

mgr inż. Ewa Puchalska
dr inż. Marek Sowiński

Instytut Inżynierii Środowiska
Politechniki Poznańskiej

WYMIAROWANIE KANAŁÓW ŚCIEKOWYCH METODĄ KRYTYCZNYCH NAPRĘŻEŃ STYCZNYCH

Projektowanie kanałów w płaskim terenie wymaga znajomości dopuszczalnych spadków minimalnych. W dotychczasowej praktyce projektowej spadki te wyznaczane są w zależności od prędkości samooczyszczania kanałów. Pomimo wieloletnich doświadczeń istnieją rozbieżności pomiędzy naukowcami i projektantami z różnych krajów, a nawet różnych ośrodków w Polsce, odnośnie przyjmowania wartości prędkości samooczyszczania kanałów. Obserwuje się również brak konsekwencji dotyczącej przyjmowania w/w wartości — jeżeli otrzymywane na ich podstawie spadki kanałów osiągają duże wartości, wówczas odstępuje się od przyjętych założeń. Przykładem mogą być wytyczne [5], które z jednej strony określają prędkość minimalną dla kanałów ściekowych $V_{\min}=0,8$ m/s, a z drugiej dopuszczają stosowanie spadków minimalnych dla małych średnic, nie gwarantujących tej prędkości (np dla $d=0,20$ m — $i_{\min}=5\%$).

Najważniejszym jednak mankamentem opisanej metody projektowania kanałów jest operowanie prędkością uśrednioną, a nie przydenną, która w rzeczywistości decyduje o samooczyszczaniu się kanałów.

Prędkość przydenna zależy od szeregu czynników takich jak: kształt, wymiary przekroju kanału, jego wypełnienie, stąd nie można mówić o stałej relacji pomiędzy tą prędkością i prędkością średnią.

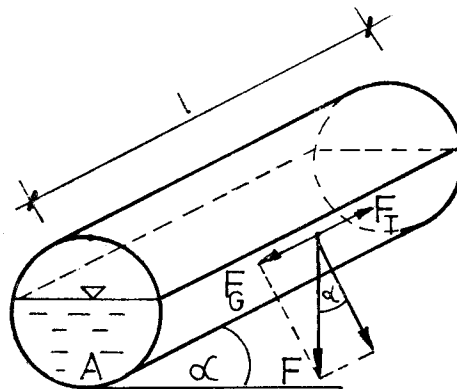
Powyższych wad pozbawiona jest metoda naprężeń stycznych. Naprężenia te bowiem charakteryzują sytuację na granicy powierzchni zwilżonej kanału i płynących ścieków. Wprawdzie i w tym przypadku wykorzystuje się do projektowania wartości uśrednione, lecz uśrednienie dokonywane jest dla punktów położonych na obwodzie zwilżonym, a nie na przekroju strumienia.

Twórcą metody obliczeń hydraulicznych przewodów kanalizacyjnych opartej na zastosowaniu naprężeń stycznych jest Yao [4]. Należy jednak podkreślić, że praktyczne jej zastosowanie wymagało znajomości wartości minimalnych naprężeń dopuszczalnych tzw. naprężeń krytycznych, których empirycznym wyznaczeniem zajmowali się m. in. Gustafsson, Lysne, Schultz, Lane, Shields. Wyniki doświadczeń zamieszczone w pracach wymienionych autorów były przedmiotem analizy dokonanej przez Yao [4], w wyniku której podał on zalecane wartości krytycznych naprężeń stycznych do projektowania kanałów ściekowych.

Zastosowaniem metody krytycznych naprężeń stycznych do obliczeń hydraulicznych kanałów oraz opracowaniem graficznym tej metody zajęli się Nowakowska — Błaszczyk i Kwietniewski [2]. Poniżej zaprezentowano pełny komplet materiałów (obejmujący wykresy, tabelę i algorytm), umożliwiającą wymiarowanie kanałów ściekowych metodą krytycznych naprężeń stycznych.

