

PRZEPUSTY

i mosty ekologiczne

Przepusty wielootworowe w infrastrukturze drogowej i kolejowej. Cz. 1. Zagadnienia ogólne



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

Kolejnym ważnym zagadnieniem technicznym związanym z tytułową tematyką cyklu [1] jest zdaniem autorów problematyka przepustów wielootworowych, które są coraz częściej stosowane w krajowej infrastrukturze komunikacyjnej.

Zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, obecne tendencje w budownictwie infrastrukturalnym zacierają do zmniejszenia wykorzystania surowców, głównie mineralnych, np. przez ograniczenie wysokości nasypów czy też stosowanie konstrukcji o pionowych ścianach bocznych z zastosowaniem gruntów zbrojonych. Tendencja ta wymusza także optymalizację istniejących rozwiązań dotyczących obiektów inżynierskich [2], m.in. przepustów budowanych w ciągach dróg kołowych i linii kolejowych przy zapewnieniu wymaganego przepływu hydraulicznego ciekłu.

Ze względu na wspomnianą optymalizację ekonomiczną inwestycji liniowych, polegającą na ograniczeniu do niezbędnego minimum robót ziemnych, zaczęto coraz częściej wykonywać przepusty o wielu otworach w płaszczyźnie poziomej, zapewniające sumaryczną przepustowość zbliżoną, a niejednokrotnie większą niż w przypadku przepustu jednotworowego o dużym świetle poziomym i pionowym (wiąże się to ze stosowaniem wysokich nasypów dróg kołowych bądź też kolejowych).

W naszym kraju budowa przepustów wielootworowych nie była powszechną praktyką. Mimo że wykonywano projekty takich konstrukcji, to stosunkowo rzadko przyjmowano je do realizacji. Według rozeznania autorów wynika to głównie z przekonania o niedoskonałości hydraulicznej tak skonstruowanych obiektów w przypadku okresowego spływu dużych wód, które mają miejsce np. na terenach górskich, a także na terenach nizinnych przy dużych opadach atmosferycznych z uwagi na spiętrzenie przepływających wód.

Tematyka związana z przepustami wielootworowymi jest złożona i wieloaspektowa, dlatego z uwagi na jej obszerność autorzy postanowili podzielić te zagadnienia na dwie spójne

części. Niniejszy artykuł, stanowiący część pierwszą, zawiera wprowadzenie w tematykę oraz opisuje podstawowe wymagania technologiczne dotyczące przepustów wielootworowych, sposobu ich usytuowania oraz zagadnień eksploatacyjnych. Część druga, przewidziana do publikacji w kolejnym numerze czasopisma, będzie dotyczyła zagadnień techniczno-hydraulicznych.

Wprowadzenie

Omawiane konstrukcje przepustów, w swoim założeniu, są wykonywane najczęściej w celu przeprowadzania cieków wodnych przez liniowe ciągi komunikacyjne. Ostatnio dodatkowo coraz częściej są też wykorzystywane jako dolne i górne przejścia dla zwierząt bądź też jako obiekty zespolone z jednoczesnym przepływem ciekłu wodnego. Należy jednak zauważyć, że aby przepust komunikacyjny bądź przejście dla zwierząt spełniało swoje funkcje, musi posiadać odpowiednie parametry eksploatacyjne.

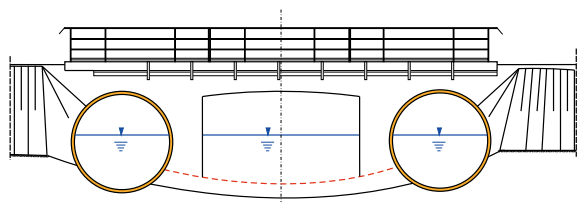
Tradycyjnie przepust projektowano, biorąc pod uwagę głównie parametry hydrotechniczne. Dobór parametrów geometrycznych konstrukcji przepustu był zatem uwarunkowany obliczeniowym poziomem wód w ciekłu. Jednakże parametr ten niejednokrotnie nie uwzględniał możliwości wystąpienia warunków powodziowych. Pomysł zastosowania dodatkowych konstrukcji umożliwiających zwiększony przepływ wody przy przekroczeniu stanu granicznego pojawił się już w XIX w. Przykładem może tu być m.in. zamek w Karpnikach na Dolnym Śląsku, gdzie w konstrukcji obiektu mostowego stanowiącego wejście do obiektu zastosowano obustronne otwory o przekroju owalnym, umożliwiające swobodny przepływ wody przy wysokich jej stanach oraz będący dodatkowym detalem archi-



Ryc. 1. Przykład zastosowania dodatkowych otworów w ścianach bocznych historycznego obiektu nad fosą w zamku w Karpnikach, fot. J. Howis

tektonicznym (ryc. 1). Takich przykładów można znaleźć więcej nie tylko w kraju, ale również za granicą.

