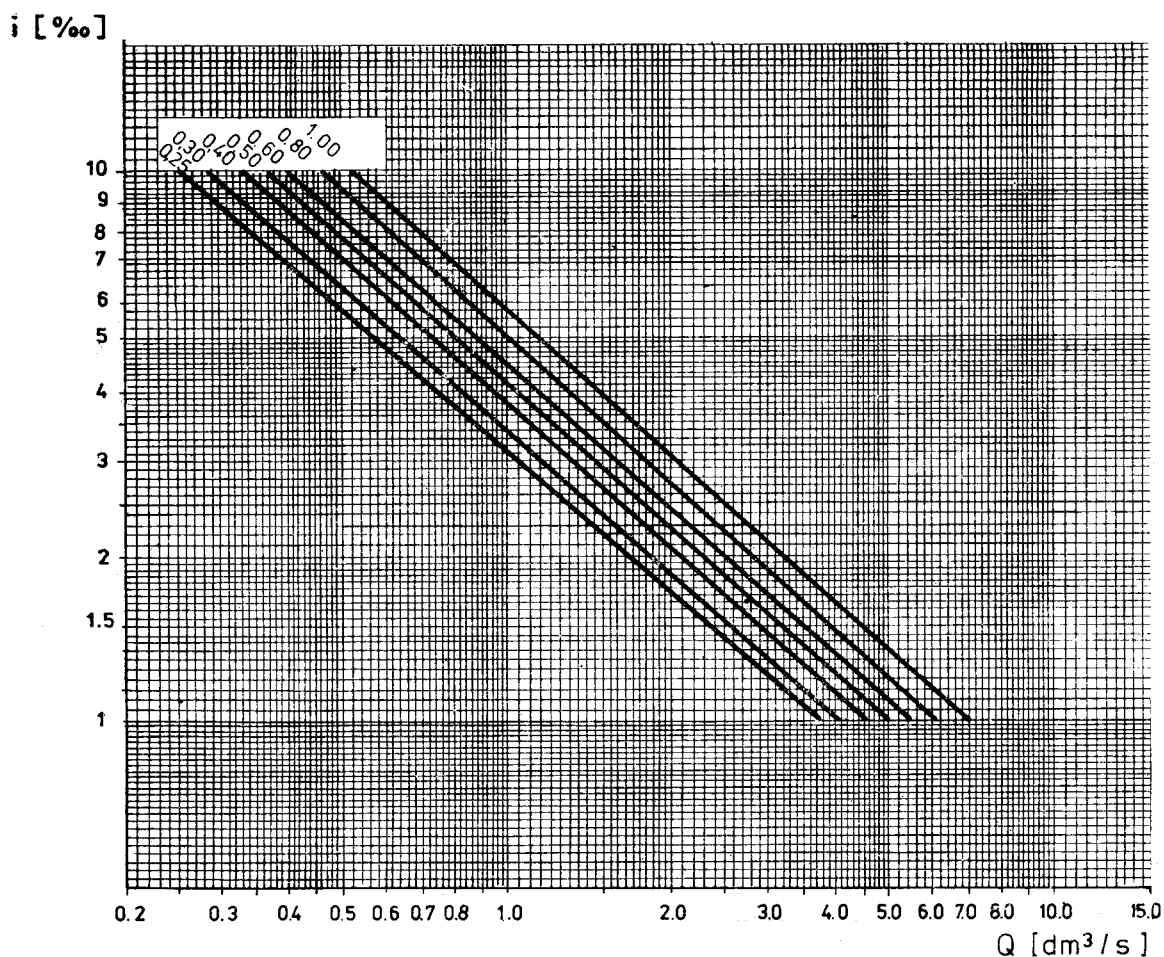
gdzie: Q_d — średniodobowy odpływ ścieków bytowo-gospodarczych.

W celu ułatwienia obliczeń metodami tradycyjnymi opracowany został wykres pozwalający na łatwe odczytywanie wartości $N_{h \min}$ [3]. Minimalny odpływ ścieków przemysłowych, stanowiących drugi składnik ścieków komunalnych, należy określać uwzględniając specyfikę przemysłu i konkretnego zakładu. Uzależnienie spadków minimalnych od wypełnienia kanału ściekami komunalnymi nie pozwala na ich stabilizowanie, jak w przypadku kanałów ściekowych i deszczowych, lecz wymaga każdorazowo przeprowadzenia odrębnych obliczeń. Ze względu na geometrię przekrojów przewodów kanalizacyjnych nie jest możliwe wyznaczenie spadków minimalnych w sposób jawny, lecz obliczenia muszą być realizowane metodą kolejnych przybliżeń. Jako alternatywę dla tej bardzo niedogodnej w obliczeniach metody, zaproponowano wykorzystanie nomogramu.

