

dr inż. Tadeusz Gruszecki
 dr inż. Jerzy Wartalski
 mgr inż. Andrzej Wartalski

PODSTAWY HYDRAULICZNE OBLICZANIA BOCZNYCH PRZELEWÓW BURZOWYCH Z RURĄ DŁAWIĄCĄ

Boczne przelewy kanalizacyjne ze względu na złożoność zjawisk hydraulicznych od dawna są przedmiotem badań modelowych i rozważań teoretycznych. W wyniku tego powstało szereg formuł ustalonych dla określonych warunków, jednak przy szerokim ich zastosowaniu prowadzi to do znacznych niezgodności z rzeczywistością. Zasadniczym problemem przy projektowaniu bocznych przelewów burzowych jest dokładne określenie długości krawędzi przelewowej, przez którą zostanie odprowadzona do odbiorników określona ilość ścieków Q_b oraz określenie wysokości krawędzi przelewowej p . Do tej pory nie ma jednak jednolitej metody teoretycznie uzasadnionej, a uwzględniającej wpływ wysokości krawędzi przelewowej i przekroju kanału odpływowego na długość przelewu i ilości ścieków burzowych odprowadzanych przez przelew do odbiornika oraz na oczyszczalnię.

W zależności od wysokości krawędzi przelewowej i przekroju kanału odprowadzającego ścieki na oczyszczalnię (kanał odpływowy) można wyróżnić następujące przypadki:

- a) krawędź przelewowa założona na wysokości przepływu granicznego; w kanale dopływowym i odpływowym nie następuje spiętrzenie ścieków,
- b) krawędź przelewowa jak w pkt. a; przy przepływie nie większym od granicznego kanał odpływowy jest częściowo wypełniony. Przy przepływach większych od granicznego, kanał odpływowy pracuje pod ciśnieniem, powodując spiętrzenie ścieków w komorze przelewowej,
- c) krawędź przelewowa jak w pkt. a; przy przepływie granicznym i mniejszym kanał odpływowy pracuje całym przekrojem. Przy przepływach większych od granicznego, kanał odpływowy pracuje pod ciśnieniem powodując spiętrzenie ścieków w komorze przelewowej,
- d) podwyższona krawędź przelewowa oraz zamontowane urządzenie dławiące na odpływie. Spiętrzenie ścieków w komorze przelewowej już przy przepływie granicznym.

Głównym celem budowy przelewów burzowych jest:

- zmniejszenie przekrojów poprzecznych kanałów poniżej przelewu oraz podstawowych urządzeń oczyszczalni ścieków,
- zabezpieczenie urządzeń oczyszczalni ścieków przed zbyt dużym przeciążeniem.

Dlatego ważne jest, przy projektowaniu przelewów burzowych dokładne określenie ilości ścieków odpływających na oczyszczalnię, przy jednoczesnym zapewnieniu równomierności odpływu. Uzyskuje się to przy zastosowaniu przelewów wymienionych w pkt c i d.

Założenia teoretyczne

W dalszych rozważaniach przyjęto następujące założenia:

- a) w komorze występuje ruch nadkrytyczny (spokojny). Zakładając podobieństwo warunków hydraulicznych i energetycznych dla przelewów bocznych bez urządzenia dławiącego i z rurą dławiącą, do dalszych rozważań przyjęto kształt zwierciadła ścieków w komorze jak dla przelewów bocznych bez urządzeń dławiących [1, 2, 3, 4, 7, 10] — rys. 1, przekrój I—II.
- b) przyjęto kanał dopływowy o przekroju jajoowym normalnym ($H=1,5 D$),
- c) przekrój i spadek dna komory przelewowej jest taki sam jak kanału dopływowego,
- d) korona przelewowa jest równoległa do dna komory,
- e) rura dławiąca już przy przepływie granicznym pracuje pod ciśnieniem,
- f) krawędź przelewowa założona na wysokości zapewniającej działanie przelewu przy przepływie większym od granicznego,
- g) przepływ graniczny obliczamy jednym z następujących wzorów [3, 5, 8],

$$Q_{gr} = (n_{pr} + 1) Q_{śc} \quad (1)$$

$$Q_{gr} = q_{kr} F\Psi + Q_{śc} \quad (2)$$

w którym:

n_{pr} — współczynnik początkowego rozcieńczenia,

Q_{kr} — natężenie deszczu krytycznego, dm^3/s ha,

F — powierzchni zlewni, ha,

Ψ — współczynnik spływu powierzchniowego,

$Q_{śc}$ — natężenie przepływu ścieków gospodarczych i przemysłowych, dm^3/s ,

h) natężenie dopływu mniejsze od:

