

## **WARUNKI HYDRODYNAMICZNE PRZEPLYWU RZEKI WILGI W OKOLICY PRZEPUSTU DROGOWEGO W MIEJSCOWOŚCI KOŹMICE WIELKIE**

Mariusz Cholewa, Karol Plesiński, Katarzyna Kamińska,  
Przemysław Baran

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia charakter i zakres zmian przepływu na wybranym odcinku rzeki Wilgi w miejscowości Koźmice Wielkie w woj. małopolskim. Miejsce badań obejmowało koryto rzeki powyżej i poniżej przepustu w ciągu drogi powiatowej nr 2032K w gminie Wieliczka. W roku 2014 zarządca drogi przeprowadził przebudowę istniejącego od ponad 40 lat przepustu. Stan techniczny nie odpowiadał obowiązującym przepisom dla tego typu obiektów inżynierskich. Prace obejmowały całkowite rozebranie istniejącej konstrukcji składającej się z dwóch rur o średnicy 1,4 m ułożonych równoległe do linii nurtu rzeki. Zastąpiono je nowym przepustem o przekroju prostokątnym  $4 \times 2$  m. Zmiana konstrukcji przepustu, jego światła oraz odmienne usytuowanie w stosunku do nurtu rzeki było przyczyną wzrostu prędkości przepływu rzeki na odcinku koryta, powyżej przepustu, powodując erozję brzegów. W wyniku większej prędkości na wyjściu z przepustu erozja koryta obserwowana jest również poniżej budowli. Opierając się na pomiarach geodezyjnych i hydrodynamicznych, przeanalizowano możliwe przyczyny takiej sytuacji.

**Słowa kluczowe:** koryto rzeczne, erozja, przepust, prędkość przepływu

### **WSTĘP**

Projektowanie, budowa i utrzymanie obiektów inżynierskich, jakimi są przepusty drogowe, wymagają spełnienia warunków określonych w odpowiednich aktach prawnych [Ustawa... 1985], oraz szczegółowych rozporządzeniach Ministerstwa Transportu [Rozporządzenie... 1999, Rozporządzenie... 2012]. Zalecenia dotyczące tego zagadnienia dostępne są również w obowiązujących normatywach [PN-S-02205:1998, PN-EN 1990:2004 Eurokod; PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1, PN-EN 1992-2:2010 Eurokod 2,

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Mariusz Cholewa, dr inż. Karol Plesiński, dr inż. Katarzyna Kamińska, dr inż. Przemysław Baran, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: [mcholewa@ur.krakow.pl](mailto:mcholewa@ur.krakow.pl).

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

PN-EN 1994-2:2010 Eurokod 4, PN-EN 1997-1:2008/A1:2014-05 Eurokod 7]. Część budowli wzniesionych kilkadziesiąt lat temu nie spełnia obowiązujących standardów. Zarządcy starają się w miarę możliwości wprowadzić niezbędne zmiany lub przebudować starzejące się obiekty.

Wybudowane w latach 70. i 80. ubiegłego wieku przepusty drogowe miały różnorodne konstrukcje w zależności od miejscowych uwarunkowań terenowych, gospodarczych i technicznych. Odnosi się to głównie do dróg powiatowych i lokalnych, gdzie obciążenie ruchem było w tym czasie niewielkie. W miarę upływu lat natężenie ruchu wzrastało, często zmianie uległa również kategoria drogi. Konieczne stały się modernizacje i przebudowy elementów infrastruktury drogowej. W przypadku przepustów dla niewielkiej nawet rzeki, konstrukcję opiera się na elementach żelbetowych wykonywanych na miejscu. Wynika to z obowiązujących rozporządzeń, normatywów, rozwoju techniki budowlanej. Właściwy dobór przyjętego rozwiązania spoczywa na projektancie. Analiza warunków hydrologicznych, geotechnicznych i transportowych jest niezbędna do realizacji projektu inżynierskiego. Brzegi cieków na odcinku kilku metrów poniżej i powyżej przepustu muszą być umocnione. Ocena parametrów geotechnicznych gruntów istniejącego brzegu jest skomplikowana. Skarpy i zbocza poddawane są bezpośredniemu oddziaływaniu nurtu rzeki, spływu powierzchniowego, ciśnienia spływowego, zjawiskom mrozowym, dlatego wymagają odpowiednich metod zabezpieczenia [Handy i Spangler 2006]. Zaleca się, aby nachylenie skarp mieściło się w granicach od 1 : 3,0 do 1 : 2,5, co zapewnia ogólną stateczność oraz ułatwia ułożenie warstw zabezpieczenia powierzchni. W przypadku cieków wodnych geometria niezabezpieczonych skarp jest zwykle trudna do kontrolowania, przy dużych przepływach występuje ekspansja rzeki na tereny przyległe, pojawiają się też osunięcia gruntów budujących brzeg.