Założenia metody krytycznych naprężeń stycznych

Naprężenia styczne związane są z działaniem sił stycznych, powstających podczas przepływu ścieków przez kanał i działających na powierzchnię zwilżoną. Siła styczna F_T (rys. 1) jest równa co do wartości składowej siły ciężkości F_G , równoległej do dna kanału.



Rys. 1 Rozkład sił w kanale kołowym o przekroju poprzecznym „A” i spadku „i”

Składową siłę ciężkości dla kontrolnej objętości ścieków można wyznaczyć z zależności:

$$F_G = P \cdot \sin \alpha \quad [\text{kG}] \quad (1)$$

gdzie:

P — siła ciężkości kontrolnej objętości ścieków [kG]

α — nachylenie dna kanału.

Przy założeniu, że naprężenia styczne są jednakowe na całej powierzchni zwilżonej kanału, siłę styczną można obliczyć ze wzoru:

$$F_T = T \cdot U \cdot l \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

gdzie:

T — naprężenia styczne [kG/m²]

U — obwód zwilżony [m]

l — długość rozpatrywanego odcinka kanału [m].

W stanie równowagi $F_G = F_T$. Po przyrównaniu stronami równań (1) oraz (2) i ich przekształ-

ceniu można otrzymać wyrażenie na naprężenia styczne T w postaci:

$$T = R \cdot \gamma_o \cdot i \quad [\text{kG/m}^2] \quad (3)$$

γ_o — ciężar właściwy wody $[\text{kG/m}^3]$

i — spadek kanału [dla małych spadków $\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha = i$]

R — promień hydrauliczny $[\text{m}]$.

Zgodnie z przyjętym wyżej założeniem, średnie naprężenia styczne T są równe średniej wartości siły stycznej F_T , przypadającej na jednostkę powierzchni zwilżonej kanału. Krytyczne naprężenia styczne T_c definiowane są jako minimalne naprężenia styczne, konieczne do zainicjowania ruchu cząsteczki. Dla kanałów ściekowych odprowadzających ścieki komunalne, w których średnice cząstek zawierają się zazwyczaj w przedziale $d=0,2-1,0$ mm, Yao [4] zaleca przyjmować do projektowania wartości krytycznych naprężeń stycznych $T_c=0,1-0,2$ kG/m^2 . Natomiast w przypadku kanalizacji deszczowej, gdy średnice cząstek w ściekach są większe od 1,0 mm, zaleca on przyjmować wartości $T_c=0,3-0,4$ kG/m^2 .

Jako podstawową zależność do obliczeń hydraulicznych kanałów metodą krytycznych naprężeń stycznych przyjęto równanie Manninga. Natężenie przepływu ścieków Q oblicza się z zależności:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4)$$

gdzie:

n — współczynnik szorstkości Manninga

A — pole przekroju poprzecznego strumienia ścieków $[\text{m}^2]$.

Wyznaczając z równania (3) spadek i i podstawiając go do równania (4) otrzymuje się zależność:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \left(\frac{T}{\gamma_o R} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Dla kanału całkowicie wypełnionego można zapisać następującą zależność:

$$Q_o = \frac{1}{n} \cdot A_o \cdot R_o^{2/3} \left(\frac{T_o}{\gamma_o R_o} \right)^{1/2} \quad (6)$$

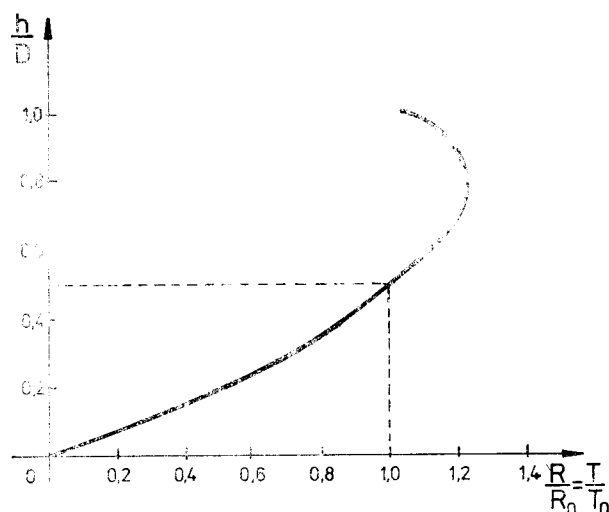
gdzie indeks „o” odnosi się do warunków całkowitego wypełnienia kanału.

