

MODELOWANIE PRZEPIŁYWU WIELKICH WÓD W OBRĘBIE MOSTU NISKOWODNEGO

MODELLING OF FLOOD FLOWS WITHIN THE LOW-WATER BRIDGE

Jerzy Machajski

Politechnika Wroclawska

Dorota Olearczyk

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Autorzy na podstawie analizy warunków hydraulicznych przepływu wody przez przekrój mostu drogowego w ciągu drogi wojewódzkiej nr 363, krzyżującej się w miejscowości Zagrodno (Dolny Śląsk) z korytem rzeki Skorej w km 26+150 jej biegu, przedstawiają procedurę wyboru parametrów przekroju przepływowego tej budowli. Zwracają uwagę na bardzo niekorzystne usytuowanie mostu, bez praktycznie żadnych możliwości przełożenia zarówno drogi jak i samej budowli. Podkreślają złożone warunki przepływu wielkich wód w obrębie tej budowli, jak również analizują wpływ samej budowli na przepływ wody. Podkreślają górski charakter rzeki oraz istotny wpływ zabudowy koryta rzeki powyżej i poniżej mostu budowlami hydrotechnicznymi i komunikacyjnymi. Zwracają uwagę na istotny w tej sytuacji wybór odcinka obliczeniowego na potrzeby prowadzonych obliczeń oraz wybór metody modelowania przepływu w obrębie badanej budowli.

Abstract. Authors on the basis of analysis of hydraulic conditions of flow through the road bridge cross-section in the course of road No 363, crossing in Zagrodno Town (Lower Silesia) the Skora riverbed at km 26+150 of its course, present the choice procedure of parameters of this structure cross-section. They pay attention on very disadvantageous location of discussed bridge, without any possibilities to relocation both the road and the bridge. They underline the complex conditions of flood flow within the bridge, as

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Jerzy Machajski, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Wroclawska, 50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, e-mail: Jerzy.Machajski@pwr.wroc.pl; dr inż. Dorota Olearczyk, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, 50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, e-mail: dorota.olearczyk@up.wroc.pl.

well as they analyze the bridge impact on river flow too. They emphasize the mountain character of the Skora River and significant impact of riverbed development upstream and downstream of the bridge with hydrotechnical and communications structures. Authors pay attention for essential, in this situation, choice of computational river section for the needs of calculations and the choice of the modeling method of flow within studied bridge.

Słowa kluczowe: światło mostu, przepływy o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia, hydraulika koryt otwartych

Key words: bridge opening, discharges with a given probability of exceedance, open channel hydraulics

WSTĘP

Obowiązujące aktualnie w budownictwie drogowym przepisy [Rozporządzenie... 2000] wymagają takiego doboru parametrów budowli mostowej – jej światła i prześwitu, aby zostało spełnione wymagane przewyższenie spodu konstrukcji w stosunku do położenia zwierciadła miarodajnych wód obliczeniowych. Jest to stosunkowo łatwe do osiągnięcia w odniesieniu do mostów wysokowodnych (dolinowych), natomiast bardzo trudne lub wręcz niemożliwe w przypadku mostów niskowodnych, sytuowanych zwykle na wysokości przyległego terenu. Zdarza się również i tak, że zapisy aktualnie obowiązujących przepisów, dotyczących wymaganych przewyższeń, nie zawsze pasują do danej sytuacji terenowej. Stwarza to określone trudności związane z procedurą zatwierdzania parametrów budowli mostowej, w toku wymaganego ustawą Prawo wodne postępowania wodnoprawnego [Ustawa... 2001].

OPIS OBIEKTU

Droga wojewódzka nr 363 Złotoryja – Bolesławiec (Dolny Śląsk) w miejscowości Zagrodno przekracza mostem koryto rzeki Skorej w km 26+150 jej biegu. Aktualnie oś drogi przecina oś koryta rzeki pod kątem 79° , w przekroju skrzyżowania znajduje się most dwuprzęsłowy o żelbetowej konstrukcji płytowo-żebrowej. Długość całkowita mostu wynosi 22,50 m, a rzędna spodu konstrukcji 182,25 m n.p.m. Przyczółki i filar to masywne podpory kamienno-betonowe, posadowione prawdopodobnie na palach drewnianych. Skrzydła masywne wolnostojące. Obiekt wybudowano w okresie międzywojennym lub nawet wcześniejszym (prawdopodobnie na przełomie XIX i XX wieku [Machajski i Olearczyk 2007]). Widok mostu w stanie przed przebudową pokazano na rys. 1.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że stan techniczny obiektu jest zły. Udokumentowano znaczne uszkodzenia belek skrajnych w środku rozpiętości przęsła lewego, w postaci zaawansowanej korozji odsłoniętych prętów zbrojenio- wych oraz znaczących ubytków betonu dźwigarów głównych. Z wymienionych wyżej i innych dodatkowych względów, zgodnie z decyzją właściciela obiekt przeznaczono do rozbiórki.



Rys. 1. Widok od strony wody górnej mostu drogowego w km 26+150 biegu rzeki Skorej
Fig. 1. View from the upstream of the road bridge at km 26+150 of the Skora River course

RZEKA SKORA

Rzeka Skora jest prawostronnym dopływem rzeki Czarna Woda (zlewnia rzeki Kaczawa) i uchodzi do niej w km 12+500 jej biegu. Odwadnia znaczny fragment zachodniej części Pogórza Kaczawskiego. Skora, szczególnie w górnym odcinku, ma wartki bieg, charakteryzuje się znacznymi wahaniami stanów wody, częste są wezbrania powodziowe. Rzeka Skora przyjmuje szereg dopływów, m.in. lewostronne: Chelst, Gajowa i Zimnik oraz prawostronne: Debrznik i Czermna. W dolnej części zlewni dolina Skory jest płaskodenna, miejscami silnie podmokła i zmeliorowana, w tej części znajdują się liczne rozdzielenia koryta. Zlewnia rzeki Skorej użytkowana jest głównie rolniczo, z licznymi łąkami, ale i sporymi nieużytkami; zlewnia jest słabo zalesiona. Całkowita powierzchnia zlewni do przekroju ujściowego do rzeki Czarna Woda wynosi 282,47 km². Długość rzeki to 50,73 km. Rzeka jest częściowo uregulowana, w dolnym biegu jest obwałowana [Machajski i Olearczyk 2007].

Systematyczne obserwacje i pomiary hydrologiczne w zlewni rzeki Skorej wykonywane są już od początku XX wieku. Aktualnie od roku 1946 rejestracje codziennych stanów wody i okresowe pomiary natężenia przepływu prowadzone są na dwóch posterunkach wodowskazowych: Zagrodno oraz Chojnów. W tabeli 1 zestawiono posterunki wodowskazowe w zlewni rzeki Skorej (informacja o powierzchni oraz lokalizacji wodowskazów wg Podziału hydrograficznego Polski z 2005 roku [Atlas... 2005]).