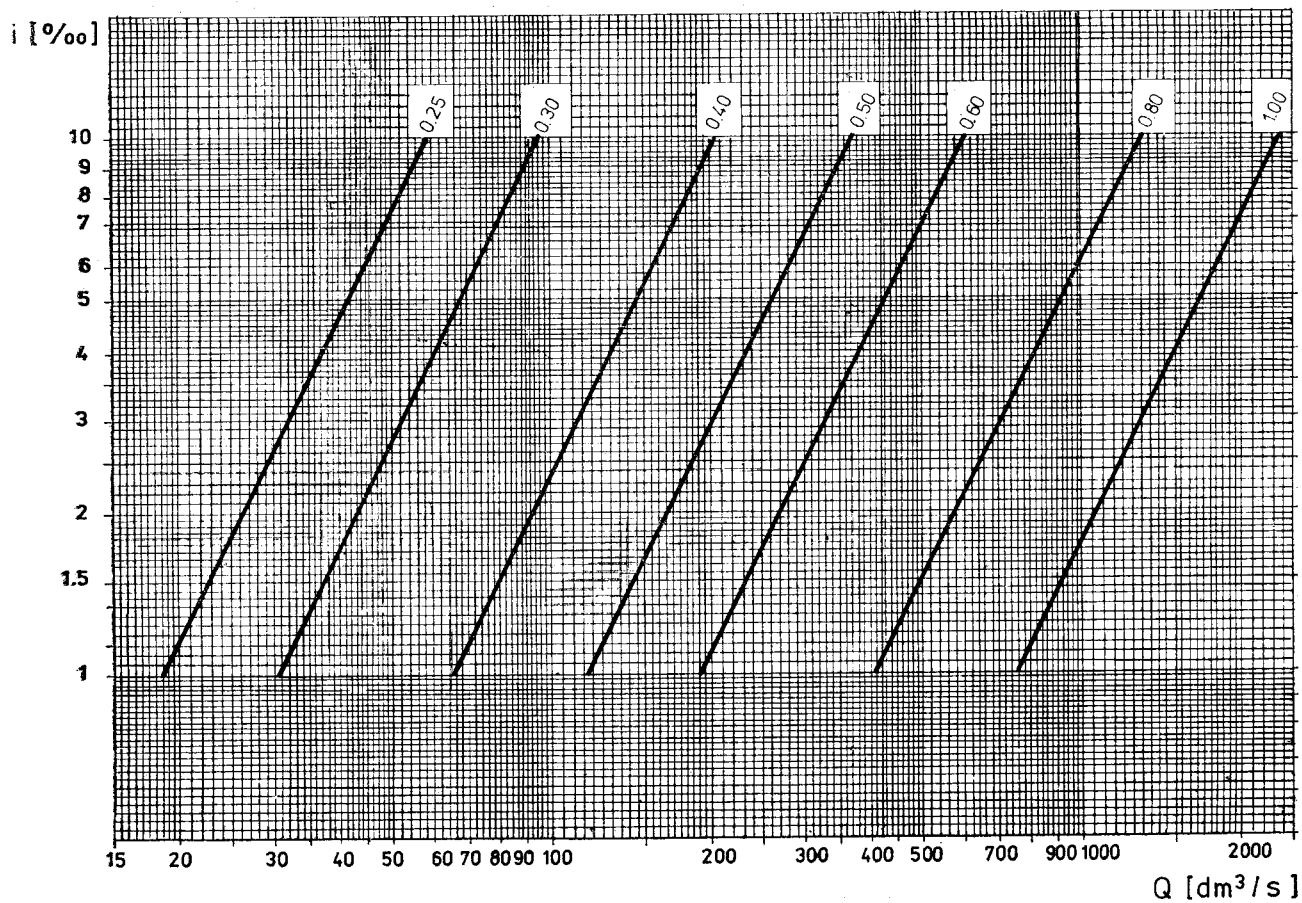
Opis nomogramu

Na monogramie (rys. 1 i 2) przedstawiono zależność pomiędzy spadkami kanałów o przekrojach kołowych a natężeniem przepływów. Do opisu tej zależności wykorzystano wzór Manninga, do którego przyjęto wartość współczynnika szorstkości $n = 0,013$. W przypadku kanału całkowicie wypełnionego, gdy pole przekroju $A = 0,25\pi D^2$ oraz promień hydrauliczny $R_h = 0,25 D$, zależność ta ma postać:

$$Q = \frac{1}{n} J^{1/2} \cdot \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi}{4^{5/3}} \cdot \frac{1}{n} J^{1/2} D^{8/3} \quad (3)$$