## CEL I ZAKRES PRACY

Celem badań było określenie charakteru i zakresu zmian warunków przepływu na wybranym odcinku rzeki Wilgi w miejscowości Koźmice Wielkie w woj. małopolskim. Zmiany przepływu wynikały z przebudowy przepustu zlokalizowanego w ciągu drogi powiatowej. Miejsce prowadzenia pomiarów obejmowało koryto rzeki powyżej i poniżej budowli. Zmiana konstrukcji przepustu, jego światła, oraz odmienne usytuowanie w stosunku do nurtu rzeki spowodowało zwiększenie prędkości przepływu rzeki na odcinku koryta, powyżej i poniżej przepustu, powodując erozję brzegów. Zakres badań obejmował prace terenowe: obmiar geodezyjny, pomiary hydrodynamiczne nurtu rzeki.

W pracy przeanalizowano możliwe przyczyny destabilizacji brzegów koryta rzeki przylegającego do przepustu. Sformułowane wnioski oparto na wynikach badań parametrów hydrodynamicznych.

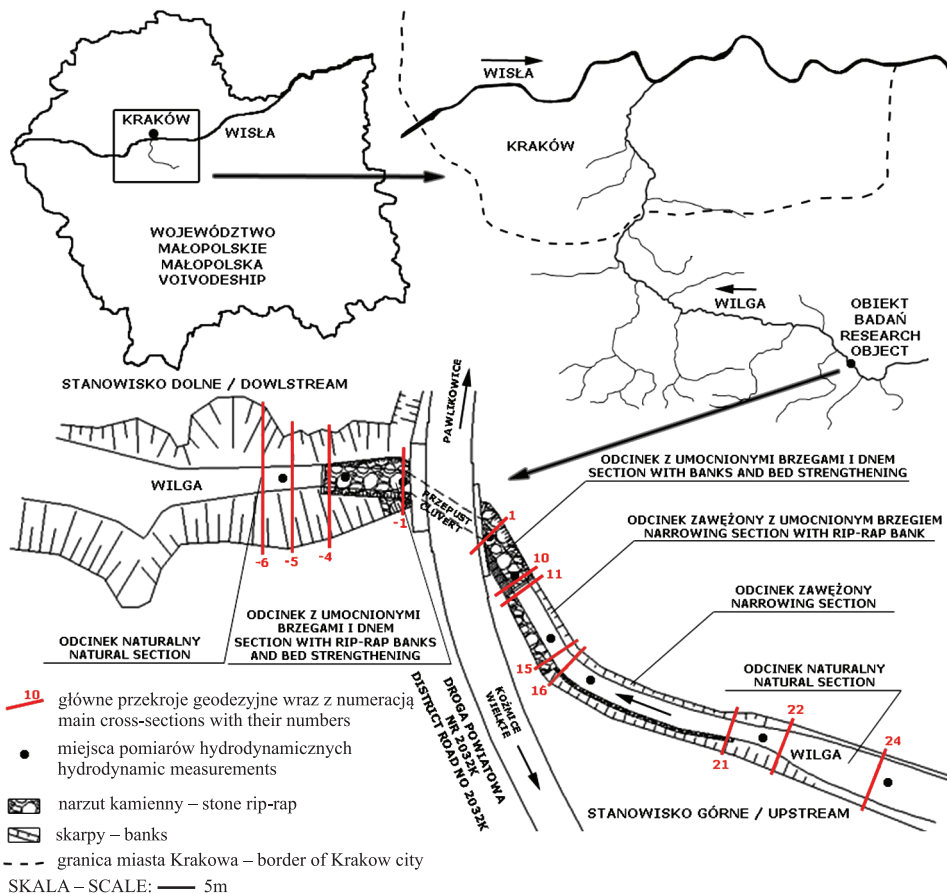
## CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Rzeka Wilga o długości 21,4 km i powierzchni zlewni wynoszącej 101 km<sup>2</sup> jest prawobrzeżnym dopływem Wisły (ryc. 1). Wpada do niej w Krakowie, w 78 km jej biegu na wysokości 200 m n.p.m. Źródło znajduje się na Pogórzu Wielickim, w okolicach miej-

scowości Pawlikowice, na wysokości 370 m n.p.m. Odcinek źródłowy rzeki meandruje. Z kolei odcinek ujściowy został na długości 6,3 km uregulowany, zaś na długości 1,2 km – wyprostowany i obwałowany, przez co ochrania tereny miejskie przed cofką występującą w związku ze spiętrzeniem wód Wisły stopniem Dąbie [Łojan 2008].

Źródłowy obszar zlewni znajduje się na terenach podmiejskich, które są użytkowane rolniczo i rekreacyjnie. Z kolei odcinek ujściowy leży w granicach administracyjnych Krakowa. Odcinki te dzielą się po połowie. W zlewni lasy stanowią tylko 10% powierzchni [Filimowski 1995, Łojan 2008].

Wilga jest rzeką podgóorską, charakteryzującą się dużą prędkością oraz nierównomiernością przepływu. W okresach letnio-jesiennych występują niskie stany wody, zaś podczas wiosennych roztopów poziom wody w rzece jest wysoki. Rzeka szybko reaguje na sływ powierzchniowy, co jest spowodowane urbanizacją terenu i małym zalesieniem stoków [Łojan 2008].