$$Q_1 = Q_{gr} \quad (3)$$

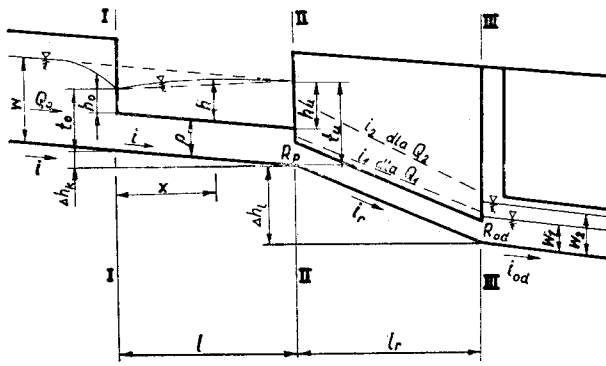
nie powoduje działania przelewu,

i) natężenie odpływu ścieków do oczyszczalni przy dopływie obliczeniowym Q_0 wzrośnie do wartości:

$$Q_2 = aQ_1 \quad (4)$$

gdzie:

a — współczynnik zwiększający natężenie odpływu do oczyszczalni ($a \geq 1,0$) na skutek spiętrzenia ścieków w komorze przy dopływie obliczeniowym Q_0 .



Rys. 1 Schemat bocznego przelewu burzowego z rurą dławiącą

Obliczenie długości krawędzi przelewowej

Dla ruchu nadkrytycznego zwierciadło ścieków w komorze przelewowej wznosi się wzdłuż krawędzi od wartości t_0 na początku do wartości t_u na końcu przelewu, a więc wysokość warstwy przelewowej „ h ” jest zmienna na długości przelewu, przyjmując dwie skrajne wartości:

$$\text{dla odległości } x=0 \quad h=h_0=t_0-p$$

$$\text{dla odległości } x=l \quad h=h_u=t_u-p$$

gdzie:

p — wysokość krawędzi przelewowej nad dnem komory.

Zakładając liniową zależność między wysokością warstwy przelewowej na początku i na końcu przelewu, wysokość warstwy przelewowej „ h ” w dowolnej odległości x od początku przelewu, można obliczyć wg Schaffernaka [10]:

$$h = h_0 + \frac{x}{l} (h_u - h_0) \quad (5)$$

stąd:

$$x = \frac{h - h_0}{h_u - h_0} l \quad (6)$$

oraz:

$$dx = \frac{l}{h_u - h_0} dh \quad (7)$$

Przelewającą się ilość ścieków przez przelew zupełny na długości dx można obliczyć wg wzoru Poleniego [2, 3, 8, 10]:

$$dQ_b = \frac{2}{3} \mu dx \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (8)$$

Podstawiając do równania (8) za dx wyrażenie (7) otrzymujemy:

$$dQ_b = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} \frac{l}{h_u - h_0} h^{3/2} dh \quad (9)$$

Całkując równanie (9) w granicach h_u i h_0 otrzymujemy:

$$Q_b = \frac{4}{15} \mu \sqrt{2g} l \frac{h_u^{5/2} - h_0^{5/2}}{h_u - h_0} \quad (10)$$

stąd długość krawędzi przelewowej:

$$l = \frac{15Q_b(h_u - h_0)}{4\mu\sqrt{2g}(h_u^{2.5} - h_0^{2.5})} \quad (11)$$

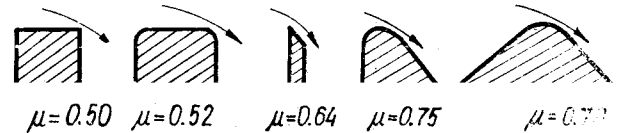
gdzie:

Q_b — natężenie przepływu przez przelew burzowy, równe $Q_b = Q_0 - Q_2 = Q_0 - aQ_{gr}$, m^3/s
 h_0, h_u — wysokość warstwy przelewowej na początku i końcu przelewu, m

μ — współczynnik zależny od kształtu przelewu.

Wartość współczynnika μ można przyjmować zgodnie z rys. nr 2 [3],

g — przyspieszenie ziemskie, m/s^2



Rys. 2 Wartość współczynnika μ w zależności od kształtu korony przelewowej

Aby obliczyć długość krawędzi przelewowej l , należy znać wysokość warstwy przelewowej na początku i na końcu przelewu tzn. znać napelnienie t_0 , t_u i wysokość krawędzi przelewowej p .