Stosunek naprężeń stycznych T (przy danym wypełnieniu kanału) do naprężeń stycznych T_o (przy całkowitym wypełnieniu kanału) można wyznaczyć, wykorzystując zależność (3) w postaci równania:

$$\frac{T}{T_o} = \frac{R}{R_o} \quad (7)$$

Wielkości T i R dotyczą warunków częściowego wypełnienia, natomiast T_o i R_o warunków całkowitego wypełnienia kanału. Z równania (7) wynika, że stosunek średnich naprężeń stycznych dla częściowego i całkowitego wypełnienia kanału jest równy stosunkowi odpowiednich promieni hydraulicznych. Na rys. 2 przedstawiono zależność wypełnienia kanału h/D od stosunku promieni hydraulicznych, które jak

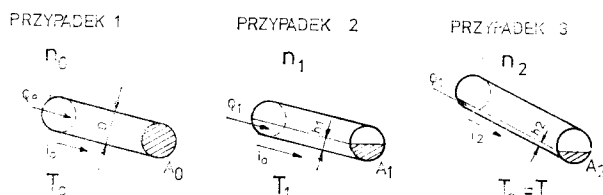
wynika z równania (7) są równe stosunkowi naprężeń stycznych dla kanału częściowo i całkowicie wypełnionego.



Rys. 2 Zależność wypełnienia względnego kanału h/D od stosunku naprężeń stycznych [4]

Spadki minimalne dla kanałów wypełnionych poniżej połowy

W celu wyznaczenia minimalnego spadku dla kanałów wypełnionych poniżej połowy ($h/D < 0,5$), przy zachowaniu wymaganych krytycznych naprężeń stycznych przeprowadzono następujące rozumowanie, przyjmując założenie, że przy całkowitym wypełnieniu kanału naprężenia styczne powinny być równe krytycznym, czyli $T_o = T_c$. Niech Q_o , i_o , R_o , A_o , n_o oznaczają odpowiednio: przepływ, spadek, promień hydrauliczny, przekrój poprzeczny oraz współczynnik Manninga dla całkowitego wypełnienia kanału (przypadek 1 na rys. 3).



Rys. 3 Schematy do wyznaczania zależności projektowych dla metody krytycznych naprężeń stycznych

Jeśli rzeczywisty przepływ w kanale Q_1 jest mniejszy od Q_o (przypadek 2 na rys. 3), to wielkości opisujące ten przepływ można oznaczyć odpowiednio: Q_1 , i_1 , R_1 , A_1 , h_1 , n_1 , gdzie h_1 oznacza głębokość strumienia. Należy zauważyć, że nie występują jeszcze zmiany w nachyleniu kanału. Jeśli h_1/D jest mniejsze od 0,5, to na podstawie rys. 2 T/T_o jest mniejsze od 1,0, co oznacza, że średnie naprężenia styczne T są mniejsze niż przyjmowane do projektowania krytyczne naprężenia styczne T_c .

Aby utrzymać krytyczne naprężenia styczne T_c przy przepływie Q_1 , nachylenie kanału musi wzrosnąć z i_o do i_2 z odpowiednimi zmianami wielkości zależnych: R_2 , n_2 , A_2 , h_2 (przypadek 3 na rys. 3). Na podstawie równania (3) można

wyznaczyć naprężenia styczne dla wyżej wymienionych przypadków.

