


OPERAT HYDRAULICZNY

Nazwa zadania:	"Przebudowa mostu na rzece Czarna Przemsza w ciągu drogi powiatowej nr 1734S Kazimierówka-Rokitno Szlacheckie w miejscowości Kazimierówka"
Nazwa i adres inwestora:	POWIATOWY ZARZĄD DRÓG W ZAWIERCIU ul. Sienkiewicza 34, 42-400 Zawiercie

Jednostka projektowa: (Pieczęćka firmowa) MOSTOLAND Pracownia Projektowa Arkadiusz Szczęsny ul. M. Skłodowskiej-Curie 39/12 41-103 Siemianowice Śląskie	
Autorzy (Imię i nazwisko)	Pieczęćka i podpis
mgr inż. Anna Hebda-Małocha	 mgr inż. Anna Hebda-Małocha specjalność HYDROLOGIA I GOSPODARKA WODNA ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII Firma Projektowo-Usługowa WODAFEN Anna Hebda-Małocha Obidza 322, 33-389 Jazowsko

Spis treści

1.	Cel i zakres opracowania.....	3
2.	Materiały wykorzystane w opracowaniu	3
3.	Obliczenia hydrologiczne	4
3.1.	Posterunek wodowskazowy.....	4
3.2.	Formuła opadowa	5
4.	Analiza hydrauliczna.....	11
4.1.	Założenia do analizy	11
4.2.	Wyniki modelowania dane tabelaryczne	14
4.3.	Wyniki modelowania – część graficzna dla wariantu 1 – stan istniejący	15
4.4.	Wyniki modelowania – część graficzna dla wariantu 2 – stan projektowany.....	17

1. Cel i zakres opracowania

Celem przedmiotowego opracowania jest przeprowadzenie analizy hydraulicznej dla projektowanej przebudowy mostu na rzece Czarna Przemsza w ciągu drogi powiatowej nr 1734S Kazimierówka-Rokitno Szlacheckie w miejscowości Kazimierówka".

Zakres obliczeń obejmuje:

- wyznaczenie wielkości przepływów prawdopodobnych maksymalnych tj. Q_{0,5%}
- budowę modelu hydraulicznego na odcinku o długości ok. 132m rz. Czarna Przemsza (załącznik 2)
- identyfikację współczynników szorstkości na odcinku objętym modelem,
- wyznaczenie rzędnych zwierciadła wody w przekrojach obliczeniowych dla przepływów o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 0,5\%$

2. Materiały wykorzystane w opracowaniu

Niniejsze zadanie zrealizowano w oparciu o oprogramowanie HEC-RAS, wersja 4.1.0 autorstwa US ARMY CORPS OF ENGINEERS HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER.

W trakcie budowania modelu hydraulicznego wykorzystano poniższe materiały:

- mapę sytuacyjno-wysokościową udostępnioną przez Zamawiającego
- Numeryczny Model Terenu
- inwentaryzację mostu w stanie istniejącym
- wariant planowanej przebudowy mostu tj. dla światła o szerokości 6m i rzędnej spodu konstrukcji na poziomie 324,895 m n.p.m.
- określone wielkości przepływu Q_{0,5%}
- dokumentację fotograficzną

3. Obliczenia hydrologiczne

3.1. Posterunek wodowskazowy

Na rzece Czarna Przemsza najbliższy wodowskaz znajduje się w 62,85 km rzeki - posterunek wodowskazowy PIWOŃ nr 150190280, zamyka on zlewnie o powierzchni $A_w = 154,49 \text{ km}^2$.

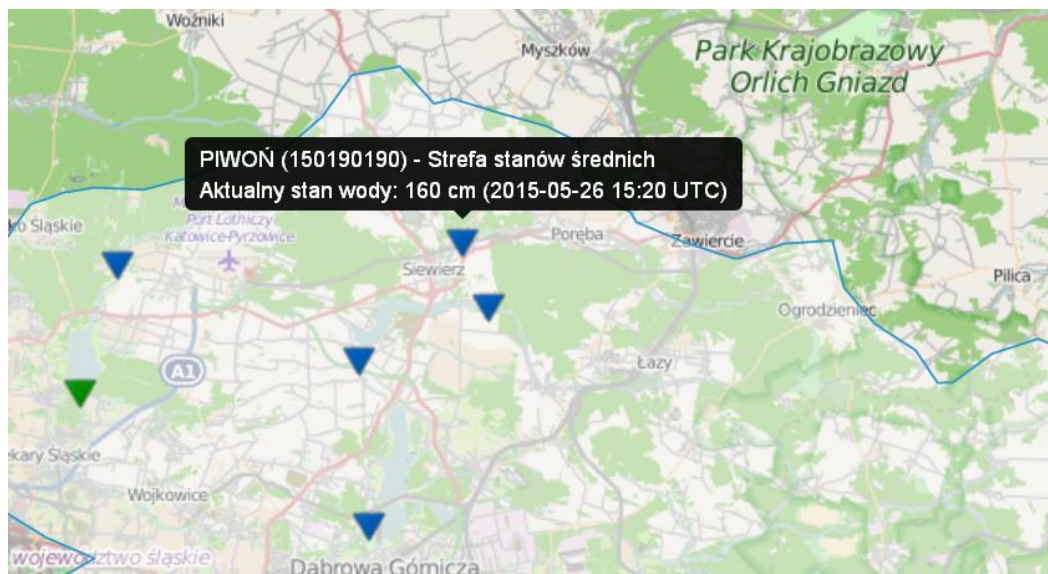
Zlewnia w przekroju obiektu mostowego wynosi $A_x = 30,64 \text{ km}^2$.