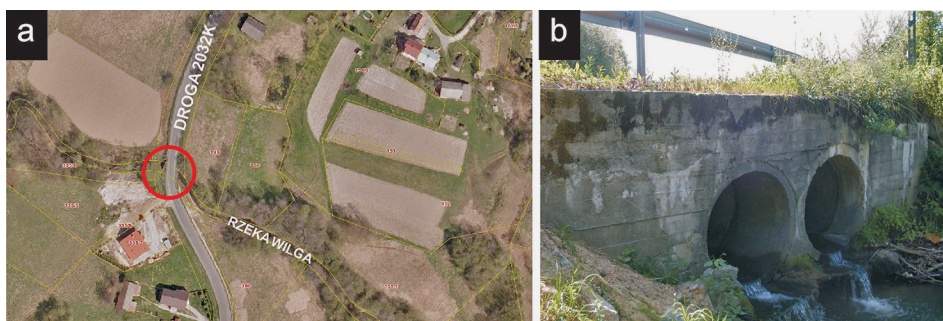


Ryc. 1. Lokalizacja obiektu badań i miejsca pomiarów hydrodynamicznych

Fig. 1. Localization of research object and places of hydrodynamic measurements

## Charakterystyka przepustu przed przebudową

Wybrany do analizy przepust znajduje się w odległości niecałych 5 km od źródeł rzeki Wilgi w miejscowości Koźmice Wielkie. Wybudowany został w latach 70. na potrzeby ruchu pojazdów samochodowych w ciągu obecnej drogi powiatowej nr 2032K (ryc. 2a). Wcześniej istniał jedynie użytkowany przez okolicznych mieszkańców bród oraz wykonana z pnia kładka dla pieszych. Droga była sporadycznie użytkowanym traktem o nawierzchni gruntowej, bez rowów odwadniających. Pod koniec lat 70. została utwardzona żużlem wielkopieczowym, w latach 90. położono nawierzchnię asfaltową. Założenia projektowe przepustu, jeśli w ogóle istniały, zakładały niewielkie obciążenie ruchem, głównie wozów konnych. Wykonanie nawierzchni bitumicznej umożliwiło przejazd samochodów ciężarowych.



Ryc. 2. Lokalizacja (a) i stan (b) obiektu przed przebudową

Fig. 2. Location (a) and the view (b) of the object before the reconstruction

Długość przepustu wynosiła 10,3 m, elementy prowadzące wodę to dwie rury o średnicy wewnętrznej 1,4 m (ryc. 2b). Brak dokumentacji projektowej oraz obliczeń konstrukcyjnych ograniczają możliwość ustalenia nośności projektowej.

## Aktualny stan obiektu

Nowy przepust na rzece Wilga zaprojektowano w miejscu istniejącego obiektu. Jego funkcją jest umożliwienie ruchu pojazdów odbywającego się po drodze powiatowej przez przeszkodę wodną. Jest to przepust żelbetowy o konstrukcji ramowej zamkniętej posadowionej bezpośrednio, o klasie obciążenia – A (wg PN-85/S-10030). U wylotu i wlotu obiektu zaprojektowano żelbetowe ściany czołowe usytuowane równolegle do osi drogi. Długość całkowita obiektu wynosi 11,74 m; światło poziome przepustu – 4,00 m; światło pionowe przepustu – 2,00 m; całkowita szerokość korony drogi – 10,34 m.

Wykonano koryto o szerokości w dnie ok. 2,5 m, głębokości ok. 1,5 m, dostosowane do istniejącego ukształtowania terenu. W obrębie oddziaływania przepustu zaprojektowano ubezpieczenie dna oraz skarp w postaci: na wylocie przepustu na odcinku od km 22+491,92 do km 22+503,92 – umocnienie kamieniem łamanym  $D > 50$  cm, klinowanym kamieniem łamanym  $D 20-50$  cm spoinowany zaprawą cementową – odcinek o długości 11,87 m, gurt betonowy gr. 30 cm w km 22+491,62 – 22+491,92 – jako zakończenie umocnienia odcinka wylotowego. Umocnienie skarpy prawostronnej i dna koryta rzeki

Wilgi na wlocie przepustu na odcinku od km 22+515,66 do km 22+526,96 – umocnienie kamieniem łamanym  $D > 50$  cm klinowanym kamieniem łamanym  $D 20\text{--}50$  cm spoinowany zaprawą cementową – odcinek o długości 10,66 m, gurt betonowy gr. 30 cm w km 22+526,96 – 22+527,26 – jako zakończenie umocnienia odcinka wlotowego. Umocnienie skarpy lewostronnej na wlocie przepustu koszami siatkowo-kamiennymi układanymi na wyściółce faszynowej o długości 9 m, tj. od km 22+518,26 do km 22+527,26. Nachylenie skarp: na wlocie  $\sim 1 : 1$ , na wylocie  $\sim 1 : 1,5$ . Łączna długość koryta objęta umocnieniem: odcinek wlotowy – 10,66 m, odcinek wylotowy – 11,87 m. Umocnienie koryta zakończone jest na początku i końcu gurtem betonowym z betonu hydrotechnicznego klasy C25/30 grubości 30 cm. W przekrojach poprzecznych koryta gurt ma kształt zbliżony do geometrii naturalnego koryta (ryc. 3).