Z równania Bernuliego dla przekroju I—II (rys. 1) otrzymujemy:

$$t_u + \frac{av^2_u}{2g} = \Delta h_k + t_0 + \frac{av^2_0}{2g} \quad (12)$$

Oznaczając:

$$v_0 = \frac{Q_0}{f_0} \quad \text{i} \quad v_u = \frac{Q_2}{f_u} \quad (13)$$

gdzie:

$$f_0 = f(t_0) \quad \text{i} \quad f_u = f(t_u)$$

otrzymujemy:

$$t_u + \frac{\alpha Q_2^2}{2gf_u^2} = \Delta h_k + t_0 + \frac{\alpha Q_0^2}{2gf_0^2} \quad (14)$$

Przyjmując, wg Rehbocka [10] wartość $\alpha = 1,087$ oraz przekształcając wzór (14) względem t_0 otrzymujemy:

$$t_0 + \frac{1,087 Q_0^2}{2gf_0^2} = t_u + \frac{1,087 Q_2^2}{2gf_u^2} - \Delta h_k \quad (15)$$

Przyjmując wstępnie $\Delta h_k = 0$, równanie (15) rozwiązujemy metodą iteracji zakładając w pierwszym przybliżeniu:

$$t_o = \frac{W+p}{2}, \quad t_u = W$$

Powierzchnię przekroju czynnego f_o i f_u dla normalnych kanałów jajowych ($H=1,5 D$) w zależności od wypełnienia t można obliczyć wg wzoru [11]:

dla $0 < t \leq 0,2 r$

$$f = \frac{r^2}{8} (\varphi - \sin \varphi) \quad (16)$$

gdzie:

$$\cos \frac{\varphi}{2} = 1 - 2 \frac{t}{r}$$

dla $0,2 r < t \leq 2r$

$$f = 3,0234 r^2 - 9\varphi r^2 + 2rz - es \quad (17)$$

gdzie:

$$s = \frac{3r \sin(\varepsilon - \varphi)}{\sin \varepsilon}$$

$$z = 2r \operatorname{tg} \varphi$$

$$e = r \left(2 - \frac{t}{r} - \frac{z}{r} \right)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{r} \right)$$

$$\sin \varphi = \frac{1}{3} \left(2 - \frac{t}{r} \right)$$

dla $2r < t \leq 3r$

$$f = 4,5941r^2 - \frac{r^2}{2} (\varphi - \sin \varphi)$$

gdzie:

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{t}{r} - 2$$

Wartości wszystkich kątów występują w mierze łukowej. Po rozwiązaniu równania (15) ze względu na t_o , obliczamy ze wzoru (11), długość krawędzi przelewowej l , a następnie obliczamy wartość Δh_k ze wzoru:

$$\Delta h_k = l i_k$$

gdzie:

i_k — spadek dna komory przelewowej, równy spadkowi dna kanału dopływowego.

Następnie ponownie obliczamy wartość „ t_o ” i „ l ” z uwzględnieniem wartości Δh_k ; czynności te powtarzamy, aż do osiągnięcia żądanej dokładności wyznaczenia długości krawędzi przelewowej w dwóch kolejnych przybliżeniach.

Obliczanie przekroju i długości rury dławiącej

Dla uzyskania spiętrzenia na końcu przelewu do wysokości t_u , należy zaprojektować odpowiedni przekrój i długość rury dławiącej. Średnicę rury dławiącej można obliczyć ze wzoru:

$$d = \sqrt{\frac{4Q_{gr}}{\pi v_r}} \quad (19)$$

gdzie:

v_r — prędkość przepływu, m/s

Długość rury dławiącej powinna być tak zaprojektowana, aby spełniała następujące równania dla przekroju II—III (rys. 1):

dla przepływu $Q_1 = Q_{gr}$

$$i_r l_r + p = \zeta'_1 \frac{V_{r1}^2}{2g} + i_1 l_r + \zeta'_2 \frac{V_{r1}^2}{2g} + W_1 \quad (20)$$

dla przepływu $Q_2 = a \cdot Q_1$

$$i_r l_r + t_u = \zeta''_1 \frac{V_{r2}^2}{2g} + i_2 l_r + \zeta''_2 \frac{V_{r2}^2}{2g} + W_2 \quad (21)$$