Jeżeli przekrój obliczeniowy nie pokrywa się z przekrojem wodowskazowym do przeniesienia ciągu obserwacyjnego należy zastosować metodę ekstrapolacji w ramach podobieństwa hydrologicznego. Metodę ekstrapolacji można stosować w przypadku, gdy przekrój obliczeniowy znajduje się powyżej przekroju wodowskazowego i zamyka zlewnie nie mniejszą od połowy powierzchni do przekroju wodowskazowego:

$$A_w > A_x \geq 0,5 A_w.$$

$$154,49 > 30,64 \geq 77,25 \text{ – warunek niespełniony}$$

Dla przedmiotowego przekroju nie można zastosować metody ekstrapolacji tj. przeniesienia ciągu obserwacyjnego z przekroju wodowskazowego.



Lokalizacja wodowskazu PIWOŃ – źródło IMGW - hydromonitor

3.2. Formuła opadowa

Z uwagi na powierzchnię zlewni ciek w przekroju obliczeniowym, która jest <50km², wybrano metodę empiryczną do obliczenia przepływu miarodajnego tzw. formułę opadową wg Stachy i Fal,

$$Q_p = f \cdot F_1 \cdot \varphi \cdot H_1 \cdot A \cdot \lambda_p \cdot \delta_f$$

gdzie:

- f - bezwymiarowy współczynnik kształtu fali,
- F_1 - maksymalny moduł odpływu jednostkowego,
- φ - współczynnik odpływu przepływów maksymalnych,
- H_1 - maksymalny opad dobowy o prawdopodobieństwie 1%,
- A - powierzchnia zlewni w km²,
- λ_p - kwantyl rozkładu zmiennej dla zadanego prawdopodobieństwa p ,
- δ_f - współczynnik redukcji jeziornej.

Zastosowanie formuły opadowej wiąże się z określeniem parametrów zlewni i cieków takich jak: powierzchnia zlewni, średnia wysokość zlewni, długości wszystkich cieków wraz z suchymi dolinami, sumę długości warstw w zlewni na podstawie map topograficznych. Przy określaniu parametrów zlewni wykorzystano oprogramowanie BrisCAD oraz oprogramowanie QuantumGIS.

Tabela 1. Dane zlewni wyznaczone w oparciu o podkład topograficzny 1:10000

Powierzchnia A	30.64	km ²
Obwód zlewni O	26.05	km
Długość ciek L	9.11	km
Długość suchej doliny ciek l	1.03	km
Długość ciek z suchą doliną L_{max} (L+l)	10.14	km
Długości cieków w zlewni ΣL	15.44	km
Długości suchych dolin w zlewni Σl	3.14	km
Suma długości cieków wraz z suchymi dolinami Σ (L+i)	18.57	km

Powierzchnię zlewni A określono poprzez wyznaczenie granicy zlewni do przekroju obliczeniowego na mapie topograficznej oraz zgodnie z podziałem hydrograficznym MPHP 2010r. – udostępnionym na hydroportalu Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej. Powierzchnię wyliczono z wykorzystaniem oprogramowania QGIS.

W zlewniach większych od 10 km² można zastosować uproszczony wzór na obliczenie uśrednionego spadku zlewni:

$$I_{r1} = \frac{W_g - W_d}{L + l} 0,6$$

gdzie:

W_g - wysokość działu wodnego w punkcie przecięcia się z osią suchej doliny w m n.p.m.,

W_d - wysokość przekroju zamykającego w m n.p.m.,

$L + l$ - długość cieków głównych i suchej doliny (do działu wodnego) w km.

Gęstości sieci rzecznej oblicza się ze wzoru:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (L + l)_i}{A}$$

gdzie:

$\sum(L+l)$ – suma długości wszystkich cieków wraz z suchymi dolinami w km,

A - powierzchnia zlewni w km².

Tabela 2. Parametry metody

Gęstość sieci rzecznej ρ	0.61	km ⁻¹
wysokość działu wodnego w punkcie przecięcia się z osią suchej doliny W_g	449.1	m
wysokość źródła W_z	405.0	m
wysokość przekroju W_d	323.0	m
Uśredniony spadek cieków I_{r1}	7.5	‰

Współczynnika odpływu ϕ dla przepływów maksymalnych określono zgodnie z mapą przedstawiającą współczynnik odpływu przepływów maksymalnych oraz na podstawie mapy gleb polski w skali 1:500 000 odczytano typ nr "2" – piaski słabogliniaste = 0,25 (celem określenia poprawnej lokalizacji wykorzystano oprogramowanie Quantum GIS, BriscAD)

Maksymalny opad dobowy H_{10} o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ określono z mapy pn. Maksymalny opad dobowy o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% (H_1) (opracowano na podstawie *Zasad obliczania...*, 1991) – przedmiotowa zlewnia znajduje się w pobliżu wartości 100mm – przyjęto ją do dalszych obliczeń.

Hydromorfologiczną charakterystykę cieku Φ_r do przekroju obliczeniowego należy obliczyć ze wzoru:

$$\Phi_r = \frac{1000(L+l)}{m I_{r1}^{1/3} A^{1/4} (\varphi H_1)^{1/4}}$$

gdzie:

$L+l$ - długość cieku wraz z suchą doliną do działu wodnego w km,

m - współczynnik szorstkości koryta cieku

I_{r1} - uśredniony spadek cieku w ‰,

A - powierzchnia zlewni w km²,

φ - współczynnik odpływu przepływów maksymalnych,

H_1 - maksymalny opad dobowy o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ w mm.