Ryc. 3. Stan obiektu po przebudowie: a) początkowe uszkodzenia ubezpieczenia brzegu, b) narzut kamienny blokujący przepływ w korycie

Fig. 3. Object state after the reconstruction: a) initial damage to a protected river bank, b) stone rip-rap blocking the flow in channel of the river

## POMIARY HYDRODYNAMICZNE

Pomiary geodezyjne wykonano tachimetrem TOPCON GTS-226. Posłużyły one do wyznaczenia profilu podłużnego rzeki oraz 24 przekrojów poprzecznych. Idąc do stanowiska górnego (ryc. 1), rzeka miała początkowo charakter naturalny (przekroje 24–22). Następny odcinek (przekroje 21–16) charakteryzował się zawężeniem przekroju poprzecznego i umocnieniem kamiennym lewego brzegu. Jego końcowy przekrój znajdował się na łuku, po którym zaczynał się kolejny odcinek (przekroje 15–9). Na jego lewym brzegu znajdował się narzut kamienny na zaprawie betonowej, który uległ częściowemu osunięciu do koryta rzecznej. Ostatni odcinek przed wlotem do przepustu był silnie przekształcony (przekroje 8–1). Znajdowały się na nim umocnienia brzegów (lewego gabionami, prawego zaś narzutem kamiennym) i dna (za pomocą kamieni łamanych). Na stanowisku dolnym, poniżej wylotu z przepustu, również dna i brzegi były umocnione narzutem kamiennym (przekroje do –1 do –4). Kolejne dwa przekroje (–5 i –6) wykonano poniżej umocnionego odcinka w korycie naturalnym.

Pomiary hydrodynamiczne były wykonywane młynkiem hydrometrycznym VALE-PORT Model 801 Flat EM Flow Meter, który pozwala na pomiar prędkości chwilowych przepływu oraz napęlenia w dowolnie wybranym punkcie przekroju poprzecznego ciekłu. Zakres pomiarowy prędkości wynosi  $V = 0,001 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} - 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  z dokładnością  $0,001 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , zaś napęlenia do 1,5 m z dokładnością do 0,5 cm.

Do pomiarów zostały wybrane przekroje, które charakteryzowały się odmiennymi warunkami hydraulicznymi i geometrycznymi, lecz reprezentowały pewien odcinek rzeki. Tak więc na stanowisku górnym wykonano pomiary hydrodynamiczne w dwóch przekrojach naturalnych (24 i 23), w przekroju zawężonym (20), w przekroju zawężonym ze zniszczonym narzutem na lewym brzegu (12) oraz w dwóch przekrojach tuż przed wlotem do przepustu (7, 3), które charakteryzowały się najmniej naturalnym charakterem (lewy brzeg był umocniony gabionami, prawy narzutem kamiennym, a dno zostało wyłożone kamieniem łamanym). Z kolei na stanowisku dolnym, pomiary wykonano poniżej wylotu z przepustu na odcinku, którego dno było umocnione kamieniem łamanym, a brzeg narzutem kamiennym (przekroje -3 i -4). Wykonano także pomiary w odcinku naturalnym (przekrój -5).

Po przeprowadzeniu pomiarów hydrometrycznych wykonano obliczenia pozostałych parametrów hydrodynamicznych: z profilu prędkości zmierzonego tuż nad dnem wykreślono tachoidy prędkości w układzie półlogarytmicznym dla poszczególnych punktów pomiarowych, dzięki czemu wyznaczono prędkość dynamiczną [Gordon i in. 2007]:

$$V_* = \frac{a}{5,75}, \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

$a$  – współczynnik nachylenia prostej w równaniu  $y = ax + b$  (w którym:  $x$  – wysokość nad dnem, na której wykonano pomiar,  $b$  – wyraz wolny równania).

Prędkość ta posłużyła do wyliczenia naprężenia stycznego:

$$\tau = \rho \cdot (V_*)^2, \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \quad (2)$$

gdzie:

$\rho$  – gęstość wody,  $\text{kg} \cdot \text{m}^3$ .