Tabela 1. Posterunki wodowskazowe w zlewni rzeki Skorej

Table 1. Gauging stations in the Skora River catchment

Lp. No	Wodowskaz Gauging station	Km biegu rzeki Km of river course	Powierzchnia zlewni Catchment area km ²	Rzędna zera wodowskazu Elevation of water gauge zero m nKr.
1	Zagrodno	26,27	166,03	181,19
2	Chojnów	10,95	265,99	139,99

Dobrze rozwinięta sieć rzeczna zlewni Skorej, zasilana jest głównie z opadów atmosferycznych. Obszar zlewni charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem terenu, dużymi deniwelacjami oraz dość wysokimi spadkami, szczególnie w swej górnej części. Takie czynniki sprzyjają wystąpieniu szybkiego spływu powierzchniowego, który powoduje gwałtowne wahania stanów wody i przepływów w rzece.

Charakterystyczne dla tego obszaru są wezbrania opadowe, zwłaszcza nawalne i frontalne. W latach 1950–2002 do znaczących wezbrań zaliczane są powodzie z lat 1965, 1977, 1981 i 1997. Największym wezbraniem w zlewni rzeki Skorej było wezbranie z 1981 [Machajski i Olearczyk 2007]. Przepływy maksymalne dla powyższych wezbrań podano w tabeli 2.

Przepływy o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $p\%$ opracowane zostały przez IMGW Oddział Wrocław dla przekroju wodowskazowego Zagrodno, dla 31-letniego ciągu obserwacyjnego, spełniającego warunki jednorodności. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ określono na podstawie ich wartości opublikowanych w *Rocznikach hydrologicznych wód powierzchniowych* [Byczkowski 1979]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Przepływy maksymalne w zlewni Skorej [Machajski 2007]

Table 2. Maximum discharges in the Skora River catchment [Machajski 2007]

Lp. No	Wodowskaz Gauging station	Przepływ Stan wody Discharge Water stage	Wezbranie w roku (data kulminacji) Flood in (date of flood wave peak)			
			1965	1977	1981	1997
1	Zagrodno	$Q, m^3 \cdot s^{-1}$	–	74,50	98,0	91,0
		H, cm	–	260	284	277
		Data, godz. Date, hour	–	2.08, 2 ⁰⁰	20.07, 10 ⁰⁰	19.07, 19–20
2	Chojnów	$Q, m^3 \cdot s^{-1}$	41,50	105	121	61,0
		H, cm	230	358	390	270
		Data, godz. Date, hour	30.05	2.08, 9 ⁰⁰	20.07, 16 ⁰⁰	20.07, 5 ⁰⁰

Tabela 3. Maksymalne przepływy o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia p% oraz przepływ średni niski SNQ i średni roczny SSQ [Machajski i Olearczyk 2007]

Table 3. Maximum discharges with a given probability of exceedance p%, average low flow SNQ and mean flow SSQ [Machajski i Olearczyk 2007]

Rzeka River	Wodowskaz Gauging station	Powierzchnia zlewni Catchment area km ²	Przepływy – Discharges m ³ · s ⁻¹					
			50%	1%	0,5%	0,3%	SSQ	SNQ
Skora	Zagrodno	166,03	16,30	138	161	178	1,20	0,600

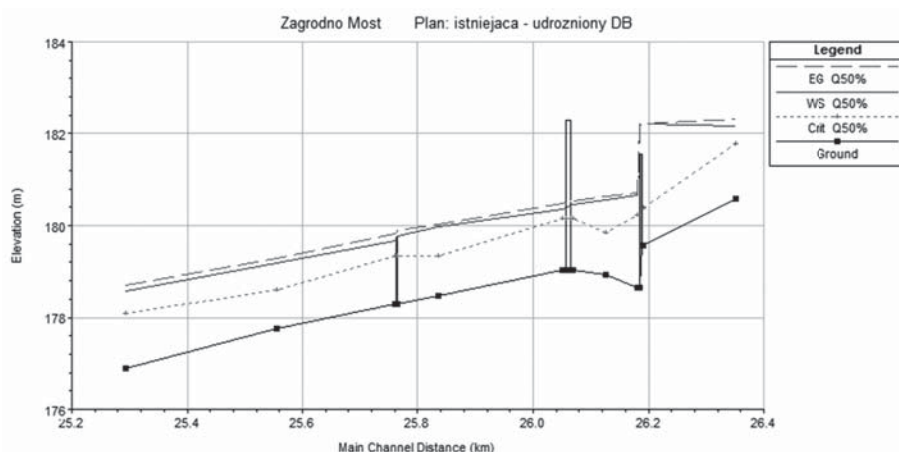
OCENA ZDOLNOŚCI PRZEPUSTOWEJ KORYTA RZEKI SKOREJ I MOSTU

Ocenę zdolności przepustowej koryta Skorej, wykonano dla stanu istniejącego koryta i budowli mostowej oraz powtórzono po wyborze rozwiązań konstrukcyjnych przebudowywanego mostu.

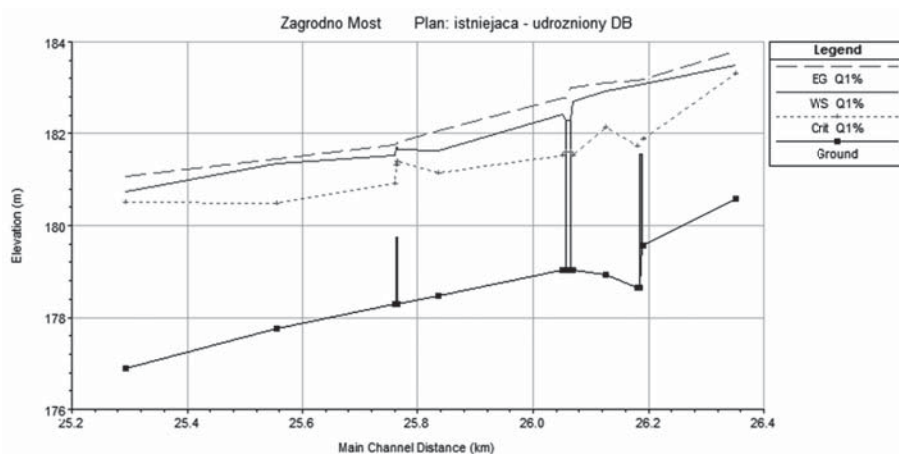
Z uwagi na wielkość przepływów obliczeniowych oraz możliwość ich wyjścia na przyległe tereny zalewowe, przeprowadzono modelowanie matematyczne warunków przejścia wielkich wód obliczeniowych na odcinku od km 26+350 do km 25+230 biegu rzeki Skorej, obejmując obliczeniami leżący powyżej mostu przekrój jazu stałego (km 26+278) oraz znajdującą się poniżej kładkę dla pieszych (km 25+233), które mogą mieć istotny wpływ na warunki przepływu wielkich wód przez przekrój mostu drogowego [Hamill 1999, Kubrak i Nachlik 2003, Transportation... 2004]. Do określenia warunków przejścia miarodajnej wody obliczeniowej o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 0,5\%$ ($Q_{0,5\%}$) oraz dla kontroli warunków przepływu innych – mniejszych przepływów ($Q_{50\%}$ i $Q_{1\%}$) przez przekrój istniejącego mostu, wykorzystano program HEC-RAS. Program odwzorowuje jednowymiarowy ustalony oraz nieustalony przepływ w większości możliwych przypadków obliczeniowych takich jak: zmienny kształt doliny rzecznej i koryta głównego, opisywany przekrojami poprzecznymi z zabudową budowlami wodnymi i komunikacyjnymi, dokładnym odwzorowaniem warunków przejścia wód przez przekroje tych budowli [Hamill 1999, Kubrak i Nachlik 2003, Transportation... 2004].