Nowoczesne podejście techniczne do problemu zbyt małego przepływu cieków wodnych i kanałów w obrębie przepustów i małych mostów próbowano rozwiązać za pomocą dodatkowych konstrukcji przepustów, usytuowanych po obu stronach obiektu, dostosowanych do rzędnej średniej wody. Główną zaletą takiego rozwiązania, oprócz korzyści hydrologicznych, był fakt braku konieczności rozbiórki istniejącego obiektu. Jednakże z uwagi na problemy utrzymaniowe, rozwiązania te znajdują zastosowanie głównie na ciekach o niewielkim przepływie, np. na kanałach i ciekach łączących śródlądowe, naturalne zbiorniki wodne. Schemat takiego rozwiązania przedstawiono na rycinie 2.



Ryc. 2. Idea zastosowania dodatkowych konstrukcji przepustów, usytuowanych po obu stronach obiektu, dostosowanych do rzędnej średniej wody, umożliwiających przepływ przy zwiększonych stanach wód

W ostatnich latach ze względu na często występujące anomalie pogodowe, a także na stale podnoszone standardy dotyczące infrastruktury komunikacyjnej większą uwagę zwrócono na aspekty związane zarówno z poprawą parametrów hydraulicznych, jak i trwałościowych konstrukcji przepustów, np. stosowanie wykładziny z materiałów o niskiej chropowatości i o wydłużonym okresie użytkowania (ryc. 3).

Dodatkowo wprowadzono szeroko rozumianą optymalizację ekonomiczną, mającą swoje odzwierciedlenie również w ograniczonym czasie realizacji omawianych obiektów, m.in. przez stosowanie nowoczesnych prefabrykatów o różnych kształtach przekroju poprzecznego. Uwzględniono też potrzeby szeroko pojętego ekosystemu, wprowadzając rozwiązania hybrydowe, które oprócz spełnienia funkcji hydraulicznej umożliwiają migrację zwierząt lądowych oraz przepławianie się ryb. Zagadnienia te były przedmiotem licznych publikacji, m.in. [3, 4].

Jak wspomniano na wstępie, zmiany w sposobie projektowania dróg kołowych i kolejowych, m.in. przez obniżanie nasypów konstrukcyjnych, wymuszają także optymalizację istniejących rozwiązań dotyczących przepustów komunikacyjnych. Na rycinach 4 i 5 przedstawiono przykładowe zastosowania

przepustów dwuotworowych pod obecnie modernizowanymi liniami kolejowymi.

Wielootworowe przepusty drogowe i kolejowe można powszechnie wykorzystywać przy odpowiednim zaprojektowaniu i wykorzystaniu wiedzy oraz doświadczeń innych krajów Europy i świata. Rozwiązania te mają istotny wpływ na ekonomię zarówno przy budowie, jak i na etapie eksploatacji infrastruktury drogowej i kolejowej. Należy brać pod uwagę, że konstrukcje tego typu muszą spełniać szereg wymagań związanych z czynnikami wykonawczymi, materiałowymi, a także trwałościowymi w funkcji czasu.

W dalszej części niniejszego artykułu omówiono syntetycznie (z uwagi na ograniczenia ramowe publikacji) podstawowe zagadnienia związane z problematyką przepustów wielootworowych.