Oznaczając:

$$\zeta'_1 \frac{V_{r1}^2}{2g} + \zeta'_2 \frac{V_{r1}^2}{2g} = 0,0825 \frac{Q_1^2}{d^4} (\zeta'_1 + \zeta'_2) = \Delta h_{m1} \quad (22)$$

$$\zeta''_1 \frac{V_{r2}^2}{2g} + \zeta''_2 \frac{V_{r2}^2}{2g} = 0,0825 \frac{Q_2^2}{d^4} (\zeta''_1 + \zeta''_2) = \Delta h_{m2} \quad (23)$$

$$i = \frac{0,0017396 Q^2}{D^{5,33}} = C Q^2 \text{ wg Maninga [2]}$$

dla $n = 0,013$

otrzymujemy:

$$i_r l_r = p - \Delta h_{m1} - C l_r Q_1^2 - W_1 = 0 \quad (24)$$

$$i_r l_r + t_u - \Delta h_{m2} - C l_r a^2 Q_1^2 - W_2 = 0 \quad (25)$$

stąd długość rury dławiącej:

$$l_r = \frac{t_u + W_1 + \Delta h_{m1} - W_2 - \Delta h_{m2} - p}{C Q_1^2 (a^2 - 1)} \text{ (m)} \quad (26)$$

gdzie:

t_u — wysokość spiętrzenia, spowodowana rurą dławiącą obliczona ze wzoru (15); m
 W_1 — napełnienie w kanale odpływowym przy przepływie granicznym $Q_{gr} = Q_1$; m
 W_2 — napełnienie w kanale odpływowym przy przepływie $Q_2 = a Q_1$; m
 Δh_{m1} — straty miejscowe na wlocie i wylocie rury dławiącej spowodowane zmianą przekroju przy przepływie Q_1 ; m
 Δh_{m2} — j. w. lecz przy Q_2 ; m
 p — wysokość krawędzi przelewowej; m.

Rzędna dna kanału odpływowego można obliczyć ze wzoru:

$$R_{od} = R_p + p - \Delta h_1 - W_1 = R_p + p - \Delta h_{m1} - Q_1^2 l_r C - W_1 \quad (25)$$

Natomiast spadek rury dławiącej ze wzoru:

$$i_r = \frac{R_p - R_{od}}{l_r} = \frac{W_1 + \Delta h_{m1} + C l_r Q_1^2 - p}{l_r} \quad (26)$$

Wysokość p przyjmuje się zazwyczaj większą niż napełnienie kanału dopływowego przy przepływie granicznym Q_{gr} . Wlot do rury dławiącej powinien być obniżony o różnicę napełnień tej rury i kanału doprowadzającego przy przepływie Q_{sc} .

Pozostałe oznaczenia użyte w tekście:

α — współczynnik Saint-Venant'a

C — oporność właściwa, s^2/m^6

d — średnica rury dławiącej, m

Δh_1 — całkowita strata ciśnienia (miejscowa i na długości) przy przepływie granicznym Q_{gr} rurą dławiącą, m

Δh_k — różnica dna na początku i końcu komory przelewowej, m

h — wysokość warstwy przelewowej, m

i — spadek linii ciśnienia przy przepływie ścieków rurą dławiącą

i_r — spadek dna rury dławiącej

l — długość przelewu, m

l_r — długość rury dławiącej, m

Q_0 — obliczeniowe natężenie przepływu ścieków w przekroju przed przelewem, m^3/s

r — połowa szerokości przekroju kanału jajowego w pachach, m

t — napełnienie komory przelewowej, m

v_0, v_u, f_0, f_u — prędkości przepływu ścieków i powierzchni czynnika na początku i na końcu komory przelewowej, $m/s, m^2$

ξ_1, ξ_2 — współczynniki strat miejscowych na wlocie i wylocie rury dławiącej.

Wnioski końcowe

1. Wyprowadzone wzory są wzorami opartymi na rozważaniach teoretycznych i wynikach badań innych autorów.

2. Do usprawnienia obliczeń należy wykorzystać EMC, przez wykonanie odpowiedniego programu.

3. Proponowana metoda obliczenia przelewu burzowego z rurą dławiącą jest ważna tylko dla ruchu nadkrytycznego, przy założeniu podobieństwa warunków hydraulicznych i energetycznych występujących w bocznych przelewach bez urządzeń dławiących.