Przekroje poprzeczne koryta rzeki Skorej na wskazanym powyżej odcinku wykonano na podstawie bezpośrednich pomiarów geodezyjnych. Od strony napływu wody przyjęto cztery przekroje poprzeczne, natomiast od strony odpływu wody trzy przekroje poprzeczne [Dąbkowski i in. 1982, Hamill 1999, Kubrak i Nachlik 2003, Machajski i Olearczyk 2007, Utrysko 2000]. Koryto rzeki na odcinku około 60 m przed mostem ma zmienną szerokość w dnie oraz głębokość 2,20÷4,30 m. Koryto rzeki na odcinku poniżej mostu cechuje zmienna szerokość w dnie 5,0÷10,0 m oraz głębokość 2,10÷2,30 m. Należy podkreślić, że przekroje poprzeczne koryta głównego rzeki bezpośrednio przed, jak i za projektowaną przebudową konstrukcji mostu ulegną drobnej korekcie, której celem będzie poprawa warunków zarówno przejścia wód średnich przez przekrój mostu, jak i poprawa przepływu wód powodziowych przez przekrój poprzeczny przebudowywanego mostu. Należy również podkreślić, że zakres przebudowy mostu nie wychodzi poza zabudowę koryta rzeki przekrojem mostu. Profil podłużny koryta rzeki wykonano na podstawie pomiarów geodezyjnych przekrojów poprzecznych jej koryta, odległych jeden od drugiego średnio co 20 m. Spadek podłużny dna koryta rzeki bezpośrednio przed mostem wynosi około 2,7 ‰, poniżej mostu rośnie do ponad 6,5 ‰.

Miarodajny przepływ obliczeniowy dla sprawdzenia zdolności przepustowej koryta rzeki Skorej oraz przekroju istniejącego mostu drogowego wynosi $Q_{0,5\%} = 161 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ [Machajski i Olearczyk 2007, Rozporządzenie... 2000, Utrysko 2000]. Jest to przepływ, który nie mieści się w istniejącym przekroju koryta rzeki. Tym samym może nastąpić obustronne wyjście wód obliczeniowych na tereny przyległe przed mostem. Stąd, w celu określenia warunków przepływu w korycie rzeki Skorej, analizie poddano również przepływy $Q_{50\%} = 16,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $Q_{1\%} = 138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wyniki obliczeń dla stanu istniejącego koryta rzeki, z równoczesną analizą wpływu na warunki przepływu przez przekrój mostu drogowego w km 26+150 biegu rzeki Skorej, przedstawiono na rysunkach i w tabeli zamieszczonych poniżej.



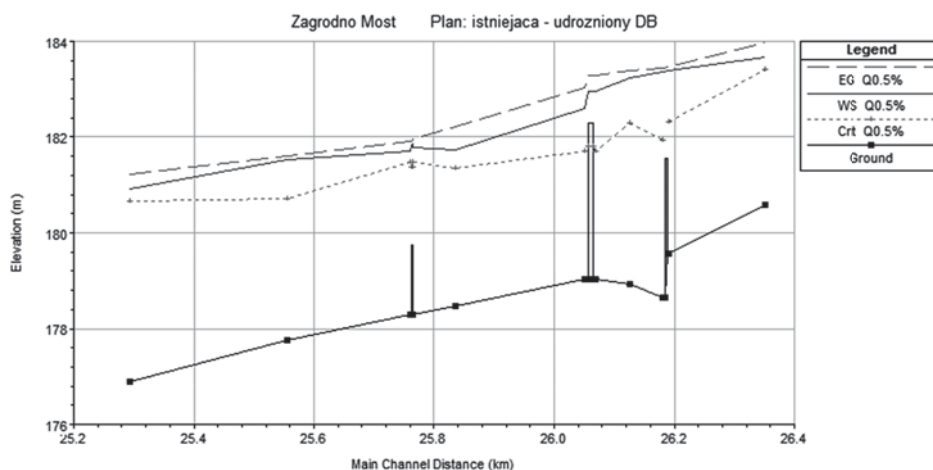
Rys. 2. Profil zwierciadła wody dla przepływu o prawdopodobieństwie $p = 50\%$
Fig. 2. Water table profile for discharge of probability $p = 50\%$



Rys. 3. Profil zwierciadła wody dla przepływu o prawdopodobieństwie $p = 1\%$
Fig. 3. Water table profile for discharge of probability $p = 1\%$

Tabela 4. Wyniki obliczeń dla warunków istniejących
Table 4. Results of calculations for existing conditions

Km biegu rzeki Km of river course	Rzędna dna m n.p.m. Bottom elevation m a.s.l.	Prawdopodobieństwo przepływu obliczeniowego Probability of computational discharge					
		p = 50%		p = 1%		p = 0,5%	
		Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹
26+441	180,59	182,16	1,68	183,48	2,25	183,66	2,27
26+280	179,56	182,22	0,29	183,09	0,99	183,38	0,91
26+278				Jaz stały – weir			
26+270	178,64	180,65	1,18	183,07	0,99	183,37	0,91
26+215	178,92	180,55	1,10	182,94	1,29	183,24	1,29
26+160	179,04	180,46	1,03	182,71	2,14	182,95	2,30
26+150				Most drogowy (rzędna spodu konstrukcji 182,25 m n.p.m.) Road bridge (elevation of bottom structure 182,25 m a.s.l.)			
26+140	179,04	180,37	1,17	182,41	2,37	182,59	2,60
25+835	178,47	179,97	1,09	181,62	2,17	181,73	2,30
25+765	178,30	179,78	1,41	181,65	1,15	181,80	1,17
25+762				Kładka dla pieszych – Footbridge			
25+760	178,30	179,67	1,60	181,54	1,30	181,71	1,26
25+556	177,75	179,19	1,23	181,36	0,95	181,53	1,0
25+293	176,88	178,57	1,49	180,75	1,58	180,92	1,62



Rys. 4. Profil zwierciadła wody dla przepływu o prawdopodobieństwie $p = 0,5\%$

Fig. 4. Water table profile for discharge of probability $p = 0,5\%$

Z przedstawionych powyżej w tabeli i na rysunkach wyników obliczeń, dla określenia warunków przejścia wód obliczeniowych przez koryto rzeki Skorej w rejonie istniejącego mostu drogowego wynika, że tylko przepływ $Q_{50\%}$ swobodnie przechodzi przez koryto rzeki i przekrój analizowanego mostu drogowego z wynikowymi prędkościami w granicach $1,20\text{--}1,50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pozostałe przepływy obliczeniowe nie mieszczą się w przekroju koryta rzeki oraz w przekroju mostu, wychodząc na tereny przyległe zarówno od strony brzegu lewego, jak i od strony brzegu prawego, przelewając się ponad koronę drogi nr 363 Złotoryja–Bolesławiec, z wynikowymi prędkościami $2,30\text{--}2,50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

PROJEKTOWANA PRZEBUDOWA

Bardzo trudne uwarunkowania terenowe spowodowały, że zachowano układ sytuacyjny i wysokościowy drogi i mostu, z minimalnym obniżeniem spodu konstrukcji mostu z rzędnej 182,25 na rzędną 181,88 m n.p.m. Projektowana przebudowa mostu przewiduje jego lokalizację w miejscu istniejącego obiektu z usytuowaniem pod kątem 79° do osi drogi. Przebudowa mostu polegać ma na wyburzeniu istniejącego obiektu i budowie w jego miejscu nowego mostu, o konstrukcji ustroju nośnego złożonego z 13 dźwigarów prefabrykowanych typu T21, zespolonych z płytą żelbetową grubości $0,24\text{--}0,26\text{ m}$. Całość posadowiona będzie na ławach fundamentowych o grubości 1,0 m, stanowiących formę oczepu wieńczącego pale fundamentowe. Kształt zasadniczego przekroju koryta rzeki powyżej i poniżej mostu pozostanie niezmienny, zostanie jedynie poprowadzona w dnie kineta o przekroju trapezowym, o szerokości w dnie 8,0 m, głębokości 1,0 m i nachyleniu skarp 1 : 1. Skarpy kinety zostaną umocnione kamieniem łamanym o wymiarach $20 \times 20\text{ cm}$, układanym na warstwie betonu B15 o grubości 0,15 m. Okładzina skarp przy dnie opierać się będzie na betonowej opasce dennej, a w górnej swojej części

zostanie zamknięta w krawężniku betonowym. Dno kinety oraz skarpy koryta po obu jego stronach, wzmocnione zostaną poprzez ułożenie materacy siatkowo-kamiennych o grubości 0,30 m na geowłókninie. Podobne umocnienie planuje się na przyległym terenie w granicach linii brzegowej rzeki, na długości 22 m powyżej mostu i 17 m poniżej mostu [Machajski i Olearczyk 2007].

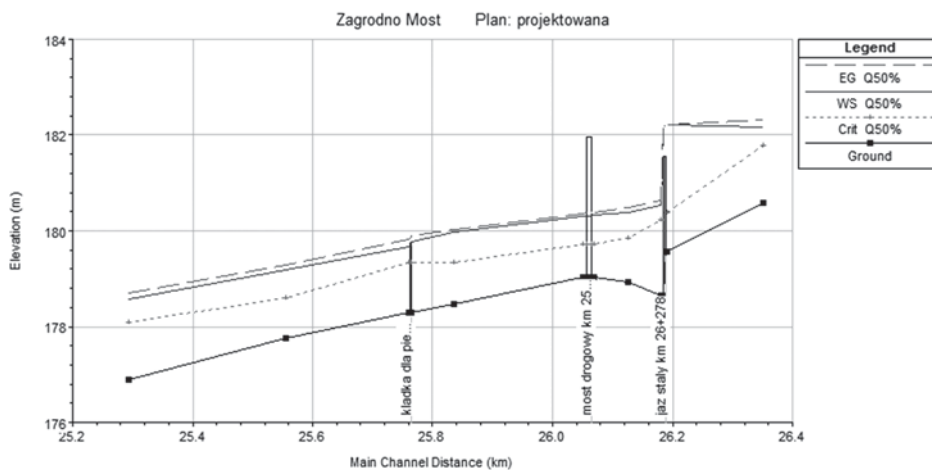
OCENA ZDOLNOŚCI PRZEPUSTOWEJ BUDOWLI PO PRZEBUDOWIE

Podstawę prawną wymiarowania światła mostów określa Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [Rozporządzenie... 2000] – według § 18, ust. 1. „Długość mostu powinna wynikać z warunku minimalnego światła mostu, zapewniającego swobodę przepływu miarodajnego bez spowodowania nadmiernego spiętrzenia wody w cieku” i ust. 2: „Przepływ miarodajny, o którym mowa w ust. 1, jest to maksymalny przepływ roczny, którego prawdopodobieństwo przekroczenia równe jest p%, dobierane w zależności od klasy drogi i rodzaju obiektu. Dla mostu stałego i drogi klasy G, prawdopodobieństwo przewyższenia przepływu obliczeniowego należy przyjmować jako równe $p = 0,5\%$ ”.

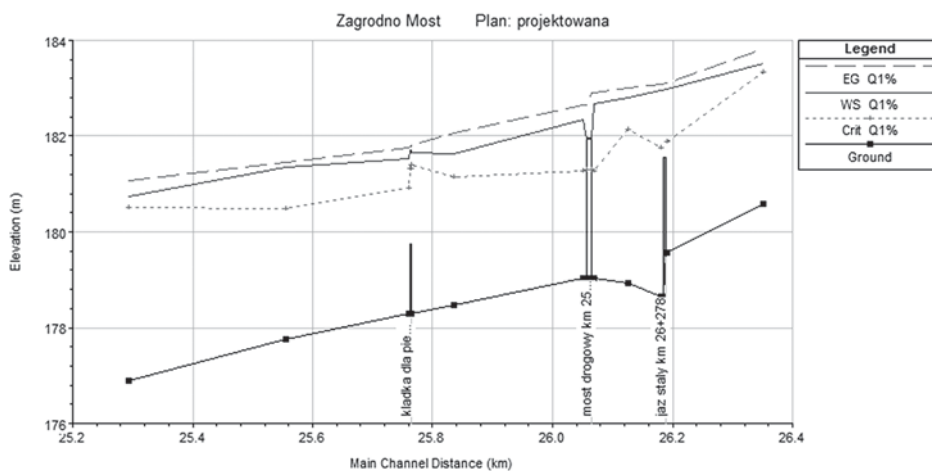
Zgodnie z wymogami podanego powyżej Rozporządzenia, światło mostu w ciągu drogi klasy G powinno być obliczane lub sprawdzane na miarodajny przepływ o prawdopodobieństwie $p = 0,5\%$. W km 26+150 biegu rzeki Skorej przepływ o tym prawdopodobieństwie przewyższenia wynosi $Q_{0,5\%} = 161 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z uwagi na możliwe spiętrzenie w przekroju mostowym [Rozporządzenie... 2007, Utrysko 2000], opiniowaną budowlę sprawdzono też na przepływ niższy o $p = 1\%$ oraz $p = 50\%$. Wynoszą one odpowiednio: $Q_{1\%} = 138 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{50\%} = 16,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Do obliczeń sprawdzających zdolność przepustową istniejącego mostu przyjęto, że przepływ w korycie rzeki przy przepływie miarodajnym jest ruchem zmiennym, a wpływ na to ma możliwość stosunkowo szybkiego wyjścia wielkich wód powodziowych na tereny przyległe, zarówno lewo-, jak i prawostronne. Przyjęto tym samym, że most będzie pracował, jako zatopiony z dopuszczalnym spiętrzeniem wody powyżej. Z uwagi na zakładane duże prędkości przepływu, przyjęto możliwość powstawania pewnych deformacji przekroju rzeki, zarówno przed, jak i za mostem [Dąbkowski i inni 1982, Hamill 1999, Kubrak i Nachlik 2003, Transportation... 2004, Utrysko 2000]. Schemat obliczeniowy dla przebudowywanego mostu nie został zmieniony. Podobnie na potrzeby obliczeń zdolności przepustowej nowo projektowanego mostu zastosowano program HEC-RAS, w który wprowadzono projektowany przekrój mostu oraz zmiany w przekroju koryta rzeki w jego rejonie. Ponieważ światło mostu zostało wstępnie ustalone, należało sprawdzić jak w tych warunkach kształtować się będzie poziom wody przed mostem, w obrębie mostu i poniżej [Hamill 1999, Kubrak i Nachlik 2003, Transportation... 2004].

Uzyskane wyniki obliczeń [Machajski i Olearczyk 2007] zamieszczono niżej w postaci wykresów ukazujących profil podłużny rzeki Skorej na długości odcinka przyjętego do analizy oraz w postaci zestawienia tabelarycznego zawierającego rzędne zwierciadła wody i odpowiadające prędkości przepływu, dla trzech przyjętych i podanych wcześniej obliczeniowych natężeń przepływu.



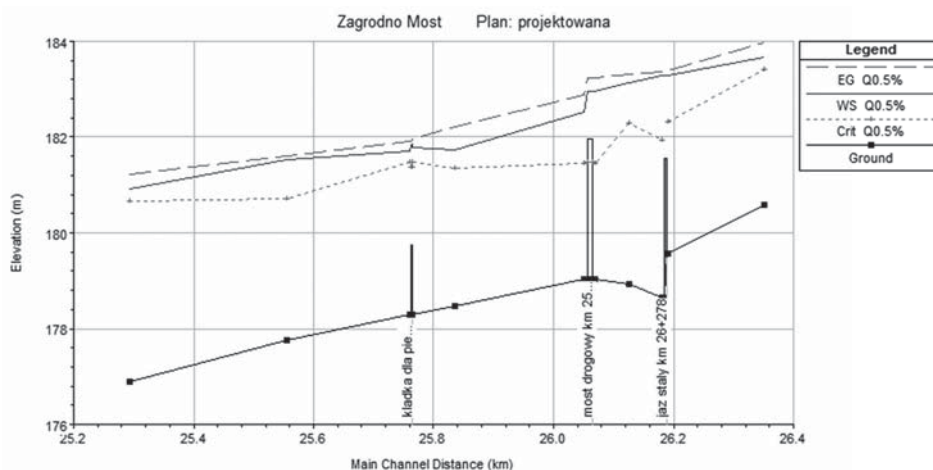
Rys. 5. Profil zwierciadła wody dla $p = 50\%$ – warunki projektowane
 Fig. 5. Water table profile for $p = 50\%$ – design conditions



Rys. 6. Profil zwierciadła wody dla $p = 1\%$ – warunki projektowane
 Fig. 6. Water table profile for $p = 1\%$ – design conditions

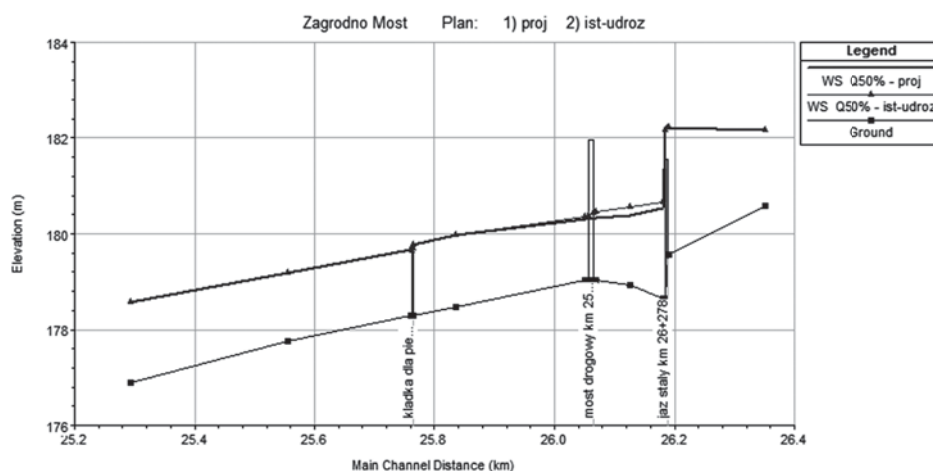
Tabela 5. Wyniki obliczeń dla warunków projektowanych
Table 5. Results of calculations for design conditions

Km biegu rzeki Km of river course	Prawdopodobieństwo przepływu obliczeniowego Probability of computational discharge										
	p = 50%			p = 1%			p = 0,5%				
	Rzędna dna m n.p.m. Bottom elevation m a.s.l.	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹	Rzędna zw. wody m n.p.m. Water table elevation m a.s.l.	Średnia prędkość przepływu m · s ⁻¹ Mean velocity of flow m · s ⁻¹		
26+441	180,59	182,16	1,68	183,48	2,25	183,66	2,27				
26+280	179,56	182,22	0,29	183,09	0,99	183,38	0,91				
26+278				Jaz stały – Weir							
26+270	178,64	180,75	1,20	182,90	0,95	183,27	0,95				
26+215	178,92	180,65	1,12	182,74	1,19	183,20	1,26				
26+160	179,04	180,51	1,06	182,55	2,24	182,95	2,30				
26+150				Most drogowy (rzędna spodu konstrukcji 181,88 m n.p.m.) Road bridge (elevation of bottom structure 181,88 m a.s.l.)							
26+140	179,04	180,37	1,17	182,41	2,37	182,59	2,60				
25+835	178,47	179,97	1,09	181,62	2,17	181,73	2,30				
25+765	178,30	179,78	1,41	181,65	1,15	181,80	1,17				
25+762				Kładka dla pieszych – Footbridge							
25+760	178,30	179,67	1,60	181,54	1,30	181,71	1,26				
25+556	177,75	179,19	1,23	181,36	0,95	181,53	1,0				
25+293	176,88	178,57	1,49	180,75	1,58	180,92	1,62				

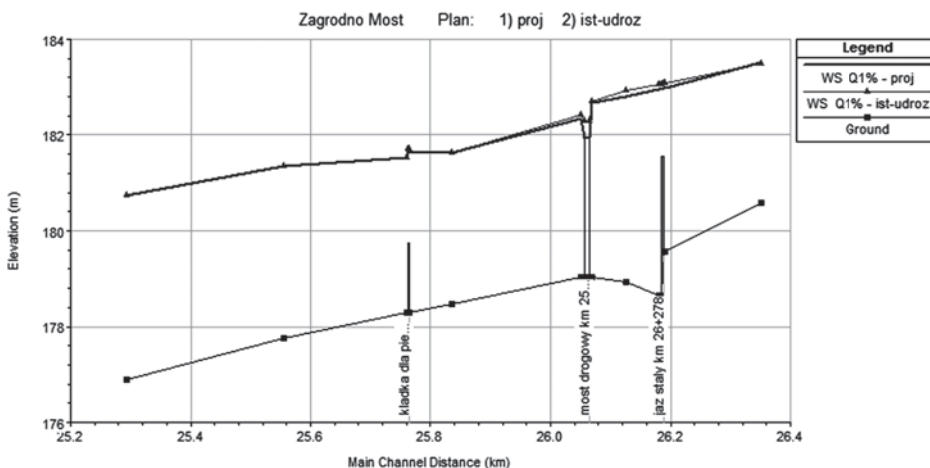


Rys. 7. Profil zwierciadła wody dla $p = 0,5\%$ – warunki projektowane
 Fig. 7. Water table profile for $p = 0,5\%$ – design conditions

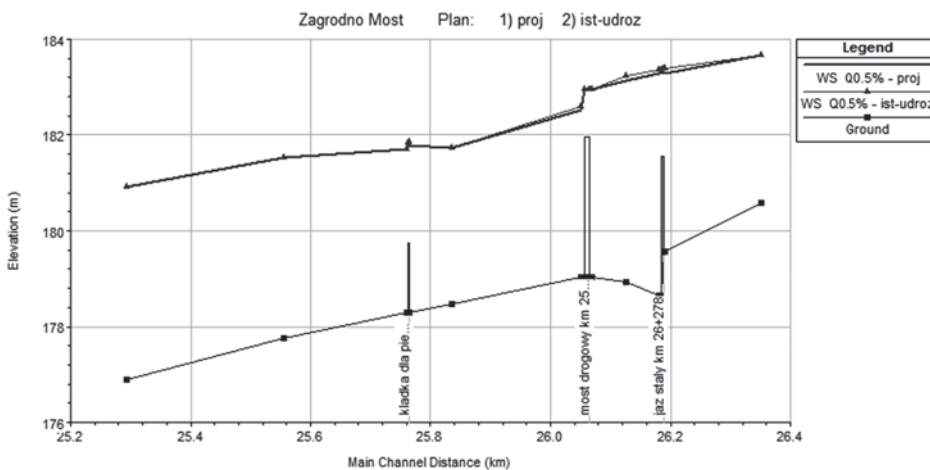
W celu określenia zmian, jakie mogły powstać w wyniku przebudowy mostu oraz zmian przekroju koryta rzeki w przekroju mostu, przedstawiono niżej wykresy porównawcze dla stanu istniejącego i dla stanu projektowanego.



Rys. 8. Porównanie profili zwierciadła wody $p = 50\%$ dla warunków istniejących i projektowanych
 Fig. 8. Comparison of water table profiles for $p = 50\%$ for existing and design conditions

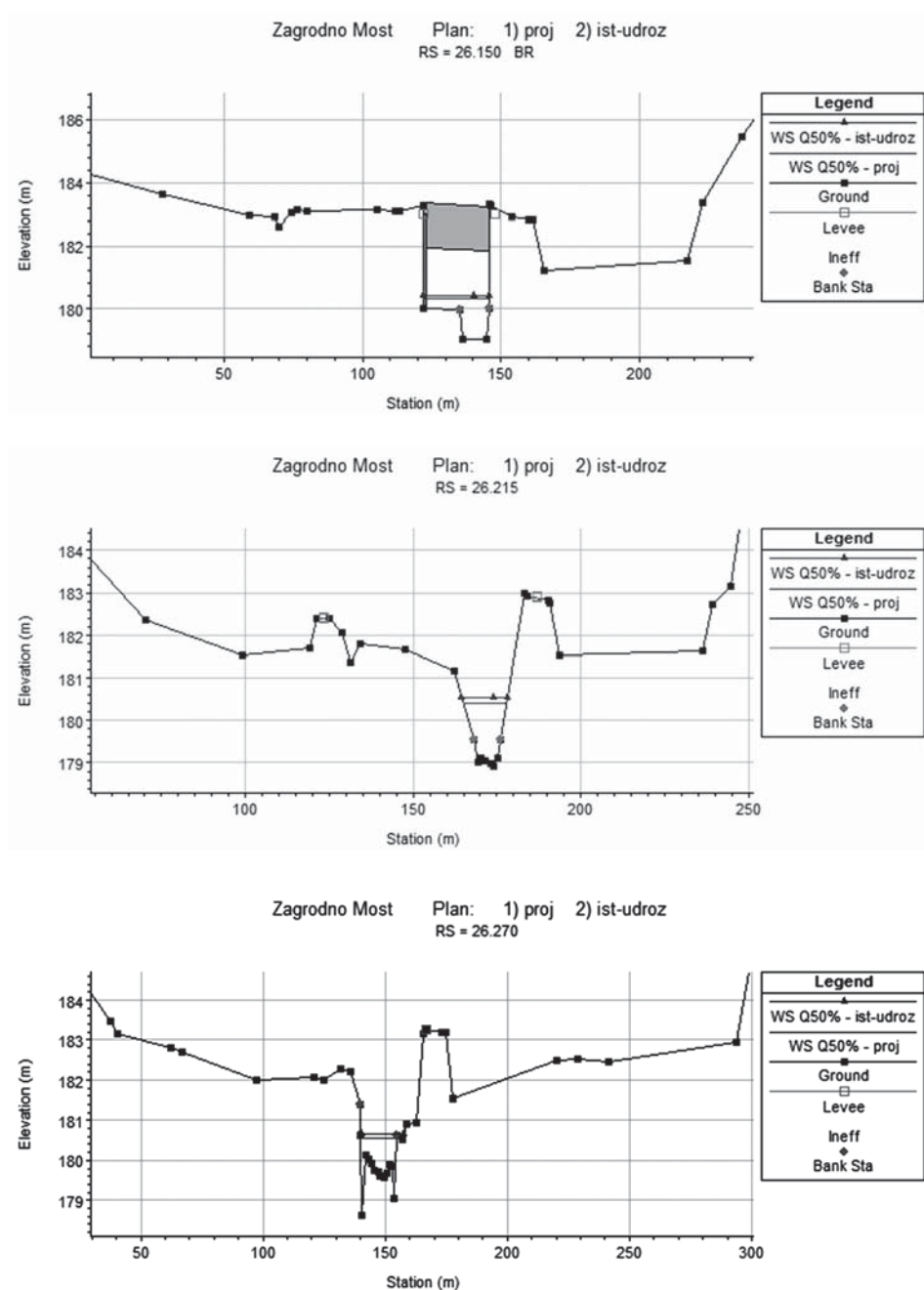


Rys. 9. Porównanie profili zwierciadła wody $p = 1\%$ dla warunków istniejących i projektowanych
 Fig. 9. Comparison of water table profiles for $p = 1\%$ for existing and design conditions



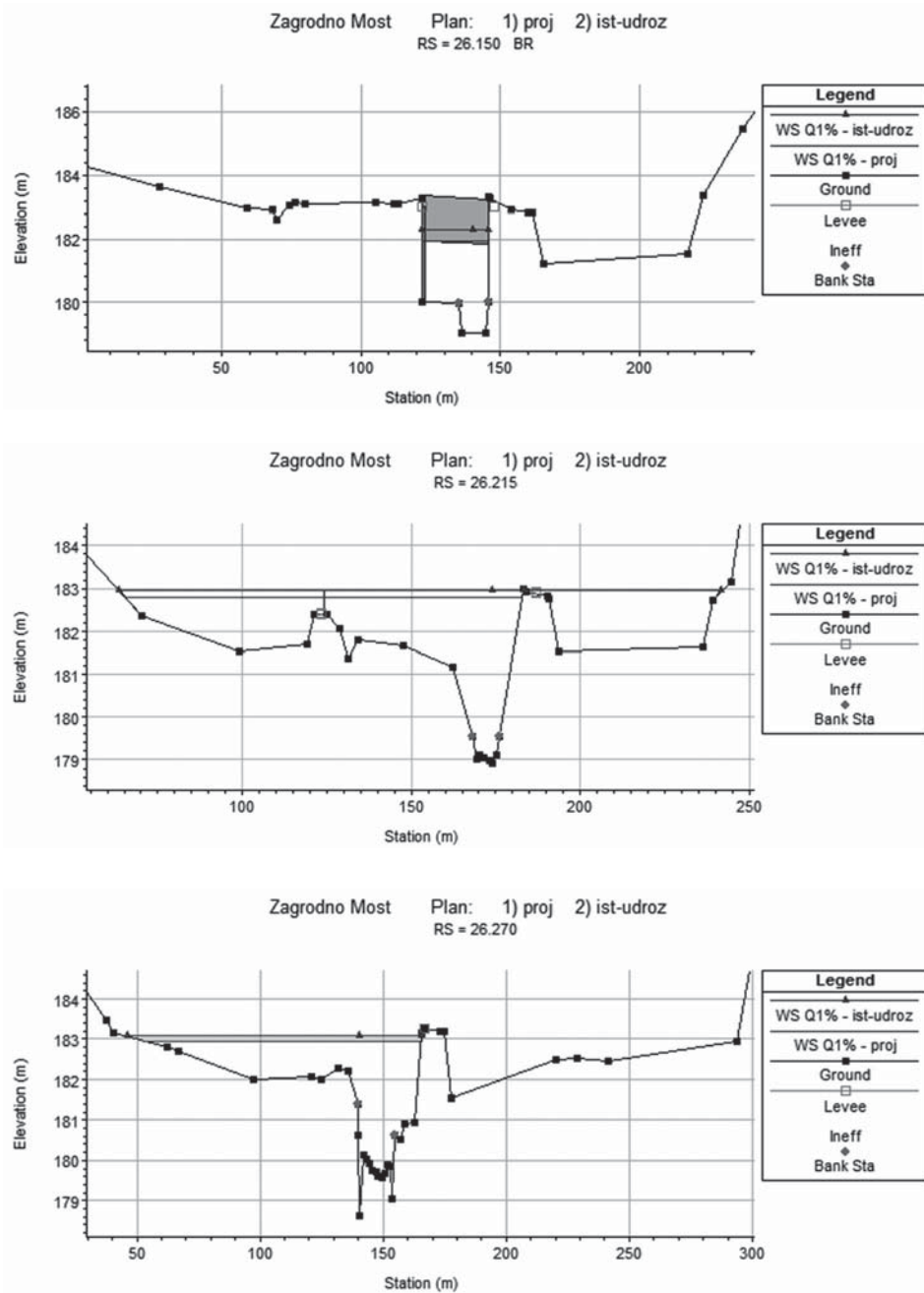
Rys. 10. Porównanie profili zwierciadła wody $p = 0,50\%$ dla warunków istniejących i projektowanych
 Fig. 10. Comparison of water table profiles for $p = 0,5\%$ for existing and design conditions

Na kolejnych rysunkach pokazano przekroje poprzeczne koryta rzeki Skorej w warunkach przejścia różnych objętościowo przepływów, z zaznaczonymi zwierciadłami wody w obrębie samego przekroju oraz na terenach przyległych.



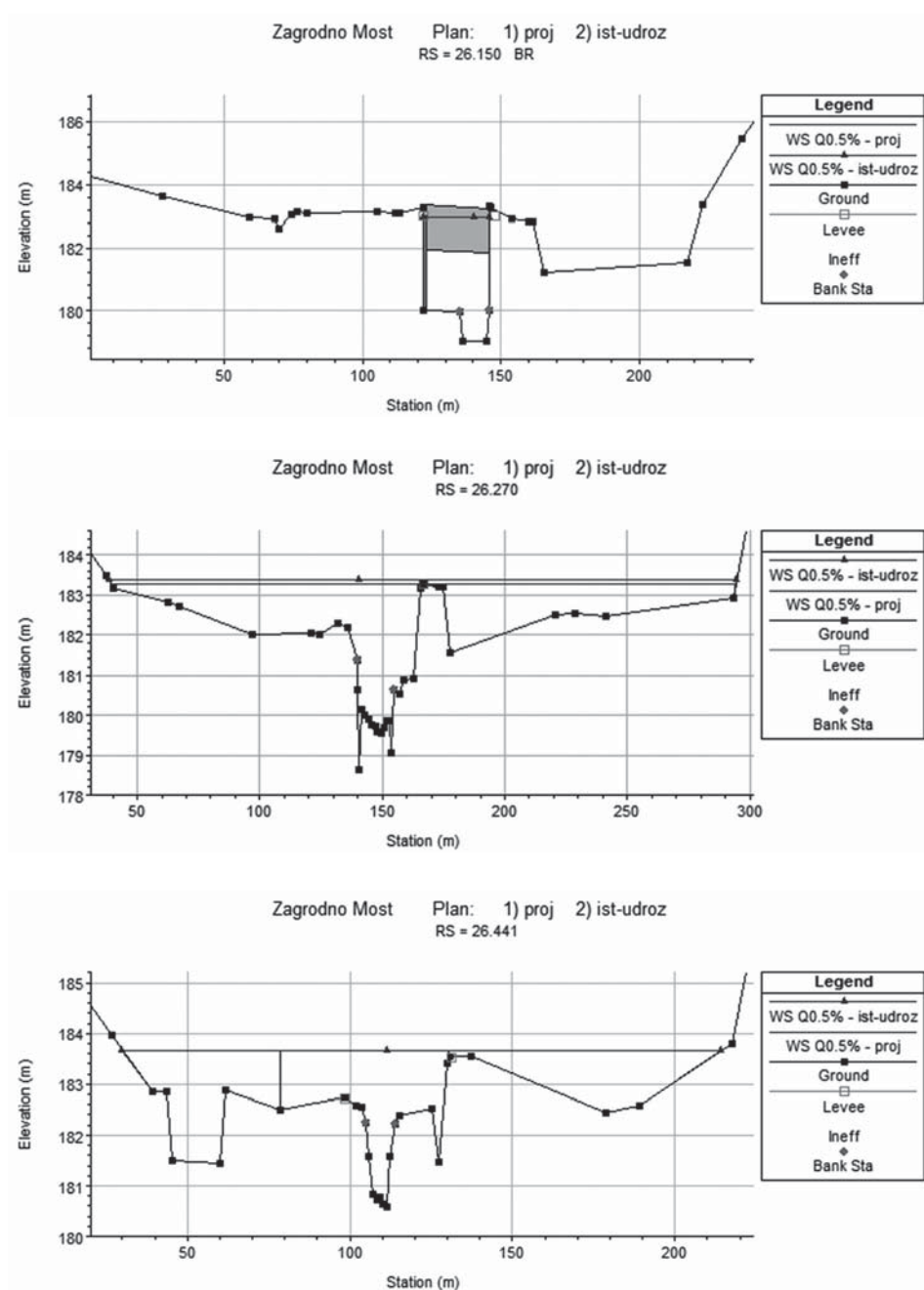
Rys. 11. Przekroje poprzeczne i zwierciadła wody $p = 50\%$ – porównanie warunków istniejących i projektowanych

Fig. 11. River cross-sections and water tables for $p = 50\%$ – comparison of existing and design conditions



Rys. 12. Przekroje poprzeczne i zwierciadła wody $p = 1\%$ – porównanie warunków istniejących i projektowanych

Fig. 12. River cross-sections and water tables for $p = 1\%$ – comparison of existing and design conditions



Rys. 13. Przekroje poprzeczne i zwierciadła wody $p = 0,5\%$ – porównanie warunków istniejących i projektowanych

Fig. 13. River cross-sections and water tables for $p = 0,5\%$ – comparison of existing and design conditions

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz numerycznych wynika, że projektowana przebudowa mostu drogowego w km 26+150 biegu rzeki Skorej praktycznie nie zmieni istniejących warunków przepływu wód obliczeniowych. Nie wpłyną również na to zaproponowane zmiany w rozwiązaniach konstrukcyjnych budowli, w tym zmiana przekroju mostu na jednoprzęsłowy, czy niewielkie obniżenie spodu konstrukcji. Podkreślić jednak należy brak możliwości zachowania wymaganego prześwitu pomiędzy spodem konstrukcji, a zwierciadłem wody obliczeniowej $Q_{0,5\%}$, wynoszącego dla rzeki o charakterze górskim 1,0 m. Istniejący układ terenowy nie pozwolił na jakiegokolwiek zmiany we wzajemnych powiązaniach koryto rzeki – droga – przyległy teren, stąd zaproponowano takie rozwiązania konstrukcyjne, które bez szkody dla budowli pozwolą na swobodny przepływ wody zarówno pod, jak i nad budowlą. W roku 2012 most został przebudowany, a rzeka w rejonie mostu, na odcinku ok. 100 m została uregulowana. Widok przebudowanego mostu pokazano na rys. 14.

Opisana w artykule sytuacja rodzi określone trudności w zatwierdzeniu przyjętych parametrów budowli mostowej w drodze postępowania wodnoprawnego, biorą się one tylko i wyłącznie z braku odpowiednich zapisów w aktualnie obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie. Każdy most według tego Rozporządzenia traktowany jest dokładnie tak samo, niezależnie od tego czy jest to most nisko-, czy wysokowodny.



Rys. 14. Widok od strony wody górnej przebudowanego mostu drogowego

Fig. 14. View from the upstream of the rebuilt road bridge

PIŚMIENNICTWO

- Atlas podziału hydrograficznego Polski, 2005. IMGW Warszawa.
Byczkowski A., 1979. Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. Przepływy charakterystyczne. PWRiL Warszawa.
Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A., 1982. Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. PWRiL Warszawa.
Hamill L., 1999. Bridge Hydraulics. E & FN Spon – New York.

- Kubrak J., Nachlik E., 2003. Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
- Machajski J., Olearczyk D., 2007. Operat wodnoprawny na przebudowę mostu w km 23+349 drogi wojewódzkiej w miejscowości Zagrodno. Tarcopol Sp. z o.o. Wrocław.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz.U. z 2000 r. Nr 63, poz. 735.
- Transportation Association of Canada, 2004. Guide to Bridge Hydraulics. Thomas Telford London.
- Ustawa z dnia 10 lipca 2001 roku – Prawo wodne. Tekst jednolity Dz.U. z 2005 r. Nr 239, poz. 2019 z późn. zmian.
- Utrysko B., 2000. Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z komentarzem i przykładami. Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Wrocław – Żmigród.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 21.03.2013