Ryc. 3. Przykład wykładziny z tworzyw sztucznych poprawiającej właściwości hydrauliczne i odporność chemiczną rur i przepustów betonowych i żelbetonowych (przykład firmy Haba-Beton), fot. A. Wysokowski



Ryc. 4. Przykład dwuotworowego przepustu skrzynkowego pod magistralną linią kolejową, fot. Z. Kubiak



Ryc. 5. Przykład dwuotworowego przepustu o przekroju kołowym pod magistralną linią kolejową, fot. Z. Kubiak

Podział i funkcje przepustów wielootworowych

Analizując obowiązujące obecnie przepisy w zakresie infrastruktury drogowej lub kolejowej, można stwierdzić, że odnoszą się one głównie do przepustu jako pojedynczego (jednootworowego) obiektu inżynierskiego. Według obowiązujących zaleceń [5] oraz rozporządzenia [6], pojęcie przepustu wielootworowego zostało zaledwie zaznaczone w kontekście podziału przepustów ze względu na hydraulikę przepływu wody i wymogów z tym związanych, gdzie umieszczono je obok przepustów jednootworowych.

Najnowsze przepisy z tego zakresu z 2021 r., wydane przez Ministerstwo Infrastruktury w postaci wzorców i standardów WR-M-12 [7], dopuszczają zastosowanie przepustów wielootworowych jedynie w sytuacji, gdy przewód o dużej wysokości powoduje nadmierne podniesienie niwelety jezdni, z wyjątkiem przepustów hydraulicznych na potokach górskich i rzekach podgórskich. Dodatkowo wytyczne wymagają, aby łączny przepływ wszystkich otworów w takich obiektach był nie mniejszy niż wartość 1,5 przepływu miarodajnego.

Zatem w przypadku wspomnianej tendencji obniżania nasypów dróg i linii kolejowych istnieje techniczna i legislacyjna możliwość stosowania tego typu konstrukcji w budowie infrastruktury komunikacyjnej. By dobrze zilustrować omawiany problem, można przywołać przeanalizowane przez autora rozwiązania przepustów wielootworowych stosowanych w Australii, szczególnie na terenach nizinnych. Przykłady takich konstrukcji przedstawione zostały w zależności od liczby otworów na rycinie 6. Dodatkowo na rycinie 7 zaprezentowano przykład zastosowania przepustu wielootworowego o 10 kanałach o łącznej długości całkowitej wynoszącej ok. 20,0 m.

Wielootworowe przepusty znajdują również zastosowanie jako rozwiązanie zastępcze lub tymczasowe w przypadku konieczności szybkiej realizacji obiektu przy jednoczesnym zapewnieniu dużej przepustowości. Przykładem takich zastosowań mogą być przepusty tymczasowe realizowane w celu tymczasowego przełożenia cieku wodnego lub w warunkach



Ryc. 6. Przykładowe rozwiązania przepustów wielootworowych stosowane w Australii: a) trzyotworowy b) czterootworowy, c) pięciotworowy, d) sześciotworowy, e) siedmiotworowy, f) skrzynkowy – ośmiotworowy, fot. A. Wysokowski



Ryc. 7. Przykład zastosowania przepustu 10-otworowego o długości całkowitej wynoszącej ok. 20,0 m pod autostradą (wzdłuż Oceanu Indyjskiego) na terenie nizinnym w Australii Zachodniej, fot. A. Wysokowski

awaryjnych, np. w przypadku powodzi. Na rycinie 8 przedstawiono zastosowanie przepustu trójotworowego w trakcie realizacji odbudowy drogi wojewódzkiej w zachodniej Polsce, która uległa zniszczeniu podczas powodzi w 2010 r.

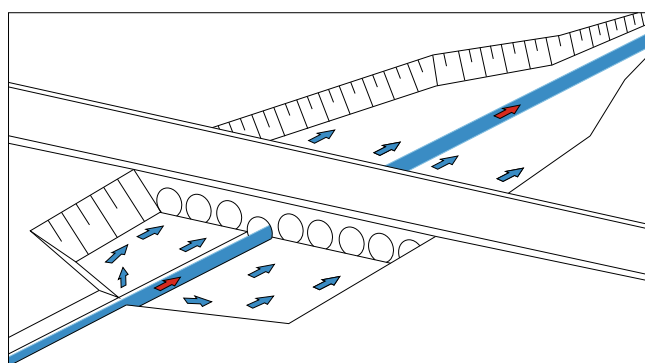


Ryc. 8. Przykład zastosowania przepustu wielootworowego w trakcie realizacji odbudowy drogi wojewódzkiej, która uległa zniszczeniu podczas powodzi, fot. A. Wysokowski

Omawiane obiekty mają również zastosowane jako alternatywa dla mostów o niewielkim świetle pionowym. Wiele obiektów tego typu realizuje się na świecie. Prowadzone są również badania w aspekcie konstrukcyjno-hydrologicznym, czego przykładem mogą być wieloletnie działania specjalistów w tej dziedzinie w Ameryce Północnej [8]. Konstrukcja tego typu ma znacznie niższą wysokość i może być zatapiana, a przy nawalnych deszczach i odpowiednim świetle poziomym, dostosowanym do cieków wodnych lub kanałów, oraz przy odpowiednim zaprojektowaniu może stanowić integralną część zbiorników buforowych dla małej retencji.