Średnia długość stoków jest zależna od gęstości sieci rzecznej i obliczana ze wzoru:

$$l_s = \frac{I}{1,8 \rho}$$

gdzie:

ρ - gęstość sieci rzecznej w km/km².

Średni spadek stoków wg wzoru:

$$I_s = \frac{\Delta h \sum_{j=1}^r k_j}{A}$$

gdzie:

Δh - różnica poziomów dwóch sąsiednich warstw : 10m,

$\sum k$ - suma długości warstw w zlewni 112,92 km,

A - powierzchnia zlewni w km².

Hydromorfologiczna charakterystyka stoków Φ_s jest wielkością określającą koncentrację odpływu w zlewni:

$$\Phi_s = \frac{(1000 \bar{l}_s)^{1/2}}{m_s I_s^{1/4} (\varphi H_1)^{1/2}}$$

gdzie:

\bar{l}_s - średnia długość stoków w km,

m_s - miara szorstkości stoków

I_s - średni spadek stoków w ‰,

φ - współczynnik odpływu przepływów maksymalnych,

H_1 - maksymalny opad dobowy o prawdopodobieństwie $p = 1\%$ w mm.

Zgodnie z podziałem makroregionów przedmiotowa zlewnia znajduje się w makroregionie:
Wyżyny – 3c.

Czas spływu po stokach wyznaczono z tabeli pn. „Czas spływu po stokach w zlewniach większych niż 10 km²” jako równy 60 min.

Miara szorstkości stoków –na podstawie tabeli wg opracowania Zasady obliczania maksymalnych przepływów rocznych o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia – J. Stachy, B. Fał, IMGW 1991r. Określono ją jako średnia ważoną przy uwzględnieniu udziału poszczególnych powierzchni.

Tabela 3. Współczynnik szorstkości stoków ms

Charakterystyka powierzchni stoków	Współczynnik	Powierzchnia km ²
Powierzchnia gruntowa ubita, splantowana	0.30	1.54
Powierzchnia dobrze zaorana i zbronowana, powierzchnie wybrukowane w osiedlach zabudowanych 20%	0.25	2.61
Powierzchnie nierówne (kępkowe), pastwiska, łąki, oraz powierzchnie w osiedlach o zabudowie ponad 20%	0.15	14.52
Powierzchnie leśne	0.10	11.97

Określono ją na poziomie 0,15

Maksymalny moduł odpływu jednostkowego F_1 należy określić z tabeli wg opracowania Zasady obliczania maksymalnych przepływów rocznych o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia – J. Stachy, B. Fał, IMGW 1991r. na podstawie obliczonej hydromorfologicznej charakterystyki koryta rzeki oraz czasu spływu po stokach. Wartości odczytano z tabeli przeznaczonej dla pozostałej części kraju tj. poza Tatrami i wysokimi górami (zlewnia leży poniżej rzędnej 700 m n.p.m.).

Tabela 4. Parametry metody c.d.

współczynnik szorstkości koryta ciek w przekroju obliczeniowym m	9.00	
Średnia długość stoków	0.92	km
Średni spadek stoków	36.86	‰
współczynnik szorstkości stoków m_s	0.15	
współczynnik odpływu ϕ	0.25	
Maksymalny opad dobowy H_1	100	mm
Hydromorfologiczna charakterystyka koryta ciek Φ_r	109.59	
Hydromorfologiczna charakterystyka stoków Φ_s	16.83	
Czas spływu po stokach t_s	60	min
Maksymalny moduł odpływu jednostkowego F_1	0.0222	
f - bezwymiarowy współczynnik kształtu fali (pojezierze 0,45, reszta kraju 0,6)	0.6	
Współczynnik redukcji jeziornej δ_j	1	