Dla przypadku 1 krytyczne naprężenia styczne przy całkowitym wypełnieniu kanału są równe:

$$T_c = T_0 = i_0 \cdot R_0 \cdot \gamma_0 \quad (8)$$

Dla przypadku 3 naprężenia styczne dla zwiększonego spadku i_2 oraz przepływu Q_1 wynoszą odpowiednio:

$$T_2 = i_2 \cdot R_2 \cdot \gamma_0 \quad (9)$$

Zakładając, że naprężenia styczne przy częściowym wypełnieniu mają być równe krytycznym ($T_2 = T_c$), można równania (8) i (9) przyrównać stronami i po przekształceniu uzyskać wyrażenie na ilorz $\frac{i_2}{i_0}$ w postaci:

$$\frac{i_2}{i_0} = \frac{R_0}{R_2} \quad (10)$$

Przyrównując przepływy wyznaczone przy wykorzystaniu równania Manninga dla przypadku 2 oraz przypadku 3, można wyznaczyć wyrażenie na promień hydrauliczny R_2 :

$$R_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{i_0}{i_2}\right)^{3/4} \cdot R_1 \quad (11)$$

Po podstawieniu równania (11) do równania (10), a następnie jego przekształceniu, uzyskuje się zależność pozwalającą na obliczenie ilorazu spadków w kanale częściowo i całkowicie wypełnionym dla jednakowych naprężeń stycznych:

$$\frac{i_2}{i_0} = \left(\frac{R_0}{R_1}\right)^4 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^6 \cdot \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^6 \quad (12)$$

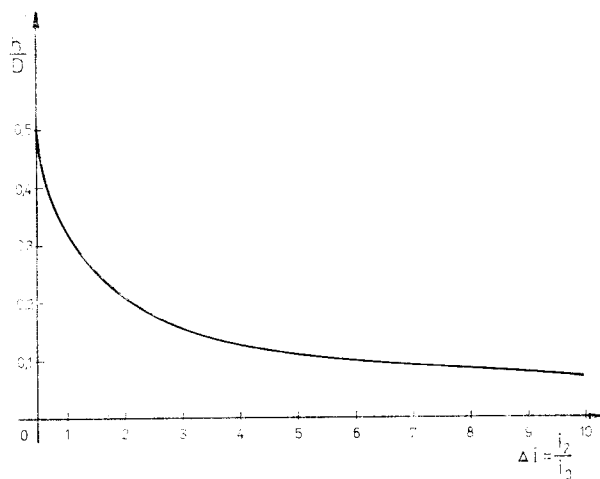
Wykorzystując zależności geometryczne dla kanału kołowego i zakładając $n_1 = n_2$ można przedstawić ilorz i_2/i_0 w funkcji wypełnienia względnego a_1 (przypadek 2) oraz a_2 (przypadek 3) w postaci:

$$\frac{i_2}{i_0} = \frac{[0,25 \arccos(1-2a_2) - 0,5(1-2a_2) \sqrt{a_2-a_2^2}]^6}{[0,25 \arccos(1-2a_1) - 0,5(1-2a_1) \sqrt{a_1-a_1^2}]^{10} \cdot [0,25 \arccos(1-2a_1)]^4} \quad (13)$$

Wykres zależności i_2/i_0 od wypełnienia względnego kanału (13) przedstawiono na rys. 4. Sporządzono go dla napełnień względnych $a_1 \leq 0,5$, ponieważ tylko dla napełnień kanału poniżej połowy, naprężenia styczne T_2 są mniejsze od naprężeń przy całkowitym wypełnieniu kanału (rys. 2), a więc i od krytycznych naprężeń stycznych T_c . Wzrost nachylenia kanału z i_0 do i_2 spowoduje natomiast utrzymanie wymaganych krytycznych naprężeń stycznych przy danym wypełnieniu kanału ($a_2 < 0,5$).