Dodatkowo stosuje się przepusty wielootworowe (zamiast pojedynczego, większego przepustu) dla szerokich, płytkich kanałów lub równin zalewowych oraz dla kanałów, w których transport sedymentacyjny zostaje zakłócony w warunkach niskiego przepływu wód. Rozwiązania tego typu są powszechnie stosowane w krajach o dużych wahaniami wód powierzchniowych i gruntowych, takich jak m.in. USA, Kanada, Australia, Nowa Zelandia czy też ZEA. W przypadku omawianych zastosowań niejednokrotnie w celu poprawy warunków wodnych, jak również zapobieganiu sedymentacji w przepustach wielootworowych w warunkach niskiego stanu wód stosuje się prosty zabieg techniczny. Polega on na obniżeniu jednego z otworów

przepustu wielootworowego, ograniczając w ten sposób przepływ wody do jednego kanału przepustowego. Skoncentrowanie przepływu w pojedynczym kanale przepustowym zwiększa tym samym poziom zwierciadła wody, który umożliwia samooczyszczanie kanału z sedymentujących osadów oraz migrację ryb i płazów [3]. Pomysł ten jest znany z rozwiązań stosowanych w inżynierii sanitarnej. Zazwyczaj obniżany jest kanał przepustu w obrębie osi przepustu wielootworowego lub zlokalizowany w osi ciek wodnego. Wspomniany zabieg jasno wskazuje zalety przepustów wielootworowych eksploatowanych w takich warunkach, gdyż przepływ (głównie prędkość wody w przepływie jako główny warunek samooczyszczenia) jest utrzymany w porównaniu z wydajnością przepustów jednootworowych. Ideę stosowania przepustów wielootworowych z jednoczesną funkcją retencyjną przedstawiono na rycinie 9.



Ryc. 9. Idea stosowania przepustów wielootworowych z jednoczesną funkcją retencyjną. Widoczne obniżenie jednego z otworów (kanałów) w celu zachowania przepływu umożliwiającego samooczyszczanie oraz wykonywanie prac utrzymaniowych w obrębie przepustu

Niezaprzeczalne zalety przepustów wielootworowych w przypadku niskich stanów wód i możliwości samooczyszczania powodują uniwersalność tych konstrukcji szczególnie na terenach nizinnych. Jednakże w przypadku terenów górskich obiekty tego typu niejednokrotnie mogą być problematyczne w eksploatacji i utrzymaniu, o czym wspomniano już we wstępie. Ma to miejsce zwłaszcza w przypadku usytuowania przepustów na potokach, które podczas powodzi lub przy podwyższonym stanie wód transportują duże elementy zanieczyszczeń (np. gałęzie, drzewa, kamienie). Wynika to z przepływu wody wcześniej spiętrzonej w górnym biegu ciek, która powoduje zniszczenia na swojej drodze, w tym m.in. rozmywanie i degradację swojego zbyt wąskiego koryta. Taki stan rzeczy należy jednak do anomalii i wynika z małej dbałości o retencję w naszym kraju. Dodatkowo można zauważyć, że najczęściej mamy do czynienia ze zbyt wąskim terenem wzdłuż krajowych rzek i cieków zarezerwowanym na zwiększony przepływ wody. W przypadku powodzi prowadzi to do spiętrzenia przepływu wód, który następnie jest przyczyną powstawania zniszczeń.

Szczególnie narażone na to zjawisko są obiekty o więcej niż jednym otworze (dwóch i trzech otworach) zlokalizowane na ciekach o niewielkim przekroju poprzecznym koryta. W przypadku takich obiektów ryzyko całkowitego zablokowania przepływu przez większe przenoszone elementy jest zwiększone z uwagi na ograniczoną przepustowość samego ciek wodnego.

Dla przepustów wielootworowych o większej liczbie kanałów istnieje dużo mniejsze ryzyko całkowitego zablokowania ich przepustowości (odmiennie niż się powszechnie uważa).

Według wiedzy autorów, w dostępnej literaturze z tego zakresu brak jest wyraźnego podziału przepustów wielootworowych. Wobec powyższego autorzy artykułu zaproponowali następującą kategoryzację tych obiektów:

- ze względu na rodzaj rozwiązań konstrukcyjnych:
 - wielootworowe przepusty sklepione,
 - wielootworowe przepusty rurowe,
 - wielootworowe przepusty płytowe,
 - wielootworowe przepusty ramowe,
 - wielootworowe przepusty gruntowo-powłokowe;
- z uwagi na wykonawstwo:
 - wielootworowe przepusty prefabrykowane,
 - wielootworowe przepusty wykonywane w technologii na mokro;
- z uwagi na hydraulikę przepływu wody i wymogi z tym związane:
 - wielootworowe przepusty bezciśnieniowe,
 - wielootworowe przepusty półciśnieniowe,
 - wielootworowe przepusty ciśnieniowe,
 - wielootworowe przepusty hydraulicznie krótkie i hydraulicznie długie;
- z uwagi na posadowienie:
 - w jednej płaszczyźnie poziomej,
 - w kilku płaszczyznach poziomych;
- z uwagi na funkcję:
 - wielootworowe przepusty hydrauliczne,
 - wielootworowe przepusty zespolone z przejściem dla zwierząt.

Analizując techniczną funkcję przepustów wielootworowych, należy mieć na uwadze, że projektanci dla tych obiektów stosują zazwyczaj te same procedury jak przy projektowaniu przepustów jednootworowych. Traktują tym samym każdy obiekt w zespole przepustów wielootworowych jako pojedynczy, niezależny przepust, a następnie sumują poszczególne parametry wytrzymałościowe oraz użytkowe.

Rozwiązania materiałowe i technologiczne przepustów wielootworowych

Jak już wielokrotnie wspomniano w niniejszym cyklu artykułów, rodzaj użytych materiałów oraz technologia wykonawstwa odgrywają kluczową rolę w aspekcie bezpieczeństwa i trwałości obiektów inżynierskich oraz ekologii, w tym również w przypadku omawianych konstrukcji przepustów. Rozwój inżynierii materiałowej w znaczny sposób zmienił metody konstruowania przepustów komunikacyjnych. Przepusty z materiałów tradycyjnych, takich jak cegła, beton, żelbet oraz kamionka, najczęściej o konstrukcji masywnej, znajdują w coraz większym stopniu alternatywę w postaci konstrukcji z materiałów lekkich, m.in. opierających się na technologii tworzyw sztucznych czy też kompozytów. W przypadku przepustów o większym świetle pionowym i poziomym z powodzeniem stosowane są konstrukcje z blach falistych wykonanych ze stali lub aluminium oraz polimerów zbrojonych włóknem szklanym GRP. Konstrukcje te charakteryzują się – z uwagi na ich podatność – współpracą z zasypką gruntową w przenoszeniu obciążeń eksploatacyjnych [2, 9].

W przypadku przepustów wielootworowych o niewielkiej średnicy wewnętrznej materiałem wykorzystywanym do ich budowy najczęściej są tworzywa sztuczne, głównie w postaci rur z polietylenu. Rury te są w pełni spawalne, dlatego też można je dowolnie kształtować, łącząc poszczególne ich fragmenty. Tym samym materiał ten pozwala budować przepusty o skomplikowanej geometrii, a także formować końce przepustów pod dowolnym kątem w zależności od nachylenia skarp lub wymagań dokumentacji projektowej [10]. Takie właściwości rur i możliwości ich obróbki na placu budowy pozwalają na szybką i bezproblemową reakcję na zmiany projektowe bądź też inne ewentualne trudności na etapie wykonawstwa przepustu wielootworowego (np. zmiana długości przepustu lub kąta nachylenia skarpy). Dodatkowo konstrukcja rury dwuściennej pomaga zapewnić jej elastyczność, dzięki czemu rura może ulegać częściowemu odkształceniu pod dużym obciążeniem, przy jednoczesnym utrzymaniu szczelnych połączeń.

Jednakże doświadczenia ze stosowania tych konstrukcji jako przepustów wielootworowych na terenach leśnych w USA jasno wskazują, że konstrukcje te wykazują niewielką odporność na wysokie temperatury, np. w czasie pożarów lasów. Najnowsze przepisy amerykańskie wręcz zakazują stosowania tego typu materiałów do wykonania przepustów na terenach leśnych.

Jak już wspomniano, w przypadku konieczności uzyskania większych światła obiektów wielootworowych możliwe jest wykorzystanie konstrukcji wykonanych z powszechnie stosowanych już w naszym kraju materiałów kompozytowych (np. GRP i CC-GRP) lub też stalowych blach falistych spiralnie karbowanych bądź typu Multiplate. Do zalet rur kompozytowych należy zaliczyć m.in. wysoką wytrzymałość, sztywność (zatopione w żywicy włókna wzmacniające polepszają stabilność kształtu), wytrzymałość na zginanie i na rozciąganie, wysoką odporność na ścieranie wewnętrznej powierzchni rury podwyższającą trwałość przepustu, dużą odporność na korozję i wysoką odporność chemiczną.

Do zasadniczych zalet konstrukcji wykonanych z blach falistych można zaliczyć wysoką wytrzymałość, odporność na korozję, mały ciężar rur pozwalający na łatwy transport i montaż, uniwersalność stosowania, minimalizację kosztów utrzymania tak wykonanych obiektów [11]. W przypadku konieczności stosowania zredukowanej wysokości naziemu nad przepustami wielootworowymi z blach falistych istnieje techniczna możliwość dodatkowego wzmocnienia tak wykonanej konstrukcji z zastosowaniem geotkanin. Potwierdzają to badania m.in. przeprowadzone przez autora artykułu [12, 13].

Na potrzeby niniejszego artykułu autorzy postanowili dokonać podziału omawianych konstrukcji z uwagi na rodzaj zastosowanego materiału:

- przepusty kamienne (głównie na terenach górskich),
- wielootworowe przepusty betonowe i polimerobetonowe (na terenach górskich),
- wielootworowe przepusty żelbetowe (na terenach górskich),
- wielootworowe przepusty stalowe wykonywane z blach falistych (konstrukcje powłokowo-gruntowe) lub rur stalowych,
- wielootworowe przepusty z tworzyw sztucznych i kompozytów (np. GRP, PE-HD),
- wielootworowe przepusty aluminiowe,
- wielootworowe przepusty zespolone (konstrukcje hybrydowe wykonane z różnych materiałów).

W przypadku wykonywania przepustów wielootworowych na ciekach o zróżnicowanym poziomie wód, głównie na terenach górskich i podgórszych, do zalecanych materiałów należą materiały ciężkie, m.in. beton, żelbet czy też polimerobeton. Materiały te, z uwagi na ciężar konstrukcji, wykazują większą odporność na oddziaływania dynamiczne płynących wód oraz środowiska gruntów przesyconych wodą.

Opisywana różnorodność materiałów możliwych do zastosowania przy budowie przepustów wielootworowych jest bardzo korzystna dla inwestorów, gdyż umożliwia im wybór konstrukcji w zależności od potrzeb i możliwości finansowych, z jednoczesnym zapewnieniem trwałości i optymalizacją kosztów utrzymania tak wykonanej konstrukcji. Sytuacja ta wymaga od projektantów znajomości specyfiki szeroko dostępnych wyrobów, tak aby konstrukcje były zaprojektowane optymalnie – z wykorzystaniem ich zalet oraz z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju.

Podsumowanie

Omawiana tematyka, stanowiąca pierwszą część artykułu, dotyczy zagadnień związanych ze stosowaniem przepustów wielootworowych, która zdaniem autorów w dalszym ciągu będzie się intensywnie rozwijała w praktyce inżynierskiej. Wynika to z faktu niezaprzeczalnych zalet omawianych konstrukcji, szczególnie w aspekcie podnoszenia standardów budownictwa infrastrukturalnego w naszym kraju. Rozwiązania przedstawione w niniejszym artykule mogą być tutaj pomocne. Inaczej wyglądają rozwiązania komunikacyjnych obiektów inżynierskich w Australii, jak też w krajach Ameryki Północnej i Południowej. Mniej intensywna zabudowa oraz mniejsza powierzchnia terenów utwardzonych pozwala tam często na naturalną retencję wody, a także umożliwia stosunkowo swobodny spływ wód nawet przy intensywnych opadach, często długotrwałych, a czasami nawalnych. Ponadto przy mniejszej industrializacji koryta rzek, cieków i kanałów posiadają z reguły dużo większe szerokości, nawet te, które są korytami cieków okresowych. Tym samym rzadko doprowadza się do spiętrzania wód, a ich w miarę swobodny przepływ nie powoduje wyrwania drzew, fragmentów infrastruktury i spływu zanieczyszczeń o dużych gabarytach. Dlatego też budowa przepustów wielootworowych i ich eksploatacja jest powszechną praktyką inżynierską w tych krajach. Tak budowane konstrukcje mają duże zalety ekonomiczne z uwagi na brak konieczności wynoszenia nasypów drogowych przy zachowaniu wymaganego światła pod względem hydraulicznym, a także niższe koszty budowy samej konstrukcji. Po prostu – wraz ze wzrostem potrzeb hydraulicznych dokładamy kolejne otwory w obiekcie. Zaletą konstrukcji przepustów wielootworowych jest również fakt, że część z otworów oprócz funkcji hydraulicznej może być i jest często używana przez migrującą faunę – w dużym stopniu przez herpetofaunę. Ponadto, co jest również niezaprzeczalną zaletą, budowane z użyciem przepustów wielootworowych ciągi komunikacyjne tak dla dróg kołowych, jak i linii kolejowych w dużo mniejszym stopniu ingerują w krajobraz, lepiej się w niego wkomponowując.

Z uwagi na obszerność przedstawionej tematyki, a jednocześnie z uwagi na szczupłe ramy artykułu w niniejszej części omówione zostały jedynie najistotniejsze zagadnienia i problemy związane z przepustami wielootworowymi. W kolejnej, planowanej części niniejszej serii autorzy zamierzają opisać za-

gadnienia związane z hydrologią przepustów wielootworowych, m.in. na podstawie przeprowadzonych badań analitycznych i laboratoryjnych. Wszystkich zainteresowanych czytelników zapraszamy do lektury.

Literatura

- [1] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej*. Cz. I–XXV. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2008–2020.
- [2] Bęben D.: *Numerical analysis of a soil-steel bridge structure*. „The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering” 2009, Vol. 4, No. 1, pp. 13–21.
- [3] Rymśa J., Bohatkiewicz J., Wysokowski A., Dębiński M., Howis J., Jukowski M., Turek W., Rymśa B.: *Efektywność przejść dla zwierząt na drogach publicznych w Polsce*. Studia i Materiały, z. 84. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Warszawa 2019.
- [4] Wysokowski A.: *Przepusty i przejścia dla zwierząt – niezbędny element nowoczesnej infrastruktury drogowej*. „Magazyn Autostrady” 2020, nr 2, s. 20–25.
- [5] Madryas C., Kolonko A., Machajski J., Olearczyk D., Wysocki L.: *Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia tuneli samochodowych, przejść podziemnych i przepustów*. GDDKiA. Warszawa 2009.
- [6] 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).
- [7] Kodura A., Kubrak J., Kubrak M., Kuźniar P., Utrysko B., Rymśa J. (koordynator): *Wytyczne obliczania światła drogowych mostów i przepustów hydraulicznych. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu nr WR-M-12*. Warszawa 2021.
- [8] Kosicki A.J., Davis S.R.: *Consideration of Stream Morphology in Culvert and Bridge Design*. „Journal of the Transportation Research Board” 2001, Vol. 1743, Issue 1, pp. 57–59.
- [9] Janusz L., Madaj A.: *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo*. WKiŁ. Warszawa 2007.
- [10] 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.
- [11] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2004.
- [12] Wysokowski A.: *Influence of single-layer geotextile reinforcement on load capacity of buried steel box structure based on laboratory full-scale tests*. „Thin-Walled Structures” 2020, Vol. 159, pp. 1–7.
- [13] Wysokowski A.: *Durability of flexible steel corrugated shell structures – theory and practice*. III European Conference on Buried Flexible Steel Structures, Rydzyna, maj 2017.
- [14] Jacenko W.: *Wielootworowe przepusty drogowe*. Praca magisterska. Promotor A. Wysokowski. Uniwersytet Zielonogórski. Zielona Góra 2020.
- [15] Radomski W.: *Kierunki rozwojowe mostownictwa*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2019.



Więcej na www.nbi.com.pl/tagi-przepusty