LITERATURA

1. J. ANWIELER: Równanie krzywej spiętrzenia w przedziale przelewu bocznego, Arch. Hydrotechniki, nr 3, 1970 r., s. 353—364.
2. E. CZETWERTYŃSKI: Hydraulika i Hydromechanika, PWN, Warszawa 1958 r., s. 309—314.
3. Hosang/Bischof — Stadtentwässerung. Stuttgart, 1969, s. 101—106.
4. A. HÖRLER, E. HÖRLER: Streichwehre mit niedrigen Überlaufschellen in Kreisförmigen Kanälen GWF — wasser/abwasser, nr 12, 1973, s. 579—584.
5. J. DOBOSZ, T. GRUSZECKI: Analiza metod obliczania przelewów burzowych pod kątem zanieczyszczenia wód odbiornika zrzutami burzowymi. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 5, 1975 r., s. 169—171.
6. F. G. KISELEW: Sprawozdanie z prac nad obliczeniami rasczetam. Moskwa 1974, s. 38—39.
7. Praca zbiorowa: Lehr und Handbuch der Abwassertechnik, Berlin-München, 1967, s. 366—374.
8. G. J. KALLWASS: Drosselblenden am Regenüberlauf, GWF-wasser/abwasser, nr 6, 1968, s. 150—155.
9. L. SCHMITH-RÜM, BITBURG/EIFEL: Bemessung von Regenüberläufen nach dem Verfahren der Drosselstrecke unter Beachtung der Vorläufigen Richtlinien, Wasser und Boden, nr 9, 1965, s. 302—306.
10. A. WECHMANN: Hydraulik, Berlin, 1955, s. 183—191.
11. K. ROSKE: Dimensionslose Größen in der Hydrodynamik der offenen Gerinne, München 1958.

mgr Irena Lubartowicz
mgr Ewa Wojciechowska

Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska
w Łodzi

PRÓBA OCENY STANU CZYSTOŚCI ZBIORNIKA SULEJOWSKIEGO NA PODSTAWIE BADAŃ KONCENTRACJI CHLOROFILU (a)

Zbiornik Sulejowski jest zbiornikiem zaporowym, utworzonym poprzez przegrodzenie tamą rzeki Pilicy. Główną funkcją Zbiornika jest zaopatrywanie aglomeracji łódzkiej w wodę do picia i do celów przemysłowych. Badania Zbiornika Sulejowskiego prowadzone są co roku, na czterech ustalonych stanowiskach badawczych, które są zlokalizowane:

- w części początkowej Zbiornika (Barkowice Mokre)
- w części końcowej Zbiornika (Tresta)
- dwa stanowiska pośrednie między w.w., usytuowane w Zarzęcinie i Bronisławowie.

Badaniami przeprowadzonymi w roku 1982 i 1983 objęto okres wiosenno-letni: maj, czerwiec i sier-

pień (od zakończenia cyrkulacji wiosennej, aż do końcowej fazy stagnacji letniej).

Na stanowiskach badawczych próby pobierano w układzie pionowym (począwszy od powierzchni), z wybranych głębokości, uzależniając je od aktualnych stanów wody.

W pobranych próbach wykonywano analizy fizyko-chemiczne, bakteriologiczne i hydrobiologiczne.

Oznaczenia koncentracji chlorofilu (a) wykonywano tylko w warstwie powierzchniowej Zbiornika.

Powyższe badania przeprowadzono w oparciu o metodykę zamieszczoną w „Instrukcji wdrożeniowej systemu oceny jakości jezior” — opracowanej na zlecenie Departamentu Ochrony Środowiska Ministr. Administr. Gosp. Teren. i Ochr.

Środowiska w Instytucie Kształtowania Środowiska — Zakład Użytkowania Wód w W-wie, przez: dr Danutę Kudelską, mgr Dorotę Cydzik i mgr Hannę Soszkę.

W.w. metodykę w trakcie prowadzenia badań konsultowano z Instytutem Kształtowania Środowiska — Zakład Użytkowania Wód w Warszawie.

Niżej podajemy rysunki, przedstawiające wykresy koncentracji chlorofilu (a) w fitoplanktonie warstwy powierzchniowej Zbiornika Sulejowskiego.

Rysunek nr 1 przedstawia wyniki uzyskane w trakcie badań wykonanych w 1982 r., rysunek nr 2 wyniki uzyskane w roku 1983.

W związku z prowadzonymi badaniami chlorofilu (a), zachodzi konieczność interpretacji uzyskanych wyników, celem ustalenia odpowiedniej klasy czystości. Do tej pory spotkał się jedynie z propozycją takiej interpretacji, w wymienionej wcześniej „Instrukcji wdrożeniowej”, w której podano „proponowane wskaźniki stanu czystości wód jeziornych dla 3 klas”. Z propozycji tych wynika, co następuje: