

SŁAWOMIR BAJKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

TRANSPORT ZANIECZYSZCZEŃ PRZEZ PRZEPUSTY DROGOWE*

Streszczenie. Zadaniem budowli wodnych jest utrzymanie piętrzenia, ale również spadku podłużnego cieków, zabezpieczenie koryta przed erozją oraz transport rumowiska rzeczno-przekrój piętrzenia. W artykule poddano analizie warunki działania wydłużonego przewodu przepustu na Potoku Służewieckim. Jest to stary przepust pod ul. Łączyny, do którego dobudowano dwuprzewodowy rurociąg. Warunki te badano w celu określenia stopnia ograniczenia zdolności przepustowej obiektu kratą wlotową wykonaną powyżej starej konstrukcji przepustu. Analizowano również warunki transportu zanieczyszczeń płynących z wodą, w szczególności tych, które powodują zatykanie się kraty wlotowej. Znaczący wpływ na ograniczenie przepustowości obiektu ma dobudowany rurociąg. Dodatkowym elementem znacznie zmniejszającym przepustowość obiektu jest krata. Powoduje ona duże spiętrzenie wody, dlatego należy dbać, aby nie nastąpiło jej zatkanie.

Słowa kluczowe: przepust, rumowisko, zanieczyszczenia

Wstęp

Wody cieków transportują w swojej masie rumowisko unoszone, a w strefie dennej rumowisko wleczone. Rodzaj materiału, tworzenie się i rozwój form dennych oraz reżim transportu wynikają z warunków hydrograficznych zlewni, hydrologicznych rzeki oraz geomorfologicznych koryta. Razem z wodą płyną powierzchniowe zanieczyszczenia unoszone na zwierciadle wody. W większości są to zanieczyszczenia pochodzenia roślinnego: części roślin uprawnych, trawy, gałęzie, a czasami konary lub całe pnie drzew. Duży udział w grupie zanieczyszczeń pływających stanowią materiały pochodzące z działalności człowieka. Większość tych zanieczyszczeń dostaje się do rzek w okresach wezbrań, kiedy to występująca z brzegów woda splukuje je z terenów zale-

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy.

wowych. Z obserwacji terenowych wynika, że w znacząco dużej ilości są to zużyte opakowania, szczególnie opakowania plastikowe, które łatwo są porywane przez wodę.

Trudne w eksploatacji są obiekty rurowe o zmiennym reżimie przepływu – działające przemiennie z przepływem swobodnym i ciśnieniowym. Obiektami takiego typu są przepusty drogowe. Ich różnicowany reżim hydrauliczny ogranicza możliwości przepuszczania zanieczyszczeń. Zatopienie wlotu sprzyja gromadzeniu się zanieczyszczeń powierzchniowych, a przepływ swobodny – wpływu ich do przewodu. Większość przepustów nie posiada krat wlotowych. Ich stosowanie jest wymagane tylko w sytuacjach, gdy rurociąg przepustu jest długi. Wydłużony przewód powoduje zmianę warunków przepływu, ogranicza przepustowość, utrudnia utrzymanie jednakowego spadku przewodu oraz eksploatację i konserwację.

W artykule poddano analizie warunki przepływu zanieczyszczeń płynących z wodą powodujących zatykanie się kraty wlotowej. Przedstawiono wyniki obliczeń hydraulicznych przepustu z zainstalowaną kratą wlotową, ustalając krzywe wydatku dla różnych stopni jej zatkania. Wyniki obliczeń porównano z pomiarami terenowymi oraz podano sposób interpretacji przepustowości obiektu w różnych warunkach zatkania kraty.

Przepływ zanieczyszczeń przez budowle

Niekorzystne warunki przepływu zanieczyszczeń płynących występują przy przepuszczaniu wody przez otwory zatopione, np. pod zamknięciami, lub przez wloty ujść. Zanieczyszczenia płynące na powierzchni wody gromadzą się przed zamknięciami. Zapewnienie nawet niewielkiego przepływu nad zamknięciem w dużym stopniu polepsza warunki transportu zanieczyszczeń powierzchniowych, szczególnie niewielkich, jak płynące części roślin. Zaleca się więc stosowanie zamknięć dwudzielnych, pozwalających na utrzymanie takiego przepływu.

