

Sławomir BAJKOWSKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w Warszawie
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS – SGGW

Wpływ zabudowy przepustów na ich wydatek Effect of the culverts overbuilding on their capacity

Słowa kluczowe: przepust, przejście dla zwierząt, rumowisko, przepustowość

Key words: culvert, passage for animals, sediment, capacity

Wprowadzenie

Ostateczne kształty i wymiary wlotów, wylotów oraz przewodów przepustów drogowych wynikają z warunków hydrologicznych występujących w przekroju oraz ograniczeń projektowych wynikających z warunków zachowania bezpieczeństwa ruchu drogowego. Ograniczenia te, jako wskazówki projektowe w formie ogólnych zaleceń lub liczbowych zakresów stosowania, podane są w obowiązujących aktach prawnych. Zachowanie ich ogranicza stosowanie niektórych konstrukcji przepustów do wybranych warunków terenowych. Ograniczenia projektowe można zakwalifikować do jednej z następujących kategorii:

- hydrologiczno-hydraulicznych,
- przyrodniczo-ekologicznych,
- konstrukcyjnych.

W artykule przedstawiono wybrane ograniczenia projektowe, mające wpływ na ostateczny zakres stosowania przepustów. Do analiz wykorzystano nomogramy opracowane dla przepustów o prostokątnym przekroju przewodu z rozchylonym wlotem oraz dla przepustów z „rozmywanym” dnem (Przepusty drogowe 2004, 2007). Nomogramy opracowano dla przewodów przepustów pracujących ze swobodnym zwierciadłem wody. Przepływ swobodny występuje, gdy głębokość wody na wlocie, określonej jako suma napelnienia oraz spiętrzenia w korycie, nie przekroczy więcej niż o 20% wysokości czynnej przewodu (Rozporządzenie... 2000). Parametry te określa się dla warunków, dla których projektowana jest przeprawa przy przepływie miarodajnym.

Projektując przepusty drogowe z zabudowanymi rurociągami, należy uwzględnić dynamikę przepływu rumowiska w cieku oraz zmienne warunki transportu na długości rurociągu. Rumowisko rzeczne jest materiałem wypełniającym przestrzenie w kamiennych konstrukcjach przejść dla zwierząt oraz

w narzucie dennym. Odkłady rumowiska powodują, że powierzchnia sztucznej zabudowy upodabnia się do naturalnego dna cieków, co gwarantuje utrzymanie ciągłości form rzecznych w przewodzie przepustu.

W artykule omówiono analizy, których celem było określenie wpływu zabudowy przewodów przepustów ścieżkami do przechodzenia zwierząt przez ciągi komunikacyjne oraz dennymi odkładami rumowiska gwarantującymi ciągłość migracyjną dla organizmów wodnych. Przedstawione analizy obejmują studium wpływu wprowadzonych zmian przekroju poprzecznego rurociągów przepustów na ich przepustowość.

Praca ta finansowana była ze środków na naukę w latach 2008–2011 jako projekt badawczy.

Wymagania projektowe

Projektowanie przepraw drogowych przez cieki w formie przepustów wymaga odniesienia kształtów i wymiarów przewodów przepustów do wymagań hydrologicznych, hydraulicznych, przyrodniczych oraz technicznych.

Wymagania hydrologiczne dotyczą oceny ilości wody będącej podstawą do wymiarowania przewodu przepustu. W większości projektowanych przepustów oszacowanie natężenia przepływów obliczeniowych z racji na niewielkie powierzchnie zlewni zamykających przekroje obliczeniowe prowadzi się metodami pośrednimi (Stachy i Fal 1986). Przepływy o wymaganym prawdopodobieństwie uzyskuje się, wykorzystując przepływy obliczone wzorami empirycznymi. Metody statystyczne oraz analogii (Byczkowski 1999) mają

zastosowanie do określania przepływów dla większych cieków, na których stosuje się przeprawy mostowe. Gdy przepusty spełniają rolę zespolonych przejść dla zwierząt, powinno się określać nie tylko przepływ prawdopodobny ($Q_{p\%}$) ale również przepływ średni (SQ).

Wymiarowanie hydrauliczne prowadzi do obliczenia wymiarów przewodu przepustu przy zachowaniu warunków bezpiecznego przepływu wody miarodajnej. Dla przepływów tych przewody powinny spełniać wymagania podane w Rozporządzeniu... (2000). Prezentowane w nim zasady obliczeń pozwalają na opracowanie pełnych krzywych wydatku w zakresie spodziewanych spiętrzeń na budowli.

Wymagania przyrodnicze stawiane przepustom to przystosowanie ich konstrukcji do przechodzenia przez ich przewody dzikim zwierzętom i przepływ organizmów wodnych. Dotyczy to kompozycji elementów wlotowych oraz wyboru kształtu przewodu. W przepustach położonych na ciekach stale prowadzących wodę wymagane jest wykonanie specjalnych przejść dla zwierzyny. Jednak każda modyfikacja kształtu przewodu przepustu, wlotu lub wylotu zmienia jego parametry hydrauliczne. Projektując przepusty zespolone powinniśmy być świadomi kierunku i zakresu oddziaływania tych zmian na przepustowość obiektu.

W odniesieniu do przepustów zespolonych ich wymiary należy projektować, uwzględniając wymagania stawiane przejściom dla zwierząt. Jak podają Bajkowski i Marzysz (2004), ich przewody mogą być wykorzystywane wyłącznie na przejścia dla małych i średnich zwierząt. Dla zwierząt większych należy budować mosty lub przejścia górne.

Wymagania prawne

Opracowane w ostatnich latach warunki techniczne dotyczące dróg oraz drogowych obiektów inżynierskich podają ogólne wymagania, jakie powinny spełniać budowle, aby mogły być wykorzystywane przez migrujące w strefie pasa drogowego zwierzęta. Rozporządzenie... (2000) wprowadza konieczność uwzględniania w cyklu projektowym wymagań środowiskowych. W §1, ust. 3, dotyczącym wymagań stawianych drogowym obiektom inżynierskim w pkt. 6 podany jest wymóg uwzględniania w ich projektowaniu „...ochrony środowiska przyrodniczego”. Według autora interpretacja podstawowych wymagań projektowych dla przepustów przystosowanych do przechodzenia zwierząt i migracji przez ich rurociągi organizmów podanych w Rozporządzeniu... (2000) jest następująca:

1. §40. 3. Ze względu na utrzymanie ciągłości ekosystemu dopuszcza się niewielkie zamulenie w przepustach na ciekach stale prowadzących wodę.

Rozporządzenie dopuszcza projektowanie przepustów z przewodami częściowo wypełnionymi materiałem rzeczywym lub sztucznie zabudowanym dnem. Utrzymanie niwelety dna na odcinku przeprawy wymaga w takiej sytuacji obniżenia przewodu przepustu w stosunku do rzędnych cieków. Gdy zabudowa ta zostanie wykonana z materiału dennego, może ulec rozmyciu przy przejściu wezbrania. Wykonanie jej z zachowaniem stabilności obudowy wymaga użycia materiału kamiennego o dużych wymiarach. Projektując takie przepusty, należy uwzględnić możliwość zmiany przepustowości obiektu wskutek rozmy-

cia zabudowanej lub namulonej części przewodu.

2. §44. 1. Dopuszcza się wykorzystanie przepustów jako przejść dla mniejszych zwierząt poprzez odpowiednie zwiększenie ich światła i uformowanie przekroju, stosownie do wymagań.

2. Przepusty przewidziane do przechodzenia małych zwierząt powinny mieć uformowaną ścieżkę dla zwierząt o szerokości nie mniejszej niż 0,5 m, wzniesioną ponad zwierciadło średniej wody w przepuście.

W przekroju poprzecznym przewodów przepustów przeznaczonych na przejścia dla zwierząt należy wydzielić część wykorzystywaną przez zwierzęta oraz koryto prowadzące wodę. Ich wymiarowanie należy prowadzić na podstawie dwóch przepływów obliczeniowych: jednego określonego dla złożonego przekroju przewodu, drugiego – dla koryta wewnętrznego. Zabudowa powierzchni przekroju poprzecznego przewodu przepustu jedną lub dwiema symetrycznymi ścieżkami, biegnącymi wzdłuż ścian przewodu, oraz ich szorstka powierzchnia ograniczają zdolność przepustową obiektu. Ukształtowany w ten sposób przekrój poprzeczny jest przekrojem hydraulicznie złożonym, do którego wymiarowania należy stosować metody obliczeniowe, wykraczające poza stosowane dla prostych przepustów wodnych.

Wydzielenie w przewodzie przepustu ścieżki dla zwierząt, szczególnie w przewodach o minimalnej szerokości, może być trudne, a czasami wręcz niemożliwe. Porównania minimalnych wymiarów przewodów przepustów ze względu na kryterium konstrukcyjne, wodne i przechodzenia zwierząt do-

konali w swoim artykule Bajkowski i Marzysz (2004). Minimalne wymiary przekroju poprzecznego przewodów wodnych przejść zespolonych dla zwierząt, określone na podstawie kryterium prowadzenia wody, są znacznie mniejsze od wartości ustalanych z warunków przechodzenia zwierząt. Zachowanie minimalnych wymiarów przejść nie gwarantuje, że zwierzęta będą chętnie z nich korzystały. O skuteczności wykorzystywania przejść decydują nie tylko wymiary, ale ich lokalizacja, bezpośrednie otoczenie, łatwość dostępu oraz rodzaj i stan powierzchni ścieżek.

Ścieżki dla zwierząt

Wyróżnia się przejścia: małe dla płazów i gadów, średnie, z których korzystają małe i średnie ssaki, oraz duże dla większych ssaków. W zależności od usytuowania przejścia względem niwelety drogi mamy przejścia dolne oraz górne. Pod względem pełnionej funkcji podzielono je na samodzielne, służące wyłącznie zwierzętom, oraz zespolone, pełniące jednocześnie inne funkcje, w tym prowadzenie wody (Katalog... 2002). Ruch zwierząt w przewodzie przepustu odbywa się na jednej lub dwóch półkach umieszczonych wewnątrz przepustu i wzniesionych powyżej poziomu wody w cieku. Półki powinny być umocnione w celu zabezpieczenia ich przed rozmyciem.

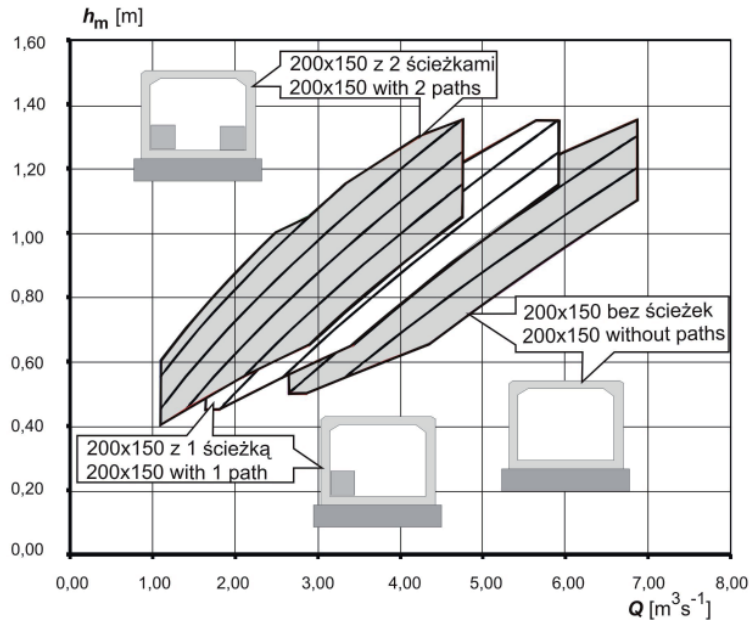
Parametry wodnych przejść zespolonych zależą od geometrii przekroju poprzecznego oraz poziomów wody w cieku płynącym wzdłuż przeprawy. W przekroju poprzecznym tego typu przejść wydziela się część przekroju za-

jętą przez płynący strumień, powierzchnie położone nad lewą i prawą ścieżką oraz nad zwierciadłem wody. Szerokość i wysokość wolnej przestrzeni dla zwierząt ulegają okresowym zmianom – zależą od poziomu wody w cieku (Bajkowski i Witczak 2005). Gdy napelnienia przewyższą poziom ścieżki, woda zajmuje całą szerokość przewodu i przejście jest niemożliwe (Bajkowski i Marzysz 2005).

Ścieżki dla zwierząt wprowadzone do przewodu przepustu ograniczają jego przepustowość. Pokazano to na przykładzie prostokątnego przepustu szerokości 2,00 m i wysokości 1,50 m (rys. 1). Obszar doboru przepustu z jedną i dwiema ścieżkami położone są po lewej stronie obszaru działania przepustu pustego. Wprowadzenie do przewodu kolejno jednej i dwóch ścieżek spowodowało odpowiednio zmniejszenie maksymalnego wydatku z $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dla przewodu pustego do $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i do około $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Odkłady rumowiska

W wodnych przejściach zespolonych zwierzęta wykorzystują do przejścia nie tylko utwardzone ścieżki biegnące wzdłuż ścian, ale również odsłonięte przez wodę pasy zewnętrzne części koryta cieku. Gdy głębokości strumienia nie są zbyt duże, niektóre zwierzęta (np. sarny) przechodzą korytem cieku, brodząc w wodzie. Z płynącą wodą przemieszczają się również organizmy wodne, dzięki zmniejszonym prędkościom wynikającym z szorstkiej powierzchni dna. W okresach występowania pokrywy lodowej znaczna część zwierząt przecho-



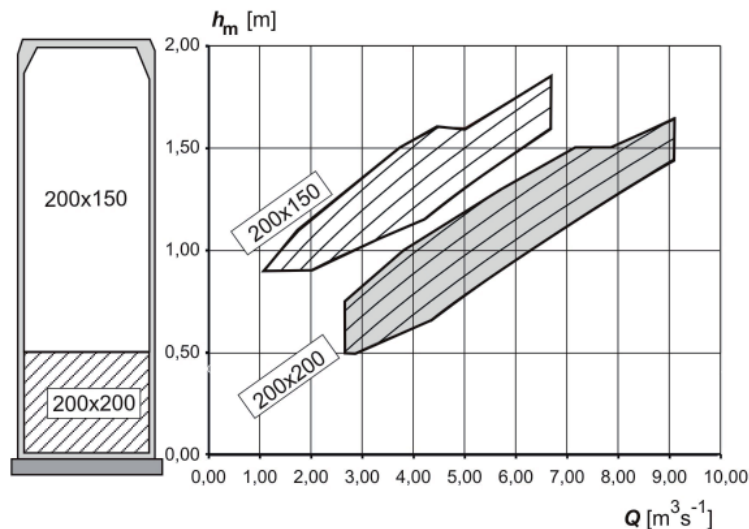
RYSUNEK 1. Obszary stosowania przepustów zespolonych
 FIGURE 1. Working areas of the common culverts

dzi po lodzie. Transportowane z wodą rumowisko jest częściowo zatrzymywane w zabudowanych rurociągach przepustów na szorstkich powierzchniach ścieżek i okładzinach dna. Rumowisko wypełnia przestrzeń pomiędzy kamieniami, tworząc powierzchnie zbliżone do dna i skarp cieku oraz występujących na dojsściach do obiektu. Materiał ten jest wynoszony z przewodu w czasie wezbrań i ponownie odkłada się w okresach niżówkowych. Projektując takie przepusty, należy uwzględnić duże zróżnicowanie ich przepustowości wynikające z okresowego rozmycia dna.

Transport rumowiska w cieku zależy od jego rodzaju, składu granulometrycznego materiału oraz parametrów hydraulicznych strumienia i stopnia zabudowy cieku. Przeszkody znajdujące się w cieku zmieniają formy przepływu wody

i zaburzają ustalony reżim transportu rumowiska. Do przeszkód tych zaliczamy nieciągłości spadku podłużnego, zmiany kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego koryta oraz budowle wodne. Zmiana reżimu przepływu rumowiska na odcinku przepustu wynika przede wszystkim z występowania dolnej zabudowy przekroju – w formie progów, oraz bocznej – wloty i ich skrzydełka. Konstrukcje te zaburzają strumień, powodując zmiany jego parametrów hydraulicznych, które decydują o zdolności transportowej strumienia. Głównymi obszarami, w których gromadzi się rumowisko w przepustach, jest stanowisko górne, zagłębienia w konstrukcji oraz stanowisko dolne.

Na rysunku 2 pokazano obszary stosowania przepustu o wymiarach 200×200 z częściowym wypełnieniem przewodu rumowiskiem. Obszar dla prze-



RYSUNEK 2. Obszary stosowania przepustów zamulonych
 FIGURE 2. Working areas of the slimy culverts

wodu „200 × 150 zamulonego” ustalono przy uwzględnieniu wypełnienia dna warstwą 0,5 m materiałem rzeczonym. Początkowy przekrój przewodu 200 × 150 posiadał zróżnicowaną szorstkość obwodu zwilżonego. Rumowisko wypełniające dno, tworzące powierzchnię przelewu wlotowego charakteryzuje się większą chropowatością niż pozostała część betonowego przewodu. W wyniku procesów erozyjnych materiał rzeczny jest wypłukiwany i może dojść do całkowitego odsłonięcia przewodu 200 × 200. W warunkach utrzymania przepływu na odcinku przepustu obszar doboru przewodu „200 × 200 czystego” uległ przesunięciu względem poprzedniego. Przesunięcie to wynika z faktu obniżenia się dna oraz zwiększenia wydatku wynikającego z większych wymiarów rurociągu i zmian szorstkości powierzchni wzdłuż obwodu zwilżonego. Zakres przepływu od 1,2 do 6,8 m³·s⁻¹ dla przewodu „200 × 150 zamulonego” zwiększył się do 2,8

i 9,2 m³·s⁻¹ dla przewodu „200 × 200 czystego”.

Podsumowanie

Przewody przepustów drogowych mogą spełniać rolę przejść zespolonych dla zwierząt; łącząc funkcje związane z prowadzeniem wody oraz przechodzeniem zwierząt. Połączenie tych dwóch funkcji, charakteryzujących się często przeciwnymi wymaganiami, stwarza konieczność indywidualnego traktowania każdego z obiektów. Zarówno warunki przepływu wody, jak i przejścia ulegają okresowym zmianom. Opracowane w ostatnich latach warunki techniczne dotyczące dróg oraz drogowych obiektów inżynierskich podają ogólne wymagania, jakie powinny spełniać wodne budowle drogowe, aby mogły być wykorzystywane przez zwierzęta migrujące w strefie pasa drogowego.

Projektowanie wodnych przejść zespolonych dla zwierząt powinno opierać się na jednoczesnych analizach przepływu wody oraz warunków przechodzenia zwierząt. W przepustach drogowych można projektować przejścia dla małych i średnich ssaków. Do przechodzenia większych zwierząt należy wykonywać przeprawy mostowe lub przejścia górne (ekodukty).

Przepływ obliczeniowy do zwymiarowania koryta wewnętrznego zaleca się określać indywidualnie, kierując się kryterium jak najdłuższego okresu dostępności ścieżek dla zwierząt. Przyjmowanie przepływu średniego do wymiarowania tego koryta może w niektórych przypadkach prowadzić do wydłużania się okresów zalania wewnętrznych ścieżek wodą.

Wnioski

Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

- wbudowywane w przewody przepustów ścieżki dla zwierząt w dużym stopniu ograniczają przepustowość obiektu,
- projektując przepusty z częściowo zamulonym dnem, powinno się uwzględnić możliwość częściowego lub całkowitego wyerodowania rumowiska zgromadzonego na dnie przewodu,
- rumowisko rzeczne gromadzące się w kamiennych konstrukcjach ścieżek i w przestrzeniach okładziny dennej upodabnia te powierzchnie do naturalnego dna cieku.

Literatura

- BAJKOWSKI S. 2008: Transport rumowiska przez przepusty drogowe. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2(40): 127–135.
- BAJKOWSKI S., MARZYSZ P. 2004: Możliwości wykorzystania przepustów drogowych na przejścia dla zwierząt. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 3(2): 69–78.
- BAJKOWSKI S., MARZYSZ P. 2005: Przechodzenie zwierząt przez przepusty i małe mosty. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCLXV. Melioracje i Inżynieria Środowiska* 26: 23–28.
- BAJKOWSKI S., WITCZAK U. 2005: Kształtowanie przepustów przeznaczonych na przejścia dla zwierząt. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 507, I: 25–32.
- BYCZKOWSKI A. 1999: Hydrologia. T. II. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Katalog drogowych urządzeń ochrony środowiska, 2002. Załącznik do zarządzenia nr 58 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 kwietnia 2002 roku. GDDKiA, Warszawa.
- Przepusty drogowe. Żelbetowe przepusty skrzynkowe, 2004. Transprojekt – Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- Przepusty drogowe. Przepusty drogowe z elementów prefabrykowanych, 2007. Transprojekt – Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- 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. DzU nr 63, poz. 735, ze zmianami.
- STACHY J., FAL B. 1986: Zasady obliczania maksymalnych przepływów prawdopodobnych. *Prace Instytutu Badawczego Dróg i Mostów* 3–4: 91–148.

Summary

Effect of the culverts overbuilding on their capacity. Building roads and accompanying facilities in river valleys lead to partition and limitation of wild animals' nesting

sites. They also obstruct migration of certain species and organisms moving with water. The task of water structures is to maintain damming as well as bed gradient, protect river bed against erosion and transport river sediment by dam section. This article analyses working conditions of overbuilt pipelines of culverts. Maintenance of road constructions, simplicity of execution, big repeatability of solution on utilization allowing the use of semi-finished elements are advantages. These conditions were examined with the aim to evaluate the degree of discharge limitation of the object by the passages for animals and sediment settled on the culvert's bed line.

Analysis of influence of building passages for animals in pipe culverts as well as amassed brush providing water organisms with maintenance of migration is discussed in the article. Presented analyses include study on influence of changes introduced in section of traverse pipeline on capacity of the object.

Author's address:

Sławomir Bajkowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland