

Projekt Ochrony Przeciwpowodziowej w dorzeczu Odry i Wisły
 Kontrakt 5.2. Nadzór projektowo-konstrukcyjny. Zarządzanie Projektem, pomoc techniczna oraz wsparcie jednostek wdrażania projektu w zakresie wdrażania Projektu Ochrony Przeciwpowodziowej w Dorzeczu Odry i Wisły

KLIENT	PAŃSTWOWE GOSPODARSTWO WODNE WODY POLSKIE REGIONALNY ZARZĄD GOSPODARKI WODNEJ w Krakowie ul. Marszałka J. Piłsudskiego 22, 31-109 Kraków		 Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
KONSULTANT WSPARCIA TECHNICZNEGO	AECOM Polska Sp. z o.o. Al. Pokoju 1, 31-548 Kraków		AECOM
PROJEKT OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ W DORZECZU ODRY I WISŁY			
PRZEDMIOT OPRACOWANIA	Eksperytyza techniczna zagrożenia powodziowego w rejonie ul. Złocieniowej oraz ul. Henryka i Karola Czeczów.		
SKŁADNIKI OPRACOWANIA	OPIS, ZAŁĄCZNIKI GRAFICZNE		
LOKALIZACJA	Miasto Kraków		
STADIUM	PRACA PRZEDPROJEKTOWA	NR TOMU	1
REWIZJA	2.0	NR UMOWY	OVFMP-5.2 z dnia 20.07.2017 r.
DATA OPRACOWANIA	29.10.2021 r.	NR EGZ.	1
AUTORZY	IMIĘ I NAZWISKO	UPRAWNIENIA	PODPIS
OPRACOWAŁ	mgr inż. Dariusz Adamek	specjalność konstrukcyjno-budowlana w zakresie obiektów budowlanych gospodarki wodnej MAP/0002/OOOK/03 Kwalifikacje do wykonywania dokumentacji hydrologicznych. nr 01/2004	
SPRAWDZIŁ	mgr inż. Robert Wilk	42/2003 specjalność konstrukcyjno-budowlana w zakresie obiektów budowlanych gospodarki wodnej MAP/0040/OOOK/03	
AECOM Polska Sp. z o.o. oświadcza, że niniejsza praca projektowa jest wykonana zgodnie z umową, obowiązującymi przepisami techniczno-budowlanymi oraz normami i zostaje wydana jako kompletna z punktu widzenia celu, któremu ma służyć.			
Rozwiązania zawarte w niniejszym opracowaniu stanowią własność AECOM Polska Sp. z o.o. i mogą być stosowane, powielane oraz udostępniane osobom trzecim jedynie na podstawie pisemnego zezwolenia z zastrzeżeniem wszelkich skutków prawnych.			

SPIS TREŚCI

1.	Cel ekspertyzy	3
2.	Ograniczenia wynikające z MPZP	7
3.	Sytuacja hydrologiczna terenu	10
4.	Wyniki analiz hydraulicznych pracy zbiorników na Serafie i Malinówce	29
5.	Archiwalne analizy hydrologiczne	29
6.	Obecna sytuacja zagrożenia powodziowego na odcinku rzeki Serafy od km 4+200 do km 4+930	31
7.	Zalecane kierunki ograniczenia powodziowego na odcinku rzeki Serafy od km 4+200 do km 4+930	54

1. Cel ekspertyzy

Celem ekspertyzy technicznej jest ustalenie stanu zagrożenia powodziowego wzdłuż rzeki Serafy na odcinku o długości ok. 730 m od km 4+200 do km 4+930, pomiędzy linią kolejową nr 91 Kraków Główny – Medyka, a wiaduktem trasy S7 oraz zaproponowanie działań zaradczych.

Na lewym brzegu przedmiotowego odcinka, w obrębie ulic Złocieniowej i Agatowej znajduje się osiedle Złocien (w skład osiedla wchodzi 32 budynki mieszkalne, częściowo z garażami - większość wybudowana przez SM Śnieżka w latach 2011-2020), oraz nowe budynki osiedla Słoneczne Miasteczko realizowane przez grupę deweloperską Develia. W ramach Słonecznego Miasteczka powstało 14 3-piętrowych budynków mieszkalnych, obecnie w fazie realizacji jest 5 budynków, a dalsze budynki mieszkalne są projektowane. Powyższe osiedla zajmują obszar o kwadracie o długości ok. 1,1 km i szerokości ok. 0,3 km i powierzchni ok 0,33 km².

Na prawym brzegu rzeki Serafy znajdują się domy jednorodzinne przy ul. Feliksa Jasieńskiego. Jest to 8 budynków mieszkalnych pod numerami 17, 19, 19a, 21, 23, 25, 27 i 29 wraz z dodatkowymi budynkami gospodarczymi. Domy jednorodzinne przy ul. Feliksa Jasieńskiego znajdują się na obszarze ograniczonym od północy rzeką Serafą, od południa linią kolejową nr 91 a od wschodu wiaduktem trasy S7 przechodzącym nad rzeką i linią kolejową. Obszar ten ma kształt trójkąta o wysokości 580 m, podstawie długości 170 m, zajmującym powierzchnię ok. 5 ha.

Z analizy map historycznych wynika, że budynki przy ul. Feliksa Jasieńskiego powstały w okresie pomiędzy I a II wojną światową. W tym okresie przejście rzeką Serafą pod linią kolejową znajdowało się około 1 km na zachód w stosunku do obecnej sytuacji. Tereny na północ od rzeki Serafy użytkowano jako łąki i pastwiska. Łąki te były częściowo zmeliorowane z rowami skierowanymi na północ z ujściem do rzeki Drwini.



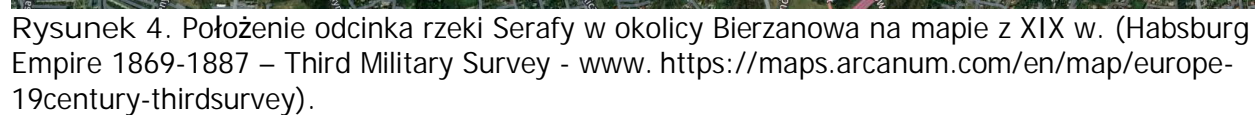
Rysunek 1. Położenie odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 na zdjęciu lotniczym.



Rysunek 2. Położenie odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 na mapie administracyjnej.



Rysunek 3. Położenie odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 na mapie turystycznej z 1936r. w skali 1:25000. Widoczna zabudowa przy obecnej ul. Feliksa Jasieńskiego.





Rysunek 5. Mapa zagrożenia powodziowego odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 dla wody powodziowej o prawdopodobieństwie 1%.



Rysunek 6. Mapa zagrożenia powodziowego odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 dla wody powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2%.



Rysunek 7. Mapa zagrożenia powodziowego odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+930 dla wody powodziowej o prawdopodobieństwie 10%.