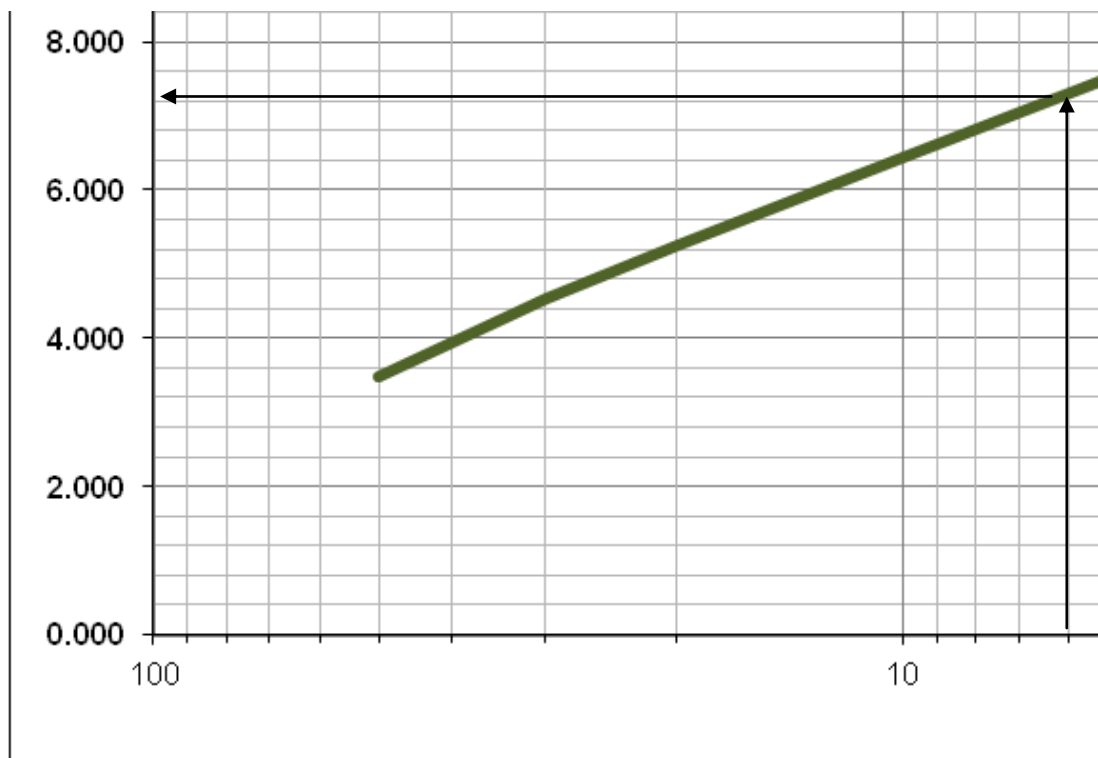
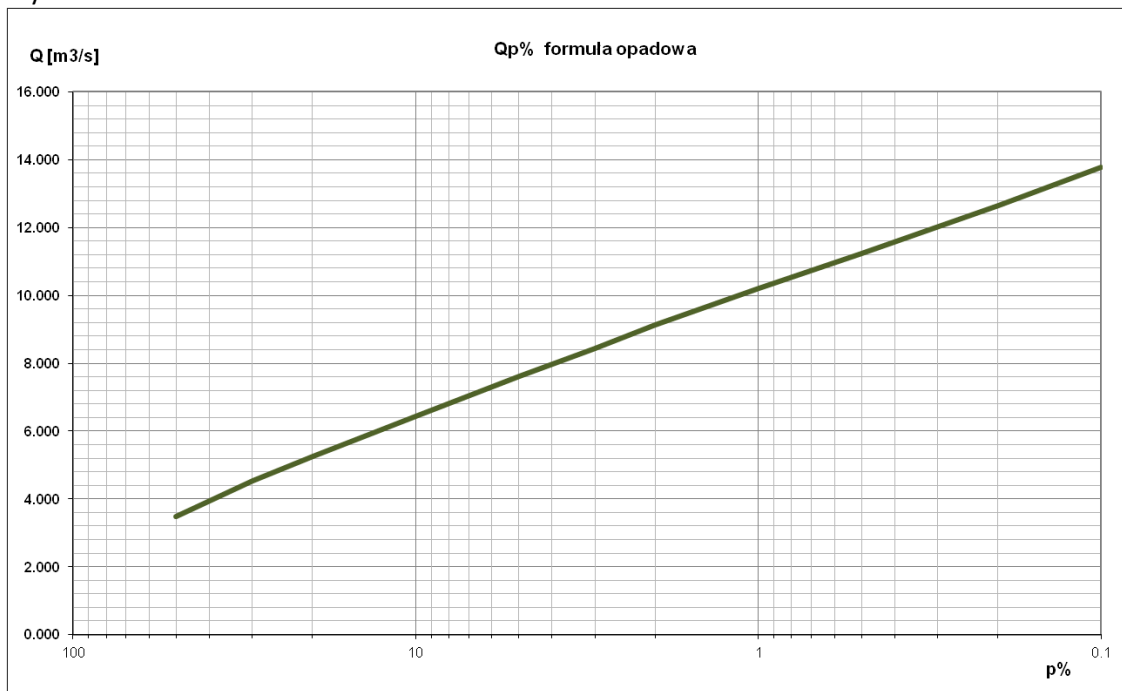
Określenie zadanego prawdopodobieństwa należy wykonać w zależności od usytuowania zlewni w jednym z pięciu makroregionów podanych w tabelach wg opracowania Zasady obliczania maksymalnych przepływów rocznych o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia – J. Stachy, B. Fal, IMGW 1991r. i odpowiadającym im kwantyl rozkładu zmiennej λ_p .

Tabela 5. Zestawienie wyników

$p\%$	λ_p	$Q_{p\%} [m^3/s]$
0.5	1.1	11.225
1	1	10.204
2	0.894	9.123
5	0.747	7.623
6*	-	7.220
10	0.631	6.439
50	0.341	3.480

*wartość odczytana z wykresu

Wykres



4. Analiza hydrauliczna

4.1. Założenia do analizy

Analizę przeprowadzono dla stanu istniejącego i następujących wariantów:

Wariant 1 – obiekt w stanie istniejącym -światło mostu 4,9m z rzędną spodu konstrukcji 324,71 m n.p.m.

Wariant 2 – projektowany obiekt dla światła o szerokości 6,0m i rzędnej spodu konstrukcji na poziomie 324,895 m n.p.m.

Warunki wykonania modelu:

- jednowymiarowy model ruchu ustalonego.
- analiza wykonana dla przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 0,5\%$

Dla scharakteryzowania oporów ruchu przyjęte zostaną wartości współczynnika szorstkości Manninga (n) dobrane w oparciu o tablice hydrauliczne Ven Te-Chow'a i wytyczne zawarte w podręczniku metodycznym p.n: „Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains”

- na podstawie powyższego określono wartość współczynnika szorstkości Manninga (n) tj. $n=0,035$ w korycie rzeki, $n=0,060$ na terasach zalewowych tj. poza głównym nurtem rzeki (tereny porośnięte drzewami, wysoką trawą) oraz $0,025$ dla odcinka pod projektowanym obiektem mostowym.
- za pomocą oprogramowania HE-RAS interpolowano dodatkowe przekroje obliczeniowe (w odległości co 2 m),
- uwzględniono straty związane z kontrakcją (Contraction and Expansion Losses):
- dla zmian łagodnych: współczynnik zwężenia $0,1$, współczynnik rozszerzenia $0,3$
- dla zmian gwałtownych: współczynnik zwężenia $0,4$, współczynnik rozszerzenia $0,6$

Tabela 6. Charakterystyki hydrauliczne w przekrojach dla Q0,5% - stan istniejący

RS Odległości przekroju	Stan istniejący			
	Min Ch El rzędna dna koryta	W.S. Elev rz. zwierciadła wody	Vel Chnl prędkość przepływu	Froude # Chl liczba Froude
	(m)	(m)	(m/s)	
131.7	323.5	324.82	0.33	0.11
111.7	323.36	324.82	0.31	0.11
76.7	323.35	324.81	0.21	0.07
51	323.25	324.73	1.14	0.39
49.2125*	323.23	324.72	1.1	0.37
47.425*	323.21	324.72	1.06	0.36
45.6375*	323.19	324.72	1.02	0.35
43.85*	323.17	324.72	0.99	0.33
42.0625*	323.16	324.72	0.95	0.32
40.275*	323.14	324.72	0.91	0.31
38.4875*	323.12	324.72	0.88	0.29
36.7	323.1	324.66	1.19	0.35
36				
21.9	323.1	324.54	1.5	0.44
19.9090*	323.09	324.58	0.82	0.3
17.9181*	323.08	324.57	0.84	0.31
15.9272*	323.07	324.57	0.87	0.32
13.9363*	323.06	324.56	0.9	0.32
11.9454*	323.06	324.54	1.03	0.37
9.95454*	323.05	324.53	1.07	0.38
7.96363*	323.04	324.52	1.11	0.39
5.97272*	323.03	324.51	1.17	0.4
3.98181*	323.02	324.5	1.22	0.41
1.99090*	323.01	324.49	1.26	0.42
0	323	324.4	1.7	0.59

Tabela 7. Charakterystyki hydrauliczne w przekrojach dla Q0,5% - stan projektowany

RS Odległości przekroju	Stan projektowany			
	Min Ch El rzędna dna koryta	W.S. Elev rz. zwierciadła wody	Vel Chnl prędkość przepływu	Froude # Chl liczba Froude
	(m)	(m)	(m/s)	
131.7	323.5	324.75	0.35	0.13
111.7	323.36	324.75	0.34	0.12
76.7	323.35	324.75	0.23	0.08
51	323.25	324.61	1.39	0.5
49.2125*	323.23	324.61	1.34	0.48
47.425*	323.21	324.6	1.28	0.45
45.6375*	323.19	324.6	1.21	0.42
43.85*	323.17	324.6	1.14	0.38
42.0625*	323.16	324.6	1.08	0.35
40.275*	323.14	324.6	1.03	0.32
38.4875*	323.12	324.6	0.98	0.3
36.7	323.1	324.58	1.09	0.3
36				
21.9	323.1	324.54	1.19	0.33
19.9090*	323.09	324.55	0.98	0.28
17.9181*	323.08	324.55	1	0.28
15.9272*	323.07	324.55	1.02	0.29
13.9363*	323.06	324.54	1.03	0.3
11.9454*	323.06	324.52	1.16	0.34
9.95454*	323.05	324.52	1.19	0.36
7.96363*	323.04	324.51	1.23	0.37
5.97272*	323.03	324.5	1.27	0.39
3.98181*	323.02	324.49	1.31	0.41
1.99090*	323.01	324.49	1.32	0.43
0	323	324.4	1.7	0.59

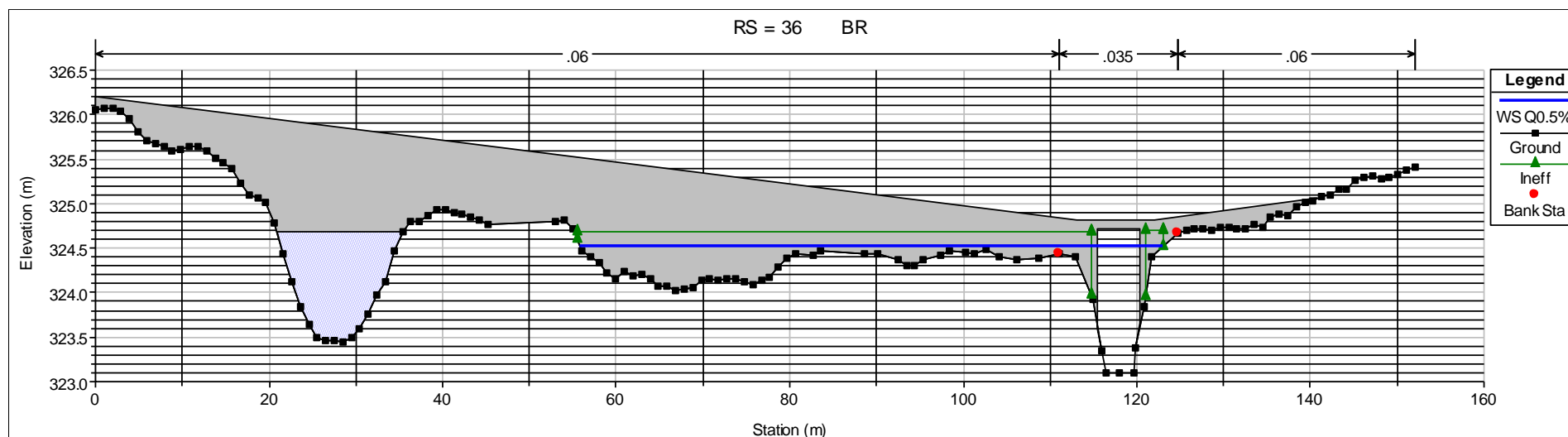
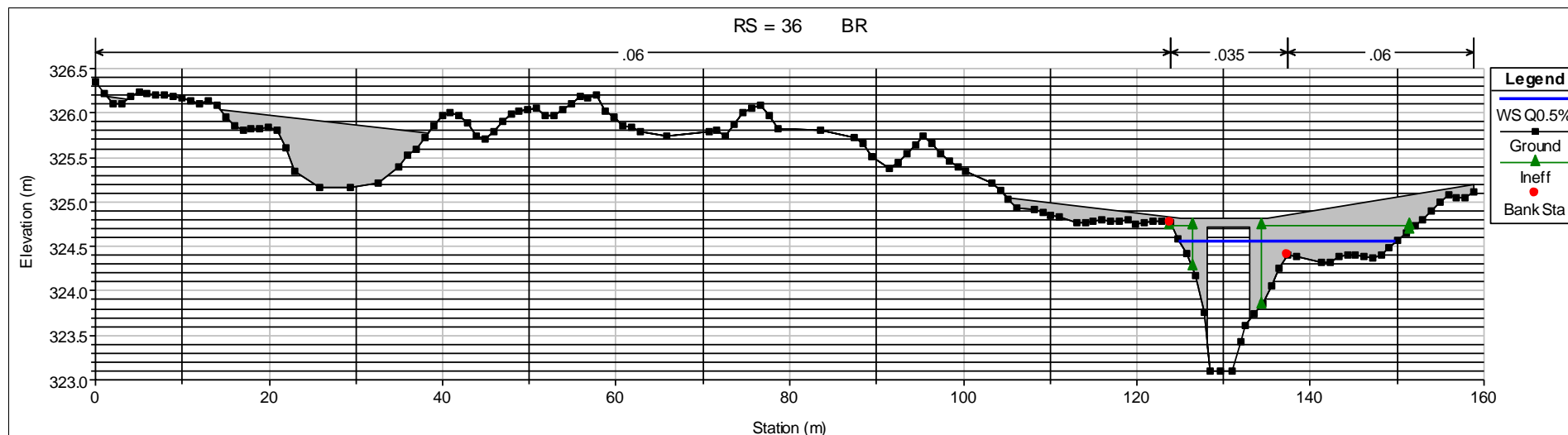
4.2. Wyniki modelowania dane tabelaryczne