Spadki minimalne dla kanałów wypełnionych powyżej połowy

Spadki minimalne wyznaczone przy przyjętych krytycznych naprężeniach stycznych T_c dla kanałów całkowicie wypełnionych, jak wynika



Rys. 4 Wykres funkcji i_2/i_0 w zależności od napełnienia $h/D \leq 0,5$ dla metody krytycznych naprężeń stycznych

z rys. 2, zapewniają dla kanałów wypełnionych powyżej połowy ($h/D > 0,5$) naprężenia większe od naprężeń przy całkowitym wypełnieniu kanałów T_0 , a tym samym większe od naprężeń krytycznych T_c . Spadki minimalne, przy krytycznych naprężeniach stycznych T_c , dla kanałów kołowych całkowicie wypełnionych, można obliczyć z zależności otrzymanej z przekształcenia równania (3):

$$i_{\min} = \frac{T_c}{\gamma_0 R_0} \quad (14)$$

gdzie: $R_0 = \frac{D}{4}$

Wyniki obliczeń spadków minimalnych obliczonych na podstawie równania (14) dla naprężeń krytycznych $T_c = 0,1$ i $0,2 \text{ kG/m}^2$ zestawiono w kolumnie 2 i 3 tabeli 1.

Dla celów porównawczych w kolumnie 3 tej tabeli zamieszczono spadki minimalne obliczone z równania Manninga, przy założeniu średniej prędkości minimalnej przepływu ścieków $V_{\min} = 0,8 \text{ m/s}$.

Tabela 1
PORÓWNANIE WARTOŚCI MINIMALNYCH SPADKÓW
OBLICZONYCH OBYDWIEMA METODAMI
DLA KANAŁÓW O RÓŻNYCH ŚREDNICACH

Średnica (D), m	Spadki minimalne $i_{\min}$ ‰ obliczone metodą:		
	krytycznych naprężeń stycznych		prędkości minimalnej $V_{\min} = 0,8 \text{ m s}^{-1}$
	$T_c = 0,2 \text{ kG m}^{-2}$	$T_c = 0,1 \text{ kG m}^{-2}$	
0,20	2,0	4,0	5,9
0,25	1,6	3,2	4,4
0,30	1,3	2,6	3,4
0,40	1,0	2,0	2,3
0,50	0,8	1,6	1,7
0,60	0,7	1,3	1,4
0,70	0,6	1,1	1,1
0,80	0,5	1,0	0,9
0,90	0,4	0,9	0,8
1,00	0,4	0,8	0,7

Z tabeli 1 wynika, że spadki minimalne wyznaczone metodą prędkości minimalnej dla średnic kanałów $d < 0,70 \text{ m}$ są większe, a dla

$d > 0,70$ m — mniejsze od spadków wyznaczonych metodą krytycznych naprężeń stycznych dla $T_c = 0,2$ kG/m². Różnice te wzrastają w miarę oddalania się w górę i w dół od średnicy granicznej $d = 0,70$ m, przy czym z praktycznego punktu widzenia istotny jest przedział dolny (dla $d < 0,70$ m). Natomiast spadki minimalne wyznaczone metodą minimalnej prędkości dla wszystkich średnic kanałów ($d = 0,2$ — $1,0$ m) są zawsze większe od spadków wyznaczonych metodą naprężeń krytycznych dla $T_c = 0,1$ kG/m².

Algorytm wymiarowania kanałów

1. Przyjąć krytyczne naprężenia styczne T_c
2. Przyjąć spadek kanału i_1
3. Wyznaczyć maksymalny i minimalny godzinowy przepływ: $Q_{\max}$ i $Q_{\min}$ np. wg [1]
 $Q_{\max} = N_{h\max} \cdot Q_{d\text{sr}}$ $Q_{\min} = N_{h\min} \cdot Q_{d\text{sr}}$
4. Wyznaczyć przepływ obliczeniowy wg [1]:
 $Q_{obl} = 1,5 \cdot Q_{\max}$
5. Dla Q_{obl} odczytać z nomogramu lub obliczyć średnicę kanału przy całkowitym wypełnieniu: $D_{obl} = \left(4^{5/3} \frac{Q_{obl} \cdot n}{\pi \cdot i_1^{0,5}} \right)^{0,375}$
6. Przyjąć średnicę znormalizowaną $D \geq D_{obl}$
7. Dla i_1 obliczyć przepływ Q_{o1} przy całkowitym wypełnieniu kanału $Q_{o1} = \frac{1}{n} R_o^{2/3} \cdot A_o \cdot i_1^{1/2}$
8. Dla ilorazu $\frac{Q_{\min}}{Q_{o1}} = \alpha$ odczytać z krzywych sprawności dla przepływu $Q_{\min}$ wypełnienie względne $\gamma = \frac{h_{\min}}{D}$
9. Sprawdzić czy $\gamma < 0,5$. Jeżeli w/w warunek jest spełniony to przejść do punktu 12.
10. Dla przyjętej średnicy D odczytać z tabeli 1 spadek minimalny kanału $i_{\min}$.
11. Sprawdzić czy $i_1 < i_{\min}$. Jeżeli w/w warunek jest spełniony to $i_2 = i_{\min}$, w przeciwnym razie $i_2 = i_1$. Przejść do punktu 21.
12. Dla i_1 obliczyć naprężenia styczne T_{o1} przy całkowitym wypełnieniu kanału: $T_{o1} = \gamma_o \cdot R_o \cdot i_1$.
13. Dla wypełnienia γ odczytać z rys. 2 iloraz naprężeń stycznych $\delta = \frac{T_1}{T_{o1}}$
14. Obliczyć naprężenia styczne $T_1 = \delta \cdot T_{o1}$.
15. Sprawdzić czy $T_1 > T_c$. Jeżeli w/w warunek jest spełniony to przyjąć $i_2 = i_1$ i przejść do punktu 21.
16. Dla przyjętej średnicy D odczytać z tabeli 1 minimalny spadek kanału $i_{\min}$.
17. Dla spadku $i_{\min}$ obliczyć przepływ przy całkowitym wypełnieniu kanału:
 $Q_{o\min} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \left(i_{\min} \right)^{1/2}$
18. Dla ilorazu $\frac{Q_{\min}}{Q_{o\min}} = \alpha$ odczytać z krzywych sprawności kanału wypełnienie względne $\gamma = \frac{h_{\min}}{D}$

19. Dla γ odczytać z rys. 4 iloraz spadków $\Delta i = \frac{i_2}{i_{\min}}$
 20. Obliczyć zwiększony spadek $i_2 = \Delta i \cdot i_{\min}$.
 21. Dla i_2 obliczyć prędkość V_{o2} i przepływ Q_{o2} przy całkowitym wypełnieniu kanału:
 $V_{o2} = \frac{1}{n} \cdot \left(i_2 \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3}$ $Q_{o2} = \frac{V_{o2} \cdot \pi \cdot D^2}{4}$
 22. Dla ilorazu przepływów $\frac{Q_{\max}}{Q_{o2}} = \alpha$ odczytać z krzywych sprawności kanału wypełnienie względne $\gamma = \frac{h_{\max}}{D}$ i iloraz prędkości $\beta = \frac{V}{V_{o2}}$
 23. Obliczyć przy przepływie $Q_{\max}$ głębokość strumienia $h_{\max} = \gamma \cdot D$ oraz prędkość $V = \beta \cdot V_{o2}$.
 24. Dla i_2 obliczyć ze wzoru naprężenia styczne T_{o2} przy całkowitym wypełnieniu kanału:
 $T_{o2} = \gamma_o \cdot i_2 \cdot \frac{D}{4}$
 25. Dla γ odczytać z rys. 2 iloraz naprężeń stycznych $\delta = \frac{T_2}{T_{o2}}$
 26. Obliczyć naprężenia styczne T_2 przy przepływie $Q_{\max}$: $T_2 = \delta \cdot T_{o2}$.
- Należy zaznaczyć, że w/w algorytm opracowany został przy założeniu korzystania z krzywych sprawności. Istnieje również możliwość skrócenia obliczeń przez zastosowanie odczytów z nomogramów zamiast odczytów z krzywych sprawności.

Przykłady obliczeniowe

Przykład 1

Zaprojektować betonowy kanał ściekowy o przekroju kołowym, metodą krytycznych naprężeń stycznych tzn. wyznaczyć jego średnicę, spadek, wypełnienie, prędkość przepływu ścieków oraz wartość naprężeń stycznych jeżeli dane są:

- przepływ średni godzinowy $Q_{\text{sr}} = 0,01$ m³/s,
- spadek terenu $i_T = 2\text{‰}$.

Przyjęto wartość krytycznych naprężeń stycznych $T_c = 0,1$ kG/m² i współczynnik szorstkości wg Manninga $n = 0,013$.

Tok obliczeń podano stosując numerację przyjętą w punkcie poprzednim przy opisie algorytmu:

1. $T_c = 0,1$ kG/m²
2. $i_1 = 0,002$
3. $Q_{\max} = 2,5 \cdot 0,01 = 0,025$ m³/s $N_{h\max}$
 $Q_{\min} = 0,23 \cdot 0,01 = 0,0023$ m³/s $N_{h\min}$ } wg [1]
4. $Q_{obl} = 1,5 \cdot 0,025 = 0,0375$ m³/s
5. $D_{obl} = \left(4^{5/3} \frac{0,0375 \cdot 0,013}{\pi \cdot 0,002^{0,5}} \right)^{0,375} = 0,284$ m
6. $D = 0,300$ m
7. $Q_{o1} = \frac{0,002^{0,5}}{0,013} \left(\frac{0,3}{4} \right)^{2/3} \cdot \pi \cdot \frac{0,3^2}{4} = 0,0432$ m³/s
8. Dla $\alpha = \frac{0,0023}{0,0432} = 0,053$ odczytano $\gamma = 0,14$

$$9. \gamma < 0,5$$

$$12. T_{o1} = 1000 \cdot \frac{0,3}{4} \cdot 0,002 = 0,15 \text{ kG/m}^2$$

$$13. \text{Dla } \gamma = 0,14 \text{ odczytano } \delta = 0,34$$

$$14. T_1 = 0,15 \cdot 0,34 = 0,051 \text{ kG/m}^2$$

$$15. T_1 < T_c$$

$$16. i_{\min} = 1,33 \text{ ‰}$$

$$17. Q_{\min} = \frac{0,00133^{0,5}}{0,013} \cdot \left(\frac{0,3}{4}\right)^{2/3} \cdot \pi \cdot \frac{0,3^2}{4} = 0,0353 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$18. \text{Dla } \alpha = \frac{0,0023}{0,0353} = 0,065 \text{ odczytano } \gamma = 0,161$$

$$19. \text{Dla } \gamma = 0,161 \text{ odczytano } \Delta i = 3,15$$

$$20. i_2 = 3,15 \cdot 1,33 = 4,19 \text{ ‰}$$

$$21. V_{o2} = \frac{0,00419^{0,5}}{0,013} \cdot \left(\frac{0,3}{4}\right)^{2/3} = 0,89 \text{ m/s}$$

$$Q_{o2} = 89 \cdot \pi \cdot \frac{0,3^2}{4} = 0,0626 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$22. \text{Dla } \alpha = \frac{0,025}{0,0626} = 0,4 \text{ odczytano } \gamma = 0,44 \text{ i } \beta = 0,94$$

$$23. h_{\max} = 0,44 \cdot 0,3 = 0,132 \text{ m}$$

$$V = 0,94 \cdot 0,89 = 0,837 \text{ m/s}$$

$$24. T_{o2} = 1000 \cdot 0,00419 \cdot \frac{0,3}{4} = 0,314 \text{ kG/m}^2$$

$$25. \text{Dla } \gamma = 0,44 \text{ odczytano } \delta = 0,9$$

$$26. T_2 = 0,9 \cdot 0,314 = 0,283 \text{ kG/m}^2$$

Przykład 2

Zaprojektować kanał jak wyżej, jeżeli

$$Q_{sr} = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}, \quad i_T = 1,5 \text{ ‰}$$

