

PRZEPUSTY

i mosty ekologiczne

Przepusty wielootworowe w infrastrukturze drogowej i kolejowej. Cz. 2. Hydrologia i hydraulika w przepustach wielootworowych

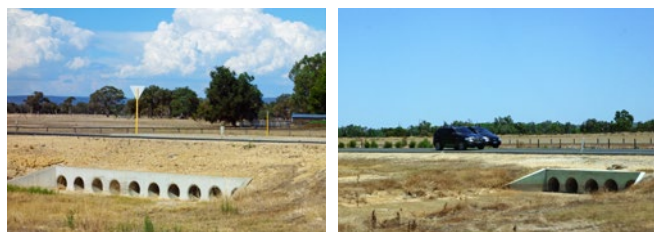


tekst i zdjęcia: **prof. dr hab. inż. ADAM WYSOKOWSKI**, kierownik Zakładu Dróg i Mostów, Uniwersytet Zielonogórski, **mgr inż. JERZY HOWIS**, konstruktor, Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród

Jak już wspomniano w pierwszej części artykułu, która ukazała się na łamach „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego” w numerze 3 z 2021 r. [1], tematyka dotycząca przepustów wielootworowych jest złożona i wieloaspektowa. Niniejszy artykuł zawiera kolejną część podstawowych informacji związanych z hydrologią i hydrauliką przepustów wielootworowych. Zagadnienia te są specyficzne dla tego typu obiektów, a szczególnie istotne w przypadku omawianych przepustów wielootworowych.

Autorzy skupili się na aspektach związanych z odpowiednim doborem średnic przewodów przepustów wielootworowych jako alternatywą dla przepustu jednootworowego o dużym świetle pionowym i poziomym. Artykuł bazuje na doświadczeniu praktycznym autorów oraz wieloletnich studiach przepisów, wytycznych i zaleceń obowiązujących w Polsce oraz innych krajach w Europie i na świecie dotyczących projektowania oraz utrzymania przepustów wielootworowych.

Ilustracją omawianej problematyki mogą być tu poglądowe zdjęcia (ryc. 1).



Ryc. 1. Przepusty wielootworowe w praktyce inżynierskiej – ilustracje poglądowe

1. Wprowadzenie

Zagadnienie hydrologii i hydrauliki w przepustach wielootworowych jest kluczowym i tym samym nieodzownym elementem w projektowaniu tego typu konstrukcji w ciągu dróg kołowych i kolejowych. Właściwy dobór parametrów konstrukcji przewodów przepustów umożliwia osiągnięcie optymalnych warunków eksploatacyjnych, biorąc pod uwagę okresowe wahania poziomu wód czy też ewentualne zanieczyszczenia mogące przyczynić się do ograniczonego przepływu w przepustach wielootworowych. Przy projektowaniu tego typu obiektów infrastrukturalnych, a więc i przy wyborze rodzaju i liczby przewodów przepustu, należy brać również pod uwagę aspekty środowiskowe i eko-

nomiczne. Trzeba mieć świadomość, że zamiana przepustu jednootworowego na wielootworowy może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne z uwagi na ograniczenie wysokości nasypów drogowych i kolejowych, a co za tym idzie – ilości mas ziemnych koniecznych do ich wbudowania. Ma to szczególne znaczenie w przypadku linii kolejowych, gdzie wymagane dopuszczalne pochylenia nawierzchni kolejowej są znacznie mniejsze niż w przypadku dróg kołowych. Wiąże się to z koniecznością budowy rozległych odcinków przejściowych i łuków pionowych.

Dotychczas w naszym kraju nie opracowano ujednoczonych dokumentów prawnych dotyczących stosowania przepustów wielootworowych w budownictwie komunikacyjnym. Odnosi się to również do zagadnień związanych z techniczną możliwością zamiennego stosowania tych obiektów jako alternatywy dla przepustów jednootworowych. W przypadku omawianych konstrukcji do niedawna istniała pewna dowolność ich stosowania (z wyjątkiem potoków górskich), co jednak powinno być poprzedzone odpowiednimi obliczeniami hydrologicznymi. Jednym z dokumentów, który dopuszcza zastosowanie przepustów wielootworowych, są najnowsze wytyczne i standardy Ministerstwa Infrastruktury dotyczące obliczania światła mostów i przepustów [2]. Wytyczne te m.in. dopuszczają stosowanie tego typu obiektów głównie w sytuacji „gdy przewód o dużej wysokości powoduje nadmierne podniesienie niwelety jezdni, z wyjątkiem przepustów hydraulicznych na potokach górskich i rzekach podgórskich”.

W niniejszym artykule autorzy podjęli próbę usystematyzowania zagadnień związanych z hydrologią i hydrauliką przepustów wielootworowych. Dodatkowo przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz mających na celu określenie zamiennych średnic przewodów w przypadku zamiany przekroju kołowego jednootworowego na przekrój wielootworowy. W analizach tych wykorzystano najnowsze przepisy krajowe oraz doświadczenia innych

krajów, w których obiekty tego typu stosowane są powszechnie, szczególnie na ciekach wodnych i rzekach, gdzie występują znaczne okresowe wahania poziomu wód.

2. Hydrologia w przepustach wielootworowych

Podstawowym parametrem dotyczącym obliczeń hydrologicznych zarówno przepustów jedno-, jak i wielootworowych jest pojęcie zlewni [3]. Określenie to dotyczy powierzchni, z której określona ilość wody jest transportowana do wskazanego punktu w terenie (np. do zbiornika wodnego, rzeki, jeziora). Zatem zlewnią określamy podstawowy i naturalny obszar dla obliczenia bilansu wodnego dotyczącego wskazanego punktu w terenie. Bilans ten dotyczy wód powierzchniowych oraz wód podziemnych. Należy mieć na uwadze, że wody podziemne charakteryzują się niejednokrotnie odwrotnym kierunkiem spływu w stosunku do wód powierzchniowych.

Z tego względu w obliczeniach bilansu wód stosowany jest podział na dwa typy zlewni:

- zlewnia hydrogeologiczna, dotycząca spływu wód podziemnych,
- zlewnia topograficzna, dotycząca spływu wód powierzchniowych.

W projektowaniu obiektów komunikacyjnych, w tym przepustów jedno- i wielootworowych, zazwyczaj uwzględnia się średnie i małe zlewnie topograficzne, w szczególności wszystkie ciek wodne znajdujące się na ich terenie. Dla tych zlewni obliczenia wykonuje się metodą pośrednią, na podstawie największego opadu deszczu nawalnego o określonym czasie trwania i częstotliwości występowania. Metoda ta jest powszechnie stosowana w projektowaniu sieci kanalizacyjnej deszczowej i odwodnieniowej [4, 5, 6].

Warunki hydrograficzne cieków występujących na obszarze zlewni również stanowią dodatkowe parametry, które mają wpływ na wyjściowy bilans wodny dla analizowanego obiektu. Do tych parametrów zaliczyć można m.in. długość cieku, wskaźnik rozwinięcia, krętość, a także spadek podłużny i jego zmiany. Ponadto w obliczeniach należy uwzględnić stopień zalesienia terenów oraz wegetację innej roślinności. Cechy te mają duży wpływ na zdolność retencyjną zlewni, czyli inaczej mówiąc – na możliwość kumulowania wody opadowej na terenie danej zlewni. Szczegółowa specyfika obszaru zlewni wraz z jej charakterystyką obliczeniową jest przedmiotem licznych pozycji literaturowych, m.in. [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Schematy obliczeniowe zlewni, których jest ogólnie kilkanaście, podają wyniki do siebie zbliżone. Ze stosowanych metodologii warto wymienić: obliczenie za pomocą gotowych wzorów, interpolacja, obliczenie powierzchni oraz dobór wielkości charakterystycznych z tablic [10]. Metody te wyszczególniono w tabeli 1.

Tab. 1. Wybrane metody wyznaczania i obliczania parametrów zlewni

METODOLOGIA OBLICZANIA ZLEWNI
metoda Stachy i Fal
wzór Punzeta
wzór Wołoszyna
wzór Błaszczyka
wzór Lambora
równanie regresji

Zagadnienia związane z obliczeniami hydrologicznymi autorzy przedstawili w sposób bardziej szczegółowy m.in. w artykule [3], który ukazał się na łamach „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego” w ramach niniejszej serii.

Jak już wspomniano we wprowadzeniu, przepusty wielootworowe ze względu na swoją konstrukcję – pomiędzy poszczególnymi

przewodami rur znajduje się przegroda – nie są zalecane w przypadku terenów górskich. Wynika to bezpośrednio z charakterystyki cieków wodnych na terenach górskich, gdzie przepływ wód ma często charakter turbulentny, jak również ciek te w okresie intensywnych opadów i roztopów transportują duże elementy zanieczyszczeń (np. gałęzie, drzewa, kamienie itp.). W niektórych krajach, m.in. USA, stosowanie tego typu konstrukcji na terenach górskich jest wręcz zakazane. Wynika to głównie z okresowo występujących powodzi, przy których zostaje przekroczona przepustowość przepustów wielootworowych oraz ze względu na ryzyko zablokowania poszczególnych przewodów przenoszonymi dużymi elementami niesionymi przez wezbraną wodę.

3. Hydraulika przepustów wielootworowych

Drugim, nie mniej ważnym parametrem, który wpływa na kształtowanie hydrologiczne samych przewodów przepustów komunikacyjnych, jest przepływ miarodajny. Parametr ten jest określany na podstawie obliczeń hydrologicznych podanych w wielu publikacjach i wytycznych, np. [14, 15, 16]. Ze względu na rodzaj przepływu można wyróżnić następujące przepusty:

- ze swobodnym zwierciadłem wody,
- pod ciśnieniem na całej długości przepustu,
- pod ciśnieniem na części przewodu.

Charakter przepływu uzależniony jest głównie od warunków hydraulicznych i hydrologicznych panujących bezpośrednio przed i za wylotem przepustu, a także od parametrów konstrukcyjno-materiałowych przepustu – jego geometrii względem osi cieku wodnego oraz materiału, z jakiego została wykonana część przelotowa (rura lub inny przekrój). Przykłady przepustów o różnej konstrukcji, a co za tym idzie – różnych parametrach hydraulicznych – przedstawiono na rycinach 2a i 2b.



Ryc. 2. Przykłady przepustów o różnej konstrukcji, a zatem o różnych parametrach hydraulicznych: a) przepust dwuotworowy o przekroju otwartym – widoczna jest przegroda środkowa w obrębie cieku, b) strefa wewnętrzna przepustu o przekroju zamkniętym – widoczne okresowe wahania poziomu wody w przepuscie

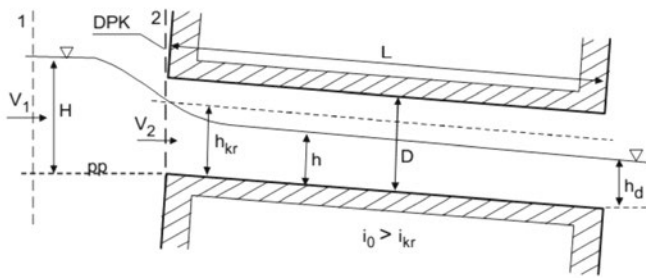
W obliczeniach przepustów wielootworowych, analogicznie jak w przypadku przepustów jednootworowych, wyróżnić należy następujące zasadnicze schematy hydrauliczne:

- przepływ ze swobodną powierzchnią, niezatopiony wlot i wylot (ruch spokojny oraz rwący),
- przepływ ze swobodną powierzchnią, zatopiony wlot i niezatopiony wylot,
- przepływ pod ciśnieniem, zatopiony wlot i zatopiony lub niezatopiony wylot.

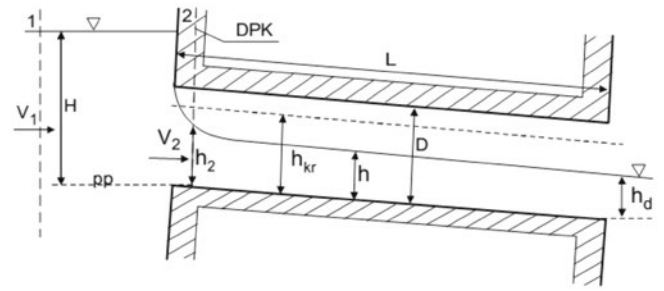
Opisane schematy wraz z przykładami obliczeń zostały szerzej opisane w dostępnej literaturze, m.in. [14, 7, 2, 3, 17].