Charakterystyki hydrauliczne obiektu mostowego

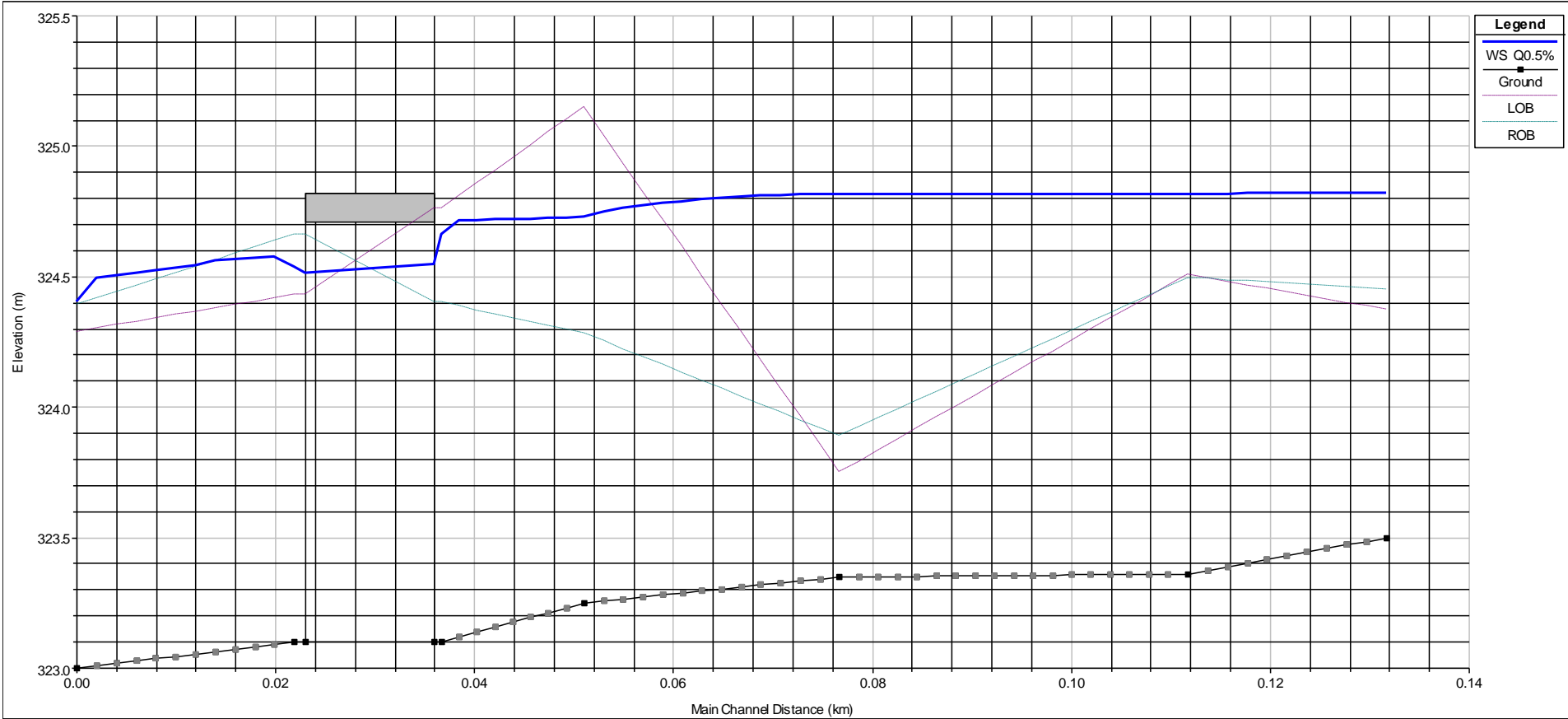
Parametry modelowania	Wariant 1 istniejący	Wariant 2 projektowany
	Q0,5%	Q0,5%
Q Bridge (m ³ /s) Przepływ wody pod mostem *	11.23	11.23
Min El Prs (m) Rzędna spodu konstrukcji mostu	324,71	324,895
W.S. US. (m) Rzędna zwierciadła spiętrzonej wody w przekroju przed mostem	324.72	324.58
Górne stanowisko BR US		
E.G. Elev (m) Rzędna linii energii	324.71	324.63
W.S. Elev (m) Rzędna zwierciadła wody pod mostem	324.55	324.54
Crit WS (m) Rzędna zwierciadła wody dla głębokości krytycznej	324.06	323.84
Froude Chl – liczba Froude	0.47	0.36
Vel Total (m/s)	1.76	1.34
Dolne stanowisko BR DS		
E.G. Elev (m) Rzędna linii energii	324.67	324.62
W.S. Elev (m) Rzędna zwierciadła wody pod mostem	324.51	324.53
Crit W.S. (m) Rzędna zwierciadła wody dla głębokości krytycznej	324.02	323.84
Froude Chl – liczba Froude	0.47	0.36
Vel Total (m/s)	1.75	1.35

4.3. Wyniki modelowania – część graficzna dla wariantu 1 – stan istniejący

Wyjaśnienie oznaczeń legendy: WS– wysokość zw. wody, Ground – przekrój korytowy Elevation – rz. terenu [m n.p.m.], Distance – odległość [km]