$$1. T_c = 0,1 \text{ kG/m}^2$$

$$2. i_1 = 0,0015$$

$$3. Q_{\max} = 1,4 \cdot 2,0 = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\min} = 0,65 \cdot 2,0 = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$4. Q_{obl} = 1,5 \cdot 2,13 = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$5. D_{obl} = \left(4^{5/3} \cdot 4,2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,013}{0,0015^{0,5}}\right)^{0,375} = 1,76 \text{ m}$$

$$6. D = 1,8 \text{ m}$$

$$7. Q_{o1} = \frac{0,0015^{0,5}}{0,013} \cdot \left(\frac{1,8}{4}\right)^{2/3} \cdot \frac{1,8^2}{4} = 4,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$8. \text{Dla } \alpha = \frac{0,9}{4,45} = 0,20 \text{ odczytano } \gamma = 0,3$$

$$9. \gamma < 0,5$$

$$10. i_{\min} = 0,22 \text{ ‰}$$

$$11. i_1 > i_{\min} \quad i_2 = 1,5 \text{ ‰}$$

$$21. V_{o2} = \frac{0,0015^{0,5}}{0,013} \cdot \left(\frac{1,8}{4}\right)^{2/3} = 1,75 \text{ m/s}$$

$$Q_{o2} = 1,75 \cdot \pi \cdot \frac{1,8^2}{4} = 4,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$22. \text{Dla } \alpha = \frac{2,8}{4,45} = 0,63 \text{ odczytano } \gamma = 0,58$$

$$23. h_{\max} = 0,58 \cdot 1,8 = 1,04 \text{ m}$$

$$24. T_{o2} = 1000 \cdot 0,0015 \cdot \frac{1,8}{4} = 0,675 \text{ kG/m}^2$$

$$25. \text{Dla } \gamma = 0,58 \text{ odczytano } \delta = 1,1$$

$$26. T_2 = 1,1 \cdot 0,675 = 0,743 \text{ kG/m}^2$$

Wnioski

1. Metoda krytycznych naprężeń stycznych stanowi konkurencyjną alternatywę dla metody wymiarowania kanałów sanitarnych na podstawie prędkości samooczyszczania.

2. Wyprowadzenie zależności (13) stanowiącej podstawę do wykonania wykresu wykorzystywanego przy wymiarowaniu kanałów napełnionych poniżej połowy, stanowi uzupełnienie luki w publikacji Yao [4] i pozwala na zweryfikowanie w/w zależności.

3. Zamieszczony algorytm oraz materiały pomocnicze (wykresy, tabele), stanowią komplet materiałów potrzebnych przy projektowaniu kanałów metodą krytycznych naprężeń stycznych.

4. Minimalne spadki kanałów wypełnionych powyżej połowy wyznaczone metodą krytycznych naprężeń stycznych dla średnic $D < 0,7 \text{ m}$ są mniejsze od spadków wyznaczonych na podstawie prędkości samooczyszczania.

LITERATURA

1. P. BŁASZCZYK i inni: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miast. IKŚ, Warszawa 1983.
2. M. KWIETNIEWSKI, A. NOWAKOWSKA-BŁASZCZYK: Obliczenia hydrauliczne kanałów ściekowych na podstawie krytycznych naprężeń stycznych. Nowa technika w inżynierii sanitarnej. Wodociągi i kanalizacja. Zeszyt 13, Arkady, Warszawa 1981.
3. E. PUCHAŁSKA: Zastosowanie metody krytycznych naprężeń stycznych do hydraulicznego obliczania sieci kanalizacyjnej. Praca dyplomowa wykonana w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej 1984.
4. K. M. YAO: Sewer Line Design Based on Critical Shear Stress. Proceedings of ASCE, Journal of the Environmental Engineering Division, Vol. 100, No. EE2, April, 1974.
5. Wytyczne techniczne projektowania miejskich sieci kanalizacyjnych. Załącznik do Zarząd. Nr 20 Ministra Gospodarki Komunalnej z 30.06.1965 (Dz. Bud. 1965 Nr 15, poz. 64).