Na rycinach 3–6 przedstawiono typowe schematy hydrauliczne dotyczące przewodów przepustów dla różnych warunków ich pracy.

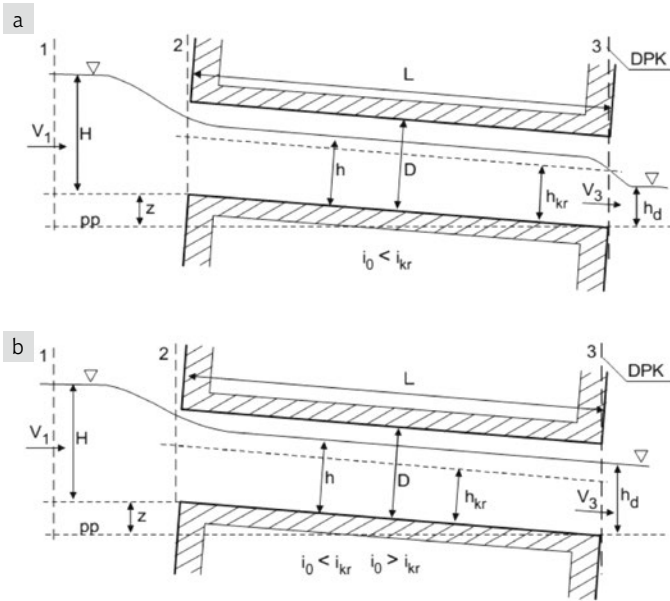
Na potrzeby niniejszego artykułu w tabeli 2 zestawiono najczęściej stosowane wzory niezbędne do wyznaczenia przepływów dla poszczególnych schematów hydraulicznych.



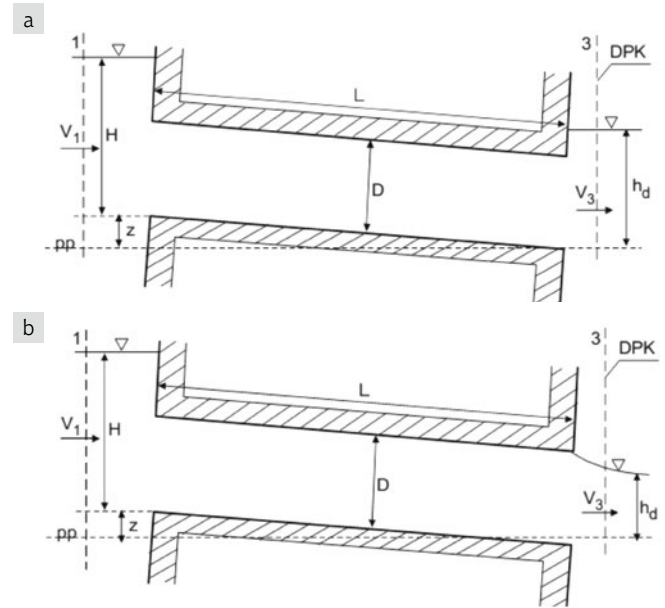
Ryc. 3. Hydrauliczne warunki pracy przepustu ze swobodnym zwierciadłem o niezatopionym wlocie i wylocie w przypadku ruchu rwącego [17]



Ryc. 5. Hydrauliczne warunki pracy przepustu ze swobodnym zwierciadłem o zatopionym wlocie i niezatopionym wylocie [17]



Ryc. 4. Hydrauliczne warunki pracy przepustu ze swobodnym zwierciadłem o niezatopionym wlocie i wylocie w przypadku ruchu spokojnego dla parametrów: a) $h_d < h_{kr}$; b) $h_d > h_{kr}$ [17]



Ryc. 6. Hydrauliczne warunki pracy przepustu działającego pod ciśnieniem o zatopionym wlocie oraz: a) zatopionym wylocie; b) niezatopionym wylocie [17]

Podane w tabeli 2 wzory dla poszczególnych schematów hydraulicznych dotyczą przepustów o jednym przewodzie (kołowym lub niekołowym, np. skrzynkowym). W celu określenia wymaganego przepływu w przepustach wielootworowych należy brać pod uwagę szereg czynników ograniczających ten przepływ, bezpośrednio wynikających z charakterystyki konstrukcyjnej tych obiektów, głównie wpływu przegród pomiędzy przewodami

przepustów zarówno w aspekcie zaburzonego ruchu wody, jak i możliwości ograniczenia przepływu przez wspomniane wcześniej zanieczyszczenia.

Najnowsze wytyczne dotyczące projektowania tego typu obiektów [2] określają, że łączny przepływ wszystkich otworów przepustów wielootworowych powinien być nie mniejszy niż 1,5 przepływu miarodajnego. W tym przypadku przepływ

Tab. 2. Zestawienie wzorów dotyczących obliczeń przepływów dla schematów hydraulicznych podanych na rycinach 3–6 [18]

Schemat hydrauliczny przepustu	Układ wlotu i wylotu względem cieku	Hydrauliczne kryterium podstawowe	DPK – dolny przekrój kontrolny	Ogólny wzór na wartość przepływu
Przepływ swobodny	Wlot i wylot niezatopiony	$H/D < 1,5$ $h_d < h_{kr}$ $i_0 > i_{kr}$	Wlot	$Q = \mu_N \cdot A_{kr} \sqrt{2g \left(H + \frac{V_1^2}{2g} - h_{kr} \right)}$
		$H/D < 1,5$ $h_d < h_{kr}$ $i_0 < i_{kr}$	Wylot	$Q = \mu_N \cdot A_{kr} \sqrt{2g \left(H + z + \frac{V_1^2}{2g} - h_{kr} - h_L \right)}$
	Wlot zatopiony	$H/D < 1,5$ $D > h_d > h_{kr}$	Wylot	$Q = \mu_N \cdot A_d \sqrt{2g \left(H + z + \frac{V_1^2}{2g} - h_d - h_L \right)}$
Przepływ pod ciśnieniem	Wlot i wylot zatopiony	$H/D < 1,0$ $h_d > D$	Wylot	$Q = \mu_p \cdot A_0 \sqrt{2g(H + z - h_d - h_L)}$
	Zatopiony wlot i niezatopiony wylot	$H/D < 1,5$ $h_d < D$	Wylot	$Q = \mu_p \cdot A_0 \sqrt{2g(H + z - D - h_L)}$

Oznaczenia: H – głębokość wody przed wlotem do przepustu (nad dnem wlotu), D – wysokość przepustu, h_d – głębokość wody dolnej (nad dnem wylotu), h_{kr} – głębokość krytyczna, h_L – wysokość strat energii na długości, którą można wyznaczyć, wykorzystując przekształcone równanie Manninga, μ_N – współczynnik wydatku przepustu, A_{kr} – pole przekroju poprzecznego przy napełnieniu odpowiadającym głębokości krytycznej, A_0 – pole przekroju czynnego w kanale przyjmuje wartość $k = 0,80$, V_1 – średnia prędkość w przekroju

obliczeniowy dla każdego z przewodów przepustu wielootworowego Q należy obliczać z zależności [2]:

$$Q = 1,5Q_m/n$$

gdzie:

Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],

n – liczba przewodów w przepuście wielootworowym.

W dalszej części artykułu autorzy przedstawili wyniki analiz hydraulicznych dla przepustów wielootworowych. Analizy te bazują na dotychczasowych doświadczeniach w zakresie dostosowywania przepustów do aktualnych wymagań eksploatacyjnych.

4. Obliczenia hydrauliczne przepustów wielootworowych

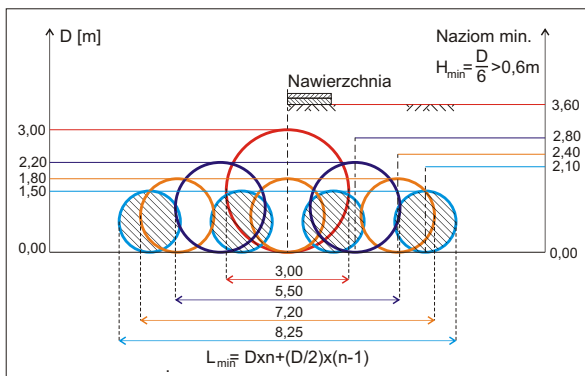
Na potrzeby niniejszego artykułu autorzy przeprowadzili analizy dotyczące możliwości zamiany przepustów jednootworowych na wielootworowe. Do niezbędnych obliczeń wykorzystano schematy obliczeniowe wyszczególnione w rozdziale 3 oraz założenia i wyniki analiz zaczerpnięte z wytycznych dla tego typu rozwiązań z innych krajów m.in. [19, 20, 21].

W pierwszej kolejności analiza obliczeniowa obejmowała porównanie pola powierzchni przekrojów przepustów netto w aspekcie możliwości zamiany przepustu jednootworowego na przepust wielootworowy. Podstawowym kryterium było założenie, że suma pól powierzchni zamiennych przepustów wielootworowych ma być co najmniej równa lub większa od pola powierzchni przepustu jednootworowego. W analizach przyjęto zakres średnic zgodnie z definicją wskazaną w rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. [22] dla różnych kategorii dróg kołowych. Zakres średnic nominalnych (DN) wynosił od DN 600 do DN 3000. Wyniki tych analiz zestawiono w tabeli 3.

Bazując na uzyskanych wynikach zestawionych w tabeli 3, opracowano schematy wpływu zamiany przepustu jednootworowego o średnicy DN 3000 na przepust wielootworowy dwu-, trzy- i cztero-otworowy dla dróg klasy A, S, GP, G. Analizie poddano nie tylko wzajemną geometrię w aspekcie przekrojów rur przepustów, ale również zmianę wysokości przy uwzględnieniu wymaganego minimalnego naziomu nad konstrukcją według zaleceń [23, 24].

Na rycinie 7 przedstawiono schemat porównawczy przepustów zamiennych w stosunku do przepustu jednootworowego o średnicy DN 3000 przy założeniu, że dno przepustów znajduje się na tej samej rzędnej wysokościowej.

Na rycinie 8 natomiast przedstawiono schemat porównawczy przepustów zamiennych o średnicy 4 x DN 1500 w stosunku do przepustu jednootworowego o średnicy DN 3000 przy założeniu, że przepusty posiadają 50% wypełnienia przekroju.



Ryc. 7. Schemat porównawczy przepustów zamiennych w stosunku do przepustu jednootworowego o średnicy DN 3000 przy założeniu, że dno przepustów znajduje się na tej samej rzędnej wysokościowej

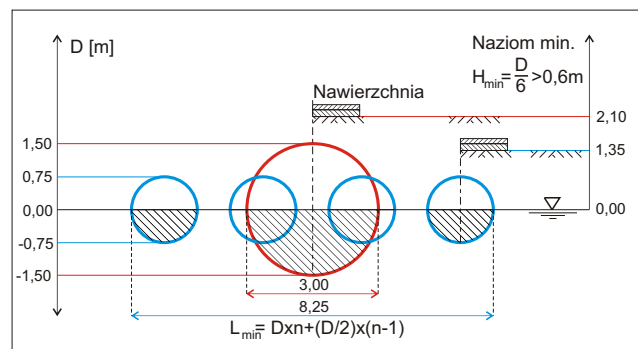
Tab. 3. Zamiana przepustu jednootworowego o kształcie praktycznym na wielootworowy [20]

Średnica przewodu [mm]	Pole powierzchni [m ²]	Liczba przewodów zamiennych o tej samej średnicy przy założeniu kryterium pola powierzchni przekroju poprzecznego [mm]							
		2 x DN	3 x DN	4 x DN	5 x DN	6 x DN	7 x DN	8 x DN	
600	0,28								
700	0,38								
800	0,50	600							
900	0,64	700							
1000	0,79	800	600						
1100	0,95	800	700						
1200	1,13	900	700	600					
1300	1,33	1000	800	700	600				
1400	1,54	1000	900	700	700	600			
1500	1,77	1100	900	800	700	700	600		
1600	2,01	1200	1000	800	800	700	700	600	
1700	2,27	1300	1000	900	800	700	700	700	
1800	2,54	1400	1100	900	900	800	700	700	
1900	2,83	1400	1100	1000	900	800	800	700	
2000	3,14	1500	1200	1000	900	900	800	800	
2100	3,46	1500	1300	1100	1000	900	800	800	
2200	3,80	1600	1300	1200	1000	900	900	800	
2300	4,15	1700	1400	1200	1100	1000	900	800	
2400	4,52	1700	1400	1300	1100	1000	1000	900	
2500	4,91	1800	1500	1300	1200	1000	1000	900	
2600	5,31	1900	1600	1400	1200	1000	1000	1000	
2700	5,72	2000	1600	1400	1300	1200	1100	1000	
2800	6,15	2000	1700	1500	1300	1200	1100	1000	
2900	6,60	2100	1700	1500	1300	1200	1100	1100	
3000	7,07	2200	1800	1500	1400	1300	1200	1100	

Jak widać z przedstawionych przykładowych schematów zamiennych, zmiana rzędnej niwelety (z minimalnym zalecanym naziomem nad konstrukcją) przy zastosowaniu zamiennych przekrojów wielootworowych jest znacząca i wynosi od 25% (przy założeniu wypełnienia przepustu w 50%) do 50% w przypadku wspólnej rzędnej na poziomie dna przepustów.

Zgodnie z wymaganiami [2] dla przepływu miarodajnego zakładającymi, że przepływ ten dla przekrojów zamiennych powinien być nie mniejszy niż 1,5 w stosunku do przepływu dla przekroju jednootworowego, w przypadku zastosowania przepustów wielootworowych należy przeprowadzić dodatkowe analizy obliczeniowe.

Analizy te należy wykonać indywidualnie dla danych warunków hydrogeologicznych i hydraulicznych przepustu. W obliczeniach można z powodzeniem wykorzystać przekroje zamienne zestawione przez autorów w tabeli 3. Należy jednocześnie



Ryc. 8. Schemat porównawczy przepustów zamiennych o średnicy 4 x DN 1500 w stosunku do przepustu jednootworowego o średnicy DN 3000 przy założeniu, że przepusty posiadają 50% wypełnienia przekroju

podkreślić, że w przypadku stosowania zamiennych przepustów wielootworowych jednym z kluczowych kryteriów mogą być względy ekonomiczne. Biorąc pod uwagę koszt wynikający z zastosowania większej liczby otworów, a co za tym idzie – sumarycznie dłuższych odcinków rur o mniejszych średnicach, należy przeprowadzić dodatkową analizę techniczno-ekonomiczną takiego rozwiązania. Pomimo korzyści wynikających ze zmniejszenia mas ziemnych, o czym wspomniano we wstępie do artykułu, zamienne zastosowanie większej liczby rur przepustowych nie w każdym przypadku jest ekonomicznie uzasadnione.

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę obecne trendy dotyczące polityki niskoemisyjnej oraz zasady zrównoważonego rozwoju w budownictwie, projektowanie obiektów inżynierskich, w tym przepustów, powinno opierać się na założeniu, że obiekt ten będzie charakteryzował się wymaganą trwałością przy uwzględnieniu wymagań ekologicznych i ekonomicznych. W przypadku występowania korzystnych czynników realizacyjnych, m.in. warunków terenowych i parametrów cieku wodnego, w szczególności hydrologicznych, zdaniem autorów należy dążyć do stosowania rozwiązań zoptymalizowanych pod kątem ekonomicznym równocześnie z korzyścią dla środowiska naturalnego, opierając się na aktualnie dostępnej wiedzy technicznej. Do tego typu rozwiązań z pewnością należy zaliczyć przepusty wielootworowe, których stosowanie może się przyczynić do ograniczenia wysokości nasypów, a więc zredukowania kosztownych mas ziemnych, bez wpływu na warunki eksploatacji przepustu.

Największe zagrożenie dla trwałości obiektów inżynierskich, w tym przepustów, niesie sama przyroda, przy czym najgroźniejsze w skutkach są wysokie, niekontrolowane wezbrania wody. Dlatego też w przypadku stosowania rozwiązań zamiennych, polegających na zwiększeniu liczby przewodów o mniejszych średnicach w przepustach, w każdym przypadku wymagane jest przyjęcie odpowiedniego toku obliczeń i procedury dostosowanej do odpowiedniego schematu hydraulicznego. Jednocześnie należy mieć świadomość, że zamiana jednootworowego przepustu na wielootworowy nie w każdym analizowanym przypadku okazuje się ekonomicznie uzasadniona, pomimo korzystnych warunków hydrogeologicznych i hydraulicznych.

Niemniej jednak zasadą w rozważaniach technicznych powinno być dążenie do swobodnego przepływu wód opadowych i ich niespiętrzanie, gdyż ma to negatywne, a często nawet katastrofalne skutki dla środowiska naturalnego. Szczególnie jest to ważne przy dużych wahaniami opadów atmosferycznych, z którymi obecnie mamy do czynienia.

Literatura

- [1] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 26. Przepusty wielootworowe w infrastrukturze drogowej i kolejowej. Cz. 1. Zagadnienia ogólne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2021, nr 3, s. 86–91.
- [2] Kodura A., Kubrak J., Kubrak M., Kuźniar P., Utrysko B., Rymsza J. (koordynator): *WR-M-12. Wytyczne obliczenia światła drogowych mostów i przepustów hydraulicznych. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu*. Warszawa 2021.
- [3] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 12. Metody obliczeń przepustów. Cz. VI. Obliczenia hydrauliczne przepustów*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2012, nr 6, s. 76–81.
- [4] Brzostowski M.: *Odwodnienie dróg*. Wydawnictwa Komunikacyjne, Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 1955.
- [5] Wysokowski A.: *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych, cz. I – odwodnienie powierzchniowe*. „Inżynier Budownictwa” 2010, nr 10, s. 70–73.
- [6] Wysokowski A.: *Odwodnienie parkingów i miejsc obsługi podróżnych, cz. II – odwodnienie wgłębne*. „Inżynier Budownictwa” 2010, nr 11, s. 62–66.
- [7] Bajkowski S.: *Wyznaczanie przepływów obliczeniowych przepustów drogowych przystosowanych do przejścia dla zwierząt*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, nr XX. Warszawa 2014.
- [8] Bajkowski S.: *Wpływ zabudowy przepustów na ich wydatek*. „Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” 2008, t. 17, z. 4, s. 49–56.
- [9] Banasik K., Wałęga A., Węglarczyk S., Więzik B.: *Aktualizacja metodyki obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ*. Stowarzyszenie Hydrologów Polskich. Warszawa 2017.
- [10] Byczkowski A.: *Hydrologia*. T. 2. Wydawnictwo SGGW. Warszawa 1999.
- [11] Ciepeliowski A., Dąbkowski L.S.: *Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami)*. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO. Bydgoszcz 2006.
- [12] Majerczyk A., Michalec B.: *Oddziaływanie przepustu na warunki hydrauliczne przepływu wody w głównym rowie systemu odwadniającego stopnia wodnego Łączany*. „Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” 2017, t. 26, z. 11, s. 28–37.
- [13] Ratowski J.: *Podstawy projektowania zabudowy potoków górskich*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2000.
- [14] Bajkowski S., Dąbkowski L.S., Jaworowska B., Szuster A., Utrysko B.: *Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z komentarzem i przykładami*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2000.
- [15] Stachy J., Fal B.: *Zasady obliczania maksymalnych przepływów prawdopodobnych*. „Prace Instytutu Badawczego Dróg i Mostów” 1986, nr 3–4, s. 91–147.
- [16] Szling Z., Pacześniak E.: *Odwodnienia budowli komunikacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2004.
- [17] Szpakowski W.: *Wyznaczenie rzeczywistej zdolności przepustowej przepustu drogowego*. „Drogownictwo” 2013, t. 6, s. 189–192.
- [18] Jacenko W.: *Wielootworowe przepusty drogowe*. praca studialna. Praca magisterska. Promotor A. Wysokowski. Uniwersytet Zielonogórski, 2020.
- [19] *AASHTO Culvert and Storm Drain Inspection Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, 2020
- [20] *Culvert and Bridge Construction Guidelines for Farmers*. Ministry for the Environment Manatū Mō Te Taiao. New Zealand 2004.
- [21] White K.: *Guidance for Design and Selection of Pipes*. Technical Committee on Hydrology and Hydraulics. Columbus, Ohio 2011.
- [22] *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*. Dz.U. 2000, nr 63, poz. 735 ze zm.
- [23] Jasiński W., Łęgosz A., Nowak A., Pryga-Szulc A., Wysokowski A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z tworzyw sztucznych*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2006.
- [24] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2004.



Czytaj więcej