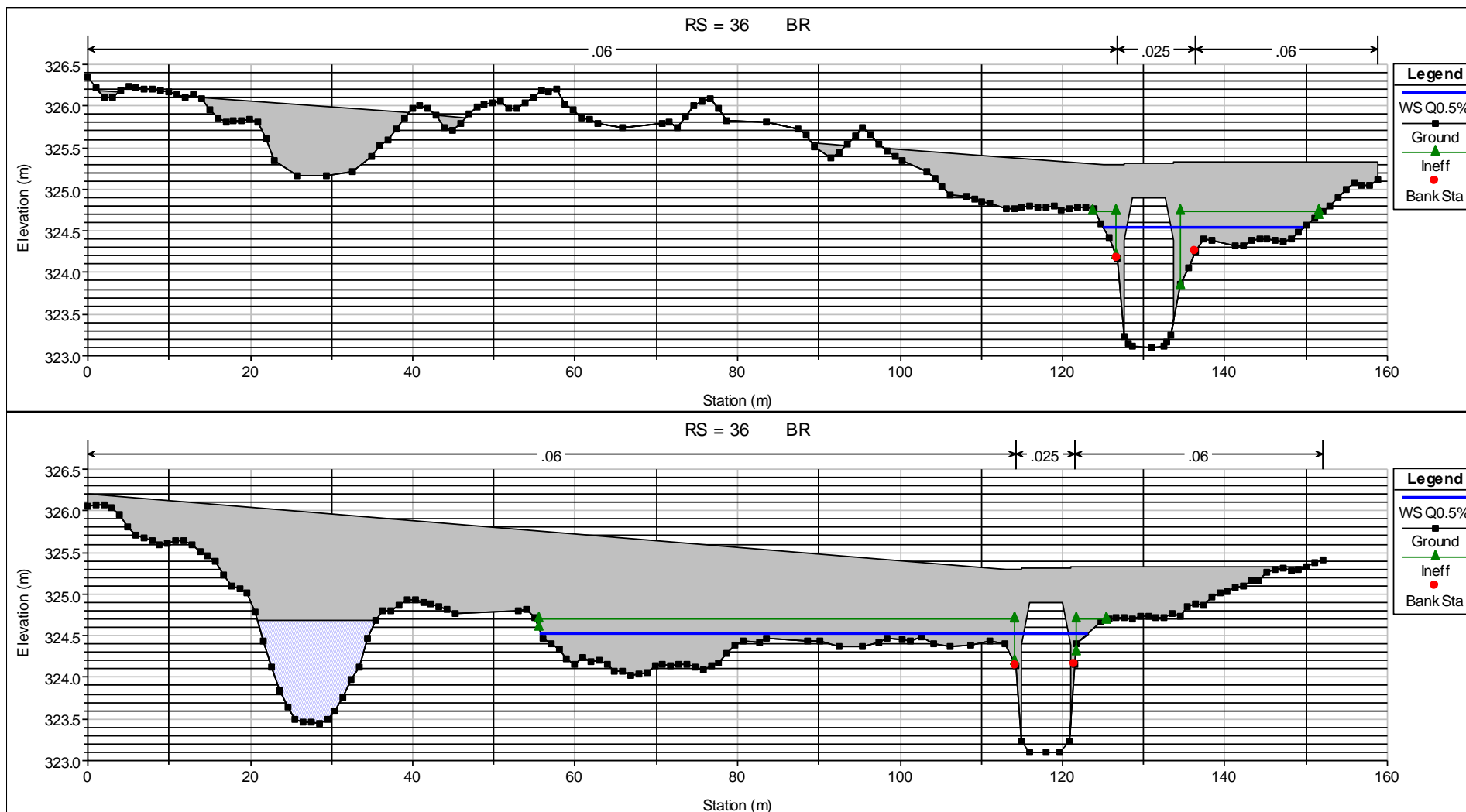


Profil podluzny dla wariantu 1 – stan istniejacy

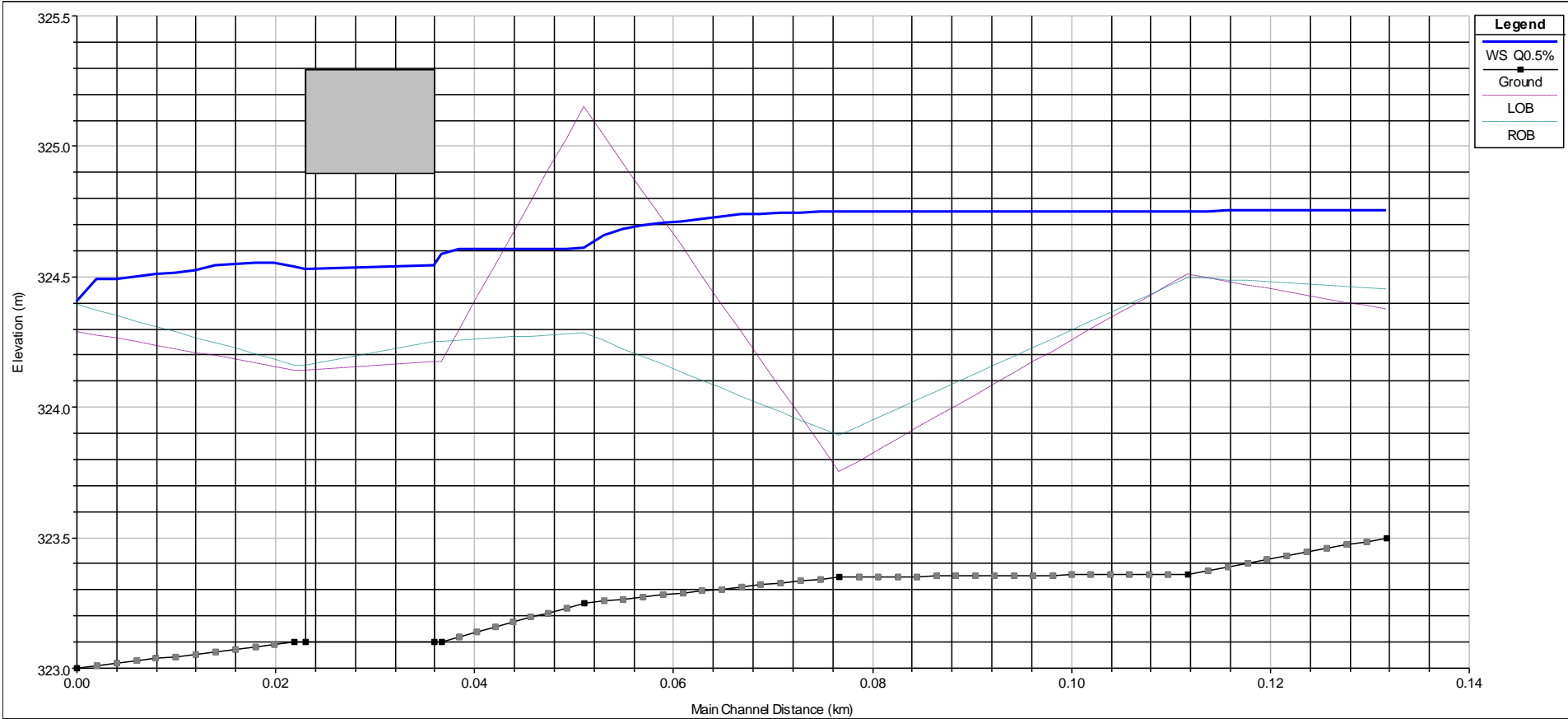


4.4. Wyniki modelowania – część graficzna dla wariantu 2 – stan projektowany

Wyjaśnienie oznaczeń legendy: WS– wysokość zw. wody, Ground – przekrój korytowy Elevation – rz. terenu [m n.p.m.], Distance – odległość [km]



Profil podłużny dla wariantu 2



Załączniki

załącznik 1 Zlewnia rzeki

załącznik 2 Lokalizacja przekrojów modelowych