Rys. 1 Nomogram dla kanałów całkowicie wypełnionych



Rys. 2 Nomogram dla kanałów częściowo wypełnionych

gdzie:

n — współczynnik szorstkości wg Manninga

J — spadek podłużny kanału, ‰

D — średnica kanału, m

W przypadku kanału częściowo wypełnionego, zależność pomiędzy spadkiem minimalnym a natężeniem przepływu, wyznaczono wykorzystując warunek na minimalną dopuszczalną prędkość przepływu, którą przyjęto $V=0,3$ m/s [3]. Dla założonego wypełnienia względnego kanału (a) obliczano najpierw spadek minimalny kanału z przekształconego wzoru Manninga:

$$J_{\min} = \left(\frac{V \cdot n}{R_h^{2/3}} \right)^2 \quad (4)$$

Promień hydrauliczny (R_h) jako iloraz pola powierzchni (A) i obwodu zwilżonego (U) jest funkcją wypełnienia względnego (a), gdyż obie te wielkości zależą od (a):

$$A = D^2 \left[0,25 \arccos(1-2a) - 0,5(1-2a) \sqrt{a(1-a)} \right] \quad (5)$$

$$U = D \arccos(1-2a) \quad (6)$$

Podstawiając do równania (4) wartości liczbowe dla (n) oraz (V) i uwzględniając zależności (5) i (6) otrzymuje się wzór, który wykorzystano do obliczania spadku minimalnego:

$$J_{\min} = (0,3 \cdot 0,013)^2 \cdot \left[\frac{D^{0,25 \arccos(1-2a) - 0,5(1-2a) \sqrt{a(1-a)}}}{\arccos(1-2a)} \right]^{-4/3} \quad (7)$$

Natężenie przepływu odpowiadające temu wypełnieniu i spadkowi obliczono z równania ciągłości, do którego podstawiono równanie (5), czyli:

$$Q = AV = D^2 [0,25 \arccos(1-2a) - 0,5(1-2a) \cdot \sqrt{a(1-a)}] V \quad (8)$$

W oparciu o równanie (3) dokonano tablicowania funkcji $J=f_1(Q)$, na podstawie równań (7) i (8) — funkcji $J_{\min}=f_2(Q)$. Tablicowanie przeprowadzono dla znormalizowanych przekrojów kołowych przy wykorzystaniu minikomputera ZX-81. Wyniki naniesiono na wspólny wykres wykonany w skali dwulogarytmicznej, na którym utworzyły one dwa pęki krzywych. Krzywe na rys. 2 wyznaczone zostały dla kanałów częściowo wypełnionych, natomiast krzywe na rys. 1 — dla kanałów wypełnionych całkowicie.

Algorytm wyznaczania minimalnego spadku kanału przy wykorzystaniu nomogramu

1. Obliczyć minimalny i maksymalny godzinowy przepływ ścieków komunalnych $Q_{h \min}$ oraz $Q_{h \max}$.
2. Obliczyć miarodajne natężenie przepływu ścieków deszczowych Q_D .
3. Obliczyć przepływ miarodajny do wymiarowania kanału $Q_m = Q_{h \max} + Q_D$.
4. Odczytać z nomogramu dla przepływu miarodajnego Q_m średnicę D oraz spadek i_2 , a następnie dla przepływu $Q_{h \min}$ oraz średnicy D odczytać spadek i_1 .
5. Przyjąć większy spośród odczytanych spadków: $i = \max(i_1, i_2)$ i odczytać z nomogramu

przepustowość kanału Q_o (dla $i_2=i$ równa jest ona Q_m).

6. Dla ilorazu $Q_m/Q_o = \beta$ odczytać z krzywych sprawności kanału wypełnienie względne $a=h/D$.

7. Obliczyć głębokość w kanale przy przepływie miarodajnym $h=a \cdot D$.

Przykład obliczeniowy

Wyznaczyć minimalny spadek kanału, jeżeli dane są:

- przepływ średni dobowy ścieków bytowo-gospodarczych $Q_d = 432$ m³/d = 5 dm³/s,
- przepływ miarodajny ścieków deszczowych $Q_D = 26$ dm³/s,
- dopływ wód infiltracyjnych pominąć, $Q_{inf} = 0$.

1. Minimalny i maksymalny godzinowy przepływ ścieków komunalnych: $Q_{h \min} = N_{h \min} \cdot Q_d$. Z wykresu [3] odczytano: $N_{h \min} = 0,2$ stąd $Q_{h \min} = 0,2 \cdot 5,0 = 1$ dm³/s; $Q_{h \max} = N_{h \max} \cdot Q_d$. Z wykresu [3] odczytano: $N_{h \max} = 2,8$ stąd $Q_{h \max} = 2,8 \cdot 5,0 = 14,0$ dm³/s.

2. Miarodajne natężenie przepływu ścieków deszczowych — podano w danych wyjściowych $Q_D = 26$ dm³/s.

3. Przepływ miarodajny do wymiarowania kanału: $Q_m = Q_D + Q_{h \max} = 26,0 + 14,0 = 40$ dm³/s.

4. Z nomogramu (rys. 2) odczytano dla $Q_m = 40$ dm³/s średnicę $D = 0,30$ m i spadek $i_2 = 1,7\%$, następnie z nomogramu (rys. 1) odczytano dla $Q_{h \min} = 1$ dm³/s i średnicy $D = 0,30$ m spadek $i_1 = 3,2\%$.

5. Przyjęto $i = \max(1,7\% \text{ i } 3,2\%) = 3,3\%$, czyli kanał należy ułożyć ze spadkiem $i = i_1$, którego przepustowość odczytano z nomogramu (rys. 2): $Q_o = 53$ dm³/s.

6. Dla ilorazu $\beta = \frac{Q_m}{Q_o} = \frac{40}{53} = 0,75$ odczytano z praktycznych krzywych sprawności wypełnienia względem $a = \frac{h}{D} = 0,67$.

7. Głębokość w kanale przy przepływie miarodajnym $h = a \cdot D = 0,67 \cdot 0,3 = 0,20$ m. Istnieje możliwość rozwiązania w/w zadania również przy zastosowaniu kanału o mniejszej średnicy — $D = 0,25$ m. Wówczas obliczenia od punktu 4 ulegną następującej zmianie:

- z nomogramu (rys. 2) odczytano dla $Q_m = 40$ dm³/s średnicę minimalną $D = 0,25$ m i spadek $i_2 = 4,5\%$,
- z nomogramu (rys. 1) odczytano dla $Q_{h \min} = 1$ dm³/s i średnicy $D = 0,25$ m spadek minimalny $i_1 = 3,1\%$.

8. Przyjęto $i = \max(4,5\% \text{ i } 3,1\%) = 4,5\%$, ponieważ spadek i_1 nie zapewnia wystarczającej przepustowości kanału (dla $i_1 = 3,1\%$ i średnicy $D = 0,25$ m odczytano z wykresu na rys. 2 przepustowość $Q_o = 32$ dm³/s). Wniosek: kanał należy ułożyć ze spadkiem $i = i_2 = 4,5\%$, któremu odpowiada przepustowość 40 dm³/s przy całkowitym wypełnieniu kanału.

Podsumowanie

Przedstawiona metoda pozwala na wyznaczenie minimalnych spadków kanałów przy uwzględnieniu najbardziej niekorzystnych warunków przepływu, które występują przy minimalnym nałężeniu przepływu ścieków komunalnych. Równocześnie umożliwia ona prawidłowe zwymiarowanie kanału ze względu na maksymalny przepływ ścieków, który występuje przy nałożeniu się fali maksymalnego odpływu ścieków deszczowych, na maksymalny odpływ ścieków komunalnych. Dzięki opracowaniu nomogramu unika się konieczności prowadzenia obliczeń metodą kolejnych przybliżeń, co stanowiło dotychczas istotną barierę dla wdrożenia zalecanych przez IKŚ zasad do obliczeń praktycznych [3].

LITERATURA

1. Wytyczne techniczne projektowania miejskich sieci kanalizacyjnych. Załącznik do zarządzenia nr 20 Ministra Gospodarki Komunalnej z 30.06.1965 Dz. Bud. 1965 nr 15 poz. 64.
2. W. BŁASZCZYK, H. STAMATELLO, P. BŁASZCZYK: Kanalizacja; sieci i pompownie, Tom 1. Arkady, Warszawa 1983.
3. Praca zbiorowa: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych. IKŚ, Warszawa 1983.
4. M. KALINOWSKI: Metody określania odpływu ścieków miejskich. Wybrane zagadnienia kształtowania systemów kanalizacyjnych. IKŚ, PWN, Warszawa 1983.
5. H. DIMOWSKI: Ustanawianie na koeficjencie na czasowa diemenosna u odszcza nierownomier-nost na bitowite odpadczl wodi. Trudowie po Wodosnabdjowanie Kanalizacija i Sanitarna Tiechnika, Sofia 1974, tom X.

M. Sowiński

DETERMINING THE MINIMUM SLOPE FOR A COMBINED SEWAGE SYSTEM

The method proposed in this paper enables reliable determination of minimum slopes for combined sewage systems which experience unfavourable flow

conditions, viz. those occurring at the minimum rate of municipal sewage flow. The method also permits appropriate dimensioning of the drain with regard to the maximum rate of sewage flow (which occurs during superposition of the maximum storm water discharge wave and the maximum municipal sewage discharge). A nomogram developed for this purpose eliminates troublesome calculations which are carried out by the method of successive approximations.