Dla ochrony przed dostawaniem się zanieczyszczeń do ujść oraz wlotów przewodów ciśnieniowych stosuje się kraty lub sita (ROZPORZĄDZENIE... 2007). Konstrukcje te mają na celu wstępne oczyszczenie wody i ochronę dalszych urządzeń przed uszkodzeniami.

Sposób przeprowadzania zanieczyszczeń przez budowle wodne zależy od rodzaju budowli, ich konstrukcji oraz charakteru zanieczyszczeń. Przepływ zanieczyszczeń gwarantowany jest odpowiednim doбором wymiarów otworów przelewowych. Ilość oraz szerokości otworów przelewowych gwarantujących przepuszczenie zanieczyszczeń i prawidłową eksploatację obiektów w czasie przejścia lodów należy określać zgodnie z ROZPORZĄDZENIEM... (2007).

Dla budowli o ciągłym dozorze, jak pompownie i ujęcia, zanieczyszczenia z krat są usuwane przez obsługę, ręcznie lub mechanicznie. W obiektach bez stałego dozoru, kontrolowanych okresowo, może dochodzić do sytuacji, w których gromadzące się zanieczyszczenia ograniczają pole przepływu wody, powodując jej spiętrzenie oraz wzrost obciążeń. Kraty powinny być regularnie czyszczone, a w obliczeniach należy przewidzieć możliwość ich zatkania, uwzględnić wpływ zatkania w obliczeniach wydatku oraz podać sposób postępowania w takiej sytuacji. Warunkiem bezpiecznej pracy otworów zabezpieczonych kratami jest utrzymanie ich w pełnej czystości.

Płynące z wodą zanieczyszczenia gromadzą się w obszarach, w których zmniejszają się prędkości powierzchniowe, pojawiają się wiry pionowe lub zwięża się szerokość pola

przepływu. Część z nich zatrzymuje się w strefach roślinności brzegowej, a niektóre gromadzą się powyżej budowli wodnych. Obiekty z przepływem powierzchniowym typu przelewów nie stanowią większej przeszkody dla płynących z wodą zanieczyszczeń, jednak gdy są to elementy wielkogabarytowe, takie jak kłody lub pnie drzew, mogą one klinować się w otworach przelewów. Aby temu zapobiec, szerokości pojedynczych otworów projektuje się nie mniejsze niż zalecane wymiary minimalne. Na budowłach zanieczyszczenia gromadzą się w obszarach zastoiskowych tworzących się w strefach zakrytych, w tzw. głuchych częściach piętrzenia, poza skrzydłami górnymi oraz na konstrukcjach znajdujących się w strumieniu, jak filary i podpory.

Na rysunku 1 pokazano zanieczyszczenia zgromadzone powyżej zamknięć jazów jazowych, w których woda przepływa przez otwory denne pod uniesionymi zamknięciami. W świetle sąsiednich otworów z przepływem powierzchniowym zanieczyszczenia powierzchniowe nie gromadzą się.



Rys. 1. Zanieczyszczenia gromadzące się powyżej zamknięć jazów
Fig. 1. Debris accumulating under weirs gates

Obiekt badawczy

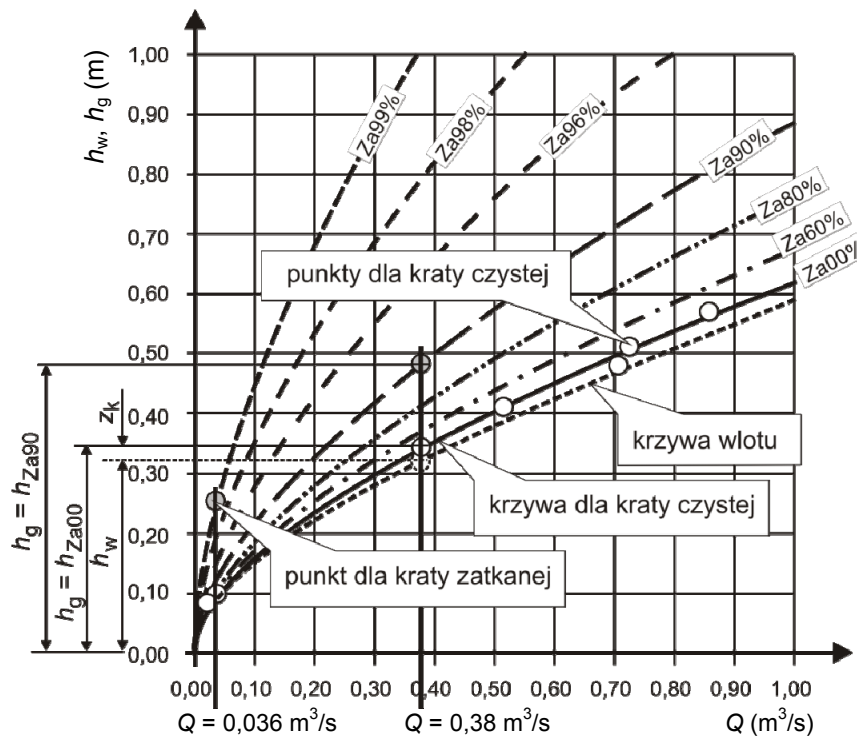
Przedstawione w artykule analizy dotyczą przepustu na Potoku Służewieckim składającego się ze starej murowanej części pod ul. Łączyny, o długości 7,0 m, oraz z dobudowanego poniżej rurociągu o łącznej długości 170,0 m (BAJKOWSKI 2008). Początkowy odcinek przepustu ma żelbetowe przyczółki oraz murowany z cegły przełazowy przewód o szerokości 1,56 m i spadku dna $J_{r1} = 1,71\%$. Oś murowanej części przewodu jest usytuowana pod kątem 15° w stosunku do ściany czołowej wlotu. Poniżej starego przepustu dobudowano dwuprzewodowy rurociąg. Na połączeniu obu części wykonano komorę rozdzielczą dostosowaną do zmieniających się kształtów przewodów.

Linia osi początkowego odcinka nowego rurociągu 2xD1200 jest odchylona od osi murowanej części przepustu o kąt 4° . W odległości 7,0 m od komory rozdzielczej przewód przepustu załamuje się w prawo pod kątem 30° , a 17,0 m poniżej występuje ponowne załamanie, tym razem w lewo pod kątem 27° . Przewód o średnicy 2xD1200 wykonano ze spadkiem $J_{r2} = 0,20\%$. Poniżej tego załamania, w odległości 28,0 m znajduje się komora zbiorcza o długości 4,0 m, do której doprowadzony jest z lewej strony

przewód kanalizacji deszczowej o średnicy D800 mm. Od komory zbiorczej przewód został wykonany z rur 2xD1400 mm. Jego długość jest równa 112,0 m, a spadek $J_{r3} = 0,18\%$. W odległości 83,0 m poniżej komory zbiorczej rurociąg załamuje się w lewo pod kątem 22° . Wylot przepustu poza przewodem 2xD1400 mieści też rurociąg o średnicy D600 mm, wpadający z lewej strony.

Charakterystyka hydrauliczna

Krzywe wydatku przepustu opracowano według ROZPORZĄDZENIA... (2000), dla poziomego i prostokątnego kształtu wlotu, uwzględniając wpływ podtopienia wodą dolną. Dno wlotu do przewodu przepustu ukształtowane jest w formie przelewu trójkątnego. Dla niepełnego przelewu wlotowego obliczenia prowadzono według wskazówek zawartych w OBLICZENIACH... (1986). Podstawowa krzywa wlotu 1 na rysunku 2 została odniesiona do głębokości wody h_w poniżej kraty. W warunkach, gdy występująca na wlocie krata jest czysta, wydatek przepustu odzwierciedla krzywa 2 na rysunku 1 oznaczona $Za00\%$. Pozostałe krzywe pokazane na rysunku 1 opracowano dla przyjętych stopni zatkania kraty, wynoszących: 60%, 80%, 90%, 96%, 98%, 99%, definiując je jako procentowe ograniczenia prześwitu pomiędzy prętami kraty.



Rys. 2. Krzywe przepustowości przepustu
Fig. 2. Discharge curves of the culvert

Stopień zatkania kraty powoduje okresowe spiętrzenie wody przed przepustem. Obliczając straty na kracie przy różnych stopniach jej zatkania, założono, że zatrzymywane zanieczyszczenia nie wpływają na zmianę kształtu elementów kraty oraz że zatkanie jest jednakowe na całej długości odcinków prętów znajdujących się pod wodą. W obliczeniach przyjęto szerokość kraty równą długości jej oparcia po obrysie kładki. Kształt dolnego obrysu otworu kraty odpowiadał rzeczywistemu kształtowi koryta wzdłuż linii oparcia poszczególnych prętów kraty. Znaczący wpływ stopnia zatkania na kształt krzywej występuje przy ograniczeniu prześwitu pomiędzy prętami przekraczającym 80%.

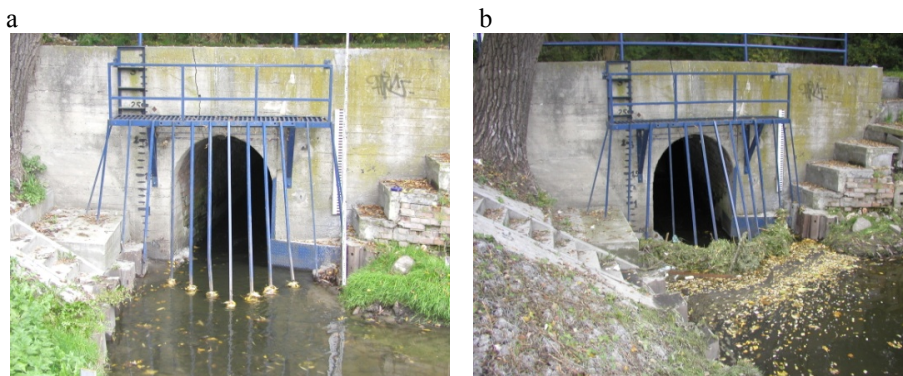
Analizy porównawcze

Wyniki pomiarów hydrometrycznych wykonanych w przekroju powyżej przepustu zestawiono w tabeli 1. Przepustowość obiektu (rys. 2) odniesiono do napelnień obliczonych względem rzędnej progów wlotowych; powyżej kraty h_g ($h_g = WG$ (m) – 0,13) oraz poniżej h_w ($h_w = h_g - z_k$), gdzie: WG – stan na wodowskazie (m), z_k – spiętrzenie na kracie. Punkty pomiarowe wykonane przy czystej kracie wlotowej naniesione na wykres przepustowości układają się w pobliżu „krzywej dla kraty czystej” oznaczonej $Za00\%$. W trakcie prac inwentaryzacyjnych wykonano kontrolne odczyty na wodowskazie, w różnych warunkach zatkania kraty. Na rysunku 3 a pokazano warunki przepływu występujące w dniu 3.10.2007 o godz. 14⁰⁰ odpowiadające czystej kracie wlotowej dla stanu odczytanego na wodowskazie WG równego 22,5 cm ($h_g = 0,095$, $h_w = 0,090$, $z_k = 0,005$). Obliczone natężenie przepływu $Q = 0,036$ m³/s. Analizowany punkt pomiarowy układu się na „krzywej dla kraty czystej” odpowiadającej zatkananiu $Za = 00\%$ (rys. 2).

Tabela 1. Zestawienie pomiarów natężenia przepływu
Table 1. Discharge measurements results

Lp.	Data	Q (10^{-3} m ³ /s)	WG (10^{-2} m)	h_g (m)	h_w (m)	z_k (m)	Warunki działania kraty
1	16.05.2007	0,518	54,0	0,41	0,39	0,02	Czysta
2	19.06.2007	0,709	63,0	0,50	0,47	0,03	Czysta
3	28.07.2007	0,723	64,0	0,51	0,48	0,03	Czysta
4	27.09.2007	0,021	21,0	0,08	0,07	0,01	Czysta
5	3.10.2007	0,036	22,5	0,095	0,090	0,005	Czysta
6	8.10.2007	0,036	38,0	0,25	0,10	0,15	Zanieczyszczona
7	19.10.2007	0,853	70,0	0,57	0,53	0,04	Czysta

Warunki przepływu zaobserwowane w dniu 8.10.2007 o godz. 9⁰⁰ pokazane na rysunku 3 b odpowiadają prawie całkowitemu zatkananiu kraty, powodującemu spiętrzenie na kracie z_k wynoszące 0,15 m. W tym czasie stan wody na wodowskazie WG wynosił



Rys. 3. Wlot do przepustu: a – kratka czysta, b – kratka zanieczyszczona
 Fig. 3. Culvert intake: a – clean grille, b – stuffy grille

38,0 cm, a głębokość wody na wlocie $h_w = 0,10$ m; odpowiadało to przepływowi $Q \cong 0,036$ m³/s. Punkt dla tego pomiaru ułożyl się (rys. 2) w pobliżu krzywej określonej dla stopnia zatkania kraty $Z_a = 99\%$. Jest to sytuacja, w której dla różnych wielkości WG występują podobne natężenia przepływu.

Gdy kratka jest zanieczyszczona, należy na hydrogramie przepływu uwzględnić spiętrzenie wody powstałe pod wpływem zatrzymujących się na niej zanieczyszczeń. Gromadzące się na kracie zanieczyszczenia powodują zmianę stopnia jej zatkania oraz spiętrzenie na niej wody, co wpływa na deformację hydrogramu stanów. Wykonując ciągle pomiary stanów, należy jednocześnie kontrolować warunki przepływu na kracie, a w okresach jej zatkania redukować wskazania urządzeń.

W odniesieniu do badanego obiektu określenie aktualnego natężenia przepływu z wykorzystaniem przedstawionych krzywych zależy od warunków panujących na kracie. Przykład takiego przeliczenia pokazano na rysunku 2 dla przepływu 0,38 m³/s. Gdy w czasie odczytu kontrolnego z łaty kraty wlotowa jest czysta, przepływ dla głębokości h_g obliczonej według aktualnego stanu WG należy określić z „krzywej dla kraty czystej” ($Z_a = 00\%$). W sytuacji, gdy na kracie znajdują się zanieczyszczenia, należy oszacować głębokość wody poniżej kraty nad dnem wlotu h_w . Natężenie przepływu dla tej głębokości wyznaczamy z „krzywej wlotu”. Następnie, nanosząc na wykres punkt odpowiadający wartości stanu odczytanego na wodowskazie WG oraz wyznaczonemu natężeniu przepływu, określamy obliczeniowy stopień zatkania kraty. Prosta pozioma wyprowadzona z punktu przecięcia się linii pionowej przepływu z krzywą $Z_a00\%$ wyznacza głębokość wody h_g , zredukowaną do warunków odpowiadających czystej kracie.

Wnioski

1. Stosowanie krat na obiektach wodnych bez stałego nadzoru może prowadzić do ich zatykania się i zmian przepustowości obiektu.
2. Kraty czyste nie stanowią przeszkody dla przepływu rumowiska rzecznego.

3. Znaczący wzrost strat na badanej kracie występuje przy zatkaniu przekraczającym 80%.

4. Zatkanie krat zanieczyszczeniami pływającymi ogranicza zdolność transportową rumowiska.

5. Zatrzymywaniu się zanieczyszczeń pływających sprzyja występowanie przepływu spod zamknięć, kiedy to górna krawędź zamknięcia jest wzniesiona ponad zwierciadło wody.

6. Niewielki przepływ nad zamknięciami gwarantuje transport drobnych zanieczyszczeń pływających przez przekrój piętrzenia.

7. Kraty wlotowe urządzeń wodnych należy utrzymywać w pełnej czystości.

Literatura

BAJKOWSKI S., 2008. Transport rumowiska przez przepusty drogowe. Przegl. Nauk. Inż. Kształt. Środ. 17, 2(40): 127-135.

OBLICZENIA hydrauliczne przelewów budowli wodnomelioracyjnych. 1986. Bibl. Wiad. IMUZ 67.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. 2000. Dz. U. 63, poz. 735.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. 2007. Dz. U. 86, poz. 579.

DEBRIS TRANSPORTATION THROUGH ROAD CULVERTS

Summary. The task of water structures is maintain damming as well as protect river bed against erosion and transport river sediment by dam section. This article analyses working conditions of an elongated pipeline of culvert in the Służewiecki Stream. It is an old culvert under Łączyny street to which two-wire pipeline was added. These conditions were examined with the aim to evaluate the degree of discharge limitation of the object by the inlet screen executed above an old construction of a road culvert. Moreover the conditions of debris transportation were analysed, particularly these clogging an inlet screen. Significant influence on limitation of capacity of object has an annexed pipeline The trash screen is another element that considerably reduces capacity of the object. It causes large damming up of water and therefore its clogging should be prevented.

Key words: culvert, sediment, debris

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Sławomir Bajkowski, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, Poland, e-mail: slawomir_bajkowski@sggw.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

28.04.2009

Do cytowania – For citation:

*Bajkowski S., 2009. Transport zanieczyszczeń przez przepusty drogowe. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #79.*