Wyznaczono także liczbę Reynoldsa i liczbę Froude'a:

$$Re = \frac{V_{\text{sr}} \cdot h}{\nu}, - \quad (3)$$

$$Fr = \frac{V_{\text{sr}}}{\sqrt{g \cdot h}}, - \quad (4)$$

gdzie:

$V_{\text{sr}}$  – prędkość średnia w pionie pomiarowym,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$h$  – napęlenie, m,

$\nu$  – kinematyczny współczynnik lepkości wody,  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,

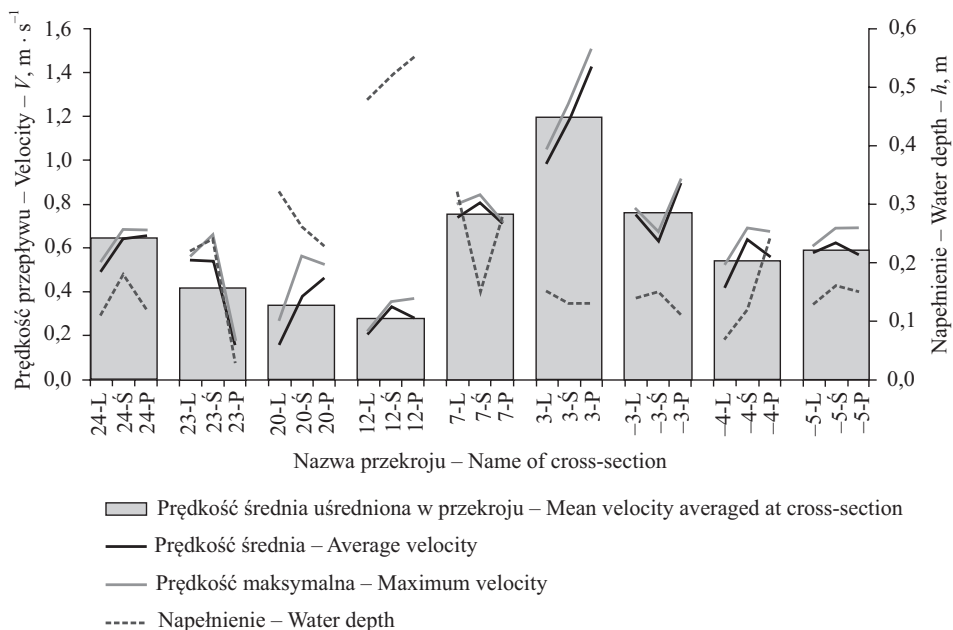
$g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

## WYNIKI I Dyskusja

Na stanowisku górnym (ryc. 4), odcinki naturalne charakteryzowały się większym zróżnicowaniem parametrów hydrodynamicznych ( $\Delta V = 0,524 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = 0,173 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ), niż odcinki przekształcone, których zakres prędkości i naprężeń wynosił:  $\Delta V = 0,400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = 0,064 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  dla przekrojów zawężonych (20 i 12) oraz  $\Delta V = 0,127 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = 0,321 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$   $\Delta V = 0,520 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = 0,640 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  odpowiednio dla przekrojów zlokalizowanych w korycie umocnionym bezpośrednio przed przepustem (7 i 3). Tylko zakresy naprężeń stycznych w przekroju 7 i 3 były większe niż w korycie naturalnym, co sugeruje, że pomimo względnie wyrównanej wartości prędkości przepływu w tych przekrojach, siły działające na dno są bardziej zróżnicowane, na co wpływ miały wysokie wartości prędkości dochodzące nawet do  $V = 1,503 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a także wysoka turbulencja przepływu  $Re_{\max} = 195\,704$  (ryc. 4).

Z kolei na stanowisku dolnym sytuacja była odwrotna. Odcinek naturalny charakteryzował się najmniejszym zróżnicowaniem  $\Delta V = 0,117 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  w porównaniu do odcinków przekształconych  $\Delta V = 0,493 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Przyczyną tego może być ukośne usytuowanie przelewu względem przepływu wody w korycie, przez co woda wypływająca z obiektu, na odcinku umocnionym tworzy nurt główny po prawej stronie koryta, który następnie zostaje rozbity. Dlatego w korycie naturalnym nie wykształcił się wyraźny nurt główny, a parametry hydrodynamiczne są do siebie zbliżone.

Na odcinku 27,83–44,33 m (ryc. 5, przekroje 21–16 na ryc. 1) występowało umocnienie podstawy skarpy gładzi. Odcinek ten był wzdłuż kierunku płynięcia rzeki coraz



Ryc. 4. Parametry hydrodynamiczne w analizowanym korycie  
Fig. 4. The hydrodynamic parameters at analysis channel

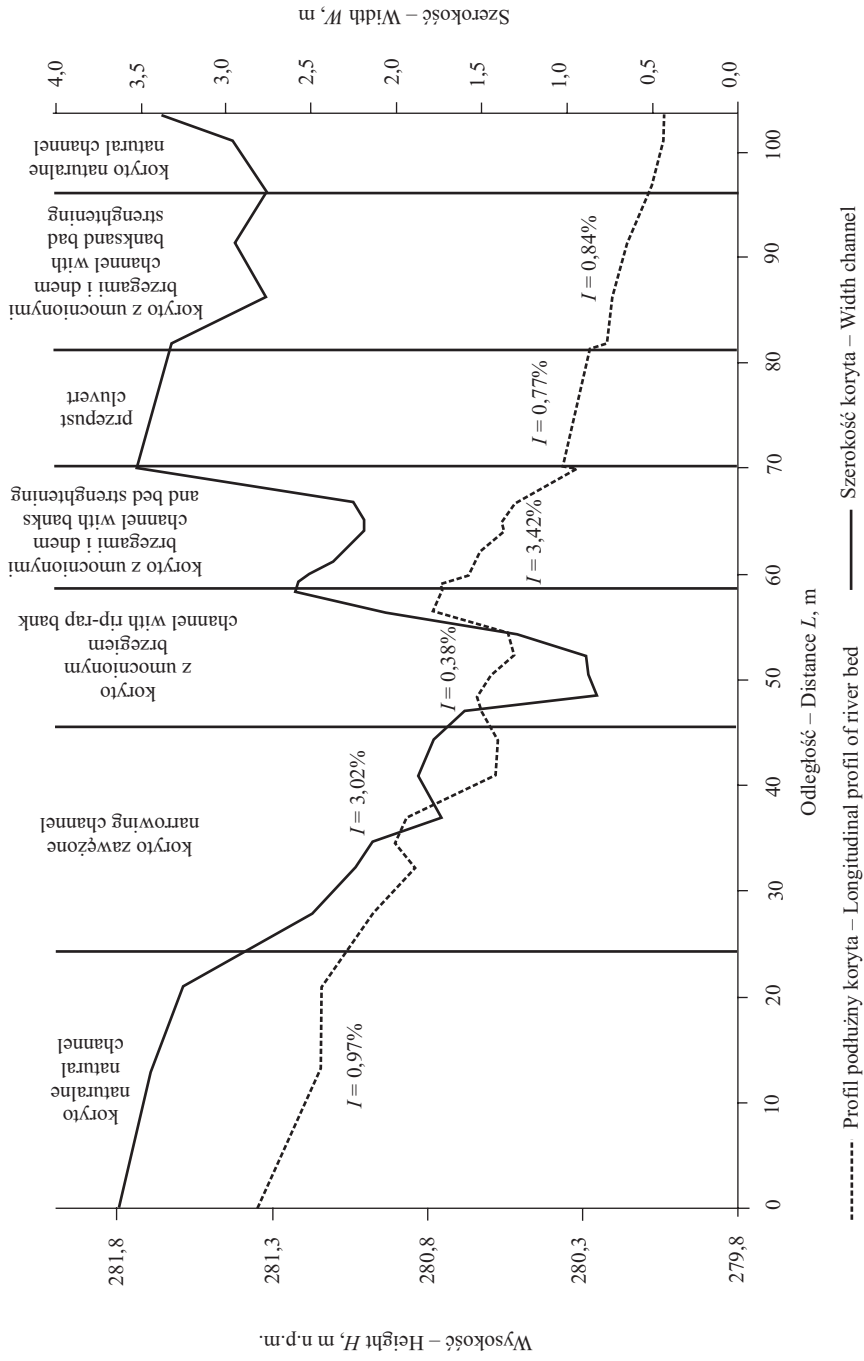
bardziej zawężony, do tego stopnia, że ostatnie dwa jego przekroje (16 i 17), znajdowały się na tej samej elewacji co odcinek zagrożony osunięciem się narzutu kamiennego umacniającego lewy brzeg. Jednakże nie tylko zawężony przekrój poprzeczny powodował obniżanie się dna koryta. Również duży spadek dna koryta wynoszący  $I = 3,02\%$  powodował, że podczas wezbrań można było zaobserwować wysokie wartości przepływu wody. Początkowo, gdy dwa najniższe zlokalizowane przekroje tego odcinka jeszcze nie były wyerodowane, spadek ten był mniejszy, jednakże niesprzyjające zdarzenia do jakich doszło w odcinku poniżej (takie jak: zawężenie koryta poprzez osunięcie umocnienia, zwiększenie prędkości wody oraz erozja koryta), spowodowały wzrost prędkości i erozję wsteczną koryta.

Na odcinku 44,33–54,38 m (przekroje 15–11) stwierdzono znaczne obniżenie się dna koryta rzecznego. Było to związane z osunięciem się umocnienia brzegowego, co spowodowało częściowe zamknięcie i zawężenie przekroju o ok. 1 m. W konsekwencji, podczas wezbrań, prędkość wody w tym miejscu była dużo wyższa, niż w odcinkach niezawężonych, co powodowało wymywanie i uruchamianie zdeponowanego materiału dennego oraz jego transport w dół rzeki, czego konsekwencją była erozja dna. Przy przepływach niżówkowych i średnich, w wymytm wyboju, wartości prędkości były najniższe w całym obserwowanym korycie ( $V = 0,275 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Dno koryta w przekrojach zlokalizowanych poniżej odcinka wyerodowanego (nr 10, 9) było na wyższej elewacji, a narzut kamienny, umacniający brzeg rzeki, nie uległ w tym miejscu osunięciu (9) lub osunął się nieznacznie (10). W związku z tym ich wyższe usytuowanie w profilu podłużnym stanowi pewnego rodzaju barierę dla płynącej powyżej wody, powodując, że w odcinku wyerodowanym woda stagnuje lub płynie z bardzo niską prędkością. Wszystkie te zjawiska świadczą o negatywnym oddziaływaniu uszkodzonego umocnienia na koryto rzeczne, którego osunięcie powoduje degradację koryta, jego obniżenie i erozję.

Odcinek 59,14–70,26 m (przekroje 8–1) był umocniony: brzeg lewy gabionami, dno kamieniem łamanym, brzeg prawy narzutem kamiennym. W związku z tym, poprzez przekształcenie tego odcinka, zmniejszenie jego szorstkości oraz zaprojektowanie i wykonanie go z dużym spadkiem, wynoszącym  $I = 3,42\%$ , wartości prędkości były najwyższe w całym analizowanym korycie. Już na początku odcinka, w przekroju 7, wartości prędkości dochodzą do  $V = 0,753 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , zaś tuż przed wlotem strugi wody do przepustu wartość tego parametru wynosi  $V = 1,195 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a  $V_{\max} = 1,503 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na tym odcinku pozostałe parametry hydrodynamiczne także były najwyższe. W przekroju 3, wartości naprężenia stycznego dochodziły do  $\tau = 0,853 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ , a liczba Froude'a wynosiła  $Fr = 1,038$ ,  $Fr_{\max} = 1,331$ , co informuje o występowaniu ruchu podkrytycznego. Z kolei w przekroju 7, tylko liczba Reynoldsa była najwyższa, dochodząc do  $Re_{\max} = 195\,704$ . Pozostałe parametry hydrodynamiczne, takie jak naprężenie styczne i liczba Froude'a były niższe niż w przekroju 3, ale jednak nadal wysokie, wynosząc odpowiednio  $t = 0,388 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  i  $Fr = 0,665$ .

Poniżej przepustu, odcinek 81,34–96,14 m (przekroje od –1 do –4) również był umocniony w dnie i na brzegach. Prędkość wypływającej z przepustu strugi wody w miarę oddalania się od niego, malała z wartości  $V = 0,758 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  w przekroju 3 do wartości  $V = 0,538 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  w przekroju –4 usytuowanym na końcu umocnienia. Wartości naprężenia stycznego wyniosły na tym odcinku  $\tau = 0,171 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ , zaś liczby Reynoldsa  $Re = 68\,517$  i liczby Froude'a  $Fr = 0,579$ . Były one zbliżone do wartości występujących poniżej,





Ryc. 5. Parametry geometryczne analizowanego koryta rzecznego  
 Fig. 5. The geometric parameters at analysis channel

w korycie naturalnym ( $V = 0,591 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\tau = 0,095 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $Re = 66\,394$  i  $Fr = 0,494$  w przekroju –5). Świadczy to o hydraulicznie łagodnym przejściu z koryta uregulowanego i umocnionego do koryta naturalnego.

Odcinki koryt naturalnych powyżej (przekroje 24–22) i poniżej (przekroje –5 i –6) przepustu charakteryzowały się zbliżonymi do siebie warunkami hydrodynamicznymi. Wartości prędkości płynącej wody w odcinkach naturalnych koryta wyniosły  $V = 0,647 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  powyżej i  $V = 0,591 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  poniżej przepustu. Podobnie było z liczbą Reynoldsa i Froude’a, gdzie wartości tych parametrów wyniosły odpowiednio  $Re = 63\,142$  powyżej i  $Re = 66\,394$  poniżej oraz  $Fr = 0,519$  powyżej i  $Fr = 0,494$  poniżej przepustu. Tylko wartości naprężenia stycznych były zróżnicowane, wynosząc  $\tau = 0,165 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  powyżej i  $\tau = 0,095 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  poniżej obiektu. Zbliżone warunki hydrodynamiczne w naturalnych odcinkach koryt zlokalizowanych zarówno powyżej przepustu, jak i poniżej, świadczą o tym, iż pomimo negatywnego oddziaływania na strugę wody umocnień brzegowych i dennych oraz przepustu, warunki przepływu na stanowisku dolnym powracają do tych, które obserwowaliśmy na początku analizowanego koryta. Świadczy o tym także szerokość koryta, która w naturalnym odcinku usytuowanym poniżej przepustu (przekroje –5 i –6), powraca do wartości, jaka występuje w korycie naturalnym (przekroje 24–22) powyżej przepustu ( $W \approx 3,5 \text{ m}$ ). Także szerokość przepustu, wynosząca  $W = 3,5\text{--}3,3 \text{ m}$ , nie powodowała zawężenia strugi, a raczej ją rozszerzała w stosunku do odcinków położonych bezpośrednio powyżej budowli. Szerokość ( $W = 3,5\text{--}3,3 \text{ m}$ ) i spadek ( $I = 0,77\%$ ) przepustu zbliżone do szerokości ( $W \approx 3,5 \text{ m}$ ) oraz spadków ( $I = 0,97\%$  na stanowisku górnym i  $I = 0,84\%$  na stanowisku dolnym) odcinków naturalnych koryta mogą świadczyć o poprawnym zaprojektowaniu geometrii przepustu. Jedynym mankamentem może być jego skośne usytuowanie względem koryta rzecznego, co powoduje, iż struga wody wpływająca do przepustu zostaje załamana pod kątem  $35^\circ$ .

## PODSUMOWANIE

Zbliżone warunki hydrodynamiczne w naturalnych odcinkach koryt zlokalizowanych zarówno powyżej, jak i poniżej przepustu, świadczą o tym, iż struga wody pomimo negatywnego oddziaływania na nią umocnień brzegowych i dennych oraz przepustu, powraca do parametrów, które obserwowaliśmy na początku analizowanego koryta. Świadczy o tym także szerokość koryta, która w naturalnym odcinku usytuowanym poniżej przepustu powraca do wartości, jaka występuje w korycie naturalnym. Także szerokość przepustu nie powodowała zawężenia strugi, a raczej ją rozszerzała w stosunku do odcinków położonych bezpośrednio powyżej budowli. Szerokość ( $W = 3,5\text{--}3,3 \text{ m}$ ) i spadek ( $I = 0,77\%$ ) przepustu zbliżone do szerokości ( $W \approx 3,5 \text{ m}$ ) i spadków ( $I = 0,97\%$  na stanowisku górnym i  $I = 0,84\%$  na stanowisku dolnym) odcinków naturalnych koryta mogą świadczyć o poprawnym zaprojektowaniu geometrii przepustu. Jedynym mankamentem może być jego skośne usytuowanie względem koryta rzecznego, co powoduje, iż struga wody wpływająca do przepustu zostaje załamana pod kątem  $35^\circ$ . Rozwój techniki pomiarów geodezyjnych pozwolił na wprowadzenie do inżynierii nowoczesnych technologii i systemów pomiarowych. Dzięki bezlustrwowemu pomiarowi odległości dają możliwość skanowania całej

powierzchni brzegu [Suchocki 2009], nawet znajdującej się poniżej lustra wody. Dla rozpatrywanego obiektu zastosowanie nowoczesnych metod geodezyjnych umożliwi bardzo dokładne monitorowanie zmian geometrii brzegów.

## PIŚMIENNICTWO

- Filimowski, J. (1995). Koncepcja poprawy jakości wody w rzece Wildze pod kątem zagospodarowania rekreacyjnego terenów przyległych. Program Zagospodarowania terenów przyległych do rzeki Wilgi na obszarze miasta Krakowa oraz uzupełnienie inwentaryzacji zanieczyszczeń. Gmina miasta Krakowa, maszynopis
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J., Nathan, R.J. (2007). Stream Hydrology. An introduction for ecologists. John Wiley & Sons, London
- Handy, R., Spangler, M., (2006). Geotechnical Engineering. Soil and Foundation Principles and Practice. McGraw-Hill Professional, New York.
- Lojan, E. (2008). Wpływ składników mineralnych na geochemię metali ciężkich w osadach dennych rzeki Wilgi. Praca doktorska, AGH, maszynopis
- PN-EN 1990:2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis
- PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania
- PN-EN ISO 22475-1:2006. Rozpoznanie i badania geotechniczne. Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiaru wód gruntowych. Część 1: Techniczne zasady wykonania
- PN-EN 1991-2:2007. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów
- PN-EN 1992-2:2010. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne
- PN-EN 1994-2:2010. Eurokod 4. Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych. Część 2: Reguły ogólne i reguły dla mostów
- PN-EN 1997-1:2008/A1:2014-05. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
- PN-S-02205:1998, wersja polska, Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych. Dz. U. z 1985 r. Nr 14, poz. 60, z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. z 1999 r. Nr 43, poz.430.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. Dz.U. z 2012 r. Poz. 463.
- Suchocki, Cz. (2009). Zastosowanie skanera naziemnego w monitorowaniu brzegów klifowych. Annual Set The Environment Protection. Roczn. Ochr. Środ., 11, s. 715–725.

## HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF THE FLOW NEAR ROAD CULVERT RIVER WILGA IN KOŹMICE WIELKIE

**Abstract.** The paper presents character and the scope of changes of the flow on the chosen stretch of the river Wilga in Koźmice Wielki province Małopolska. The place of the research above the river near road culvert in the line of the road number 2032K region Wieliczka.

In 2014 culvert was reconstructed by administrator. The technical condition of the object didn't correspond to applicable regulations for engineering objects of this type. Works included total undressing of the existing structure. Two pipes  $\varnothing$  1.4 m arranged parallel of direction flow were dismantled. They were replaced with the new culvert about rectangular shape  $4 \times 2$  m. Change of the structure culvert's, his cross sections, different location the current of the river caused increasing speed of flow of the river's channel before of culvert, causing erosion of river banks. As a result of the high rate of speed on the exit from the culvert, erosion of the channel is also being observed below of structure. Based on geodetic and hydrodynamic measurements possible causes of such a situation were analysed.

**Key words:** river channel, erosion, culvert, speed of flow

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.09.2016*

Do cytowań – For citation: Cholewa, M., Plesiński, K., Kamińska, K., Baran, P. (2016). Warunki hydrodynamiczne przepływu rzeki wilgi w okolicy przepustu drogowego w miejscowości koźmice wielkie. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 15(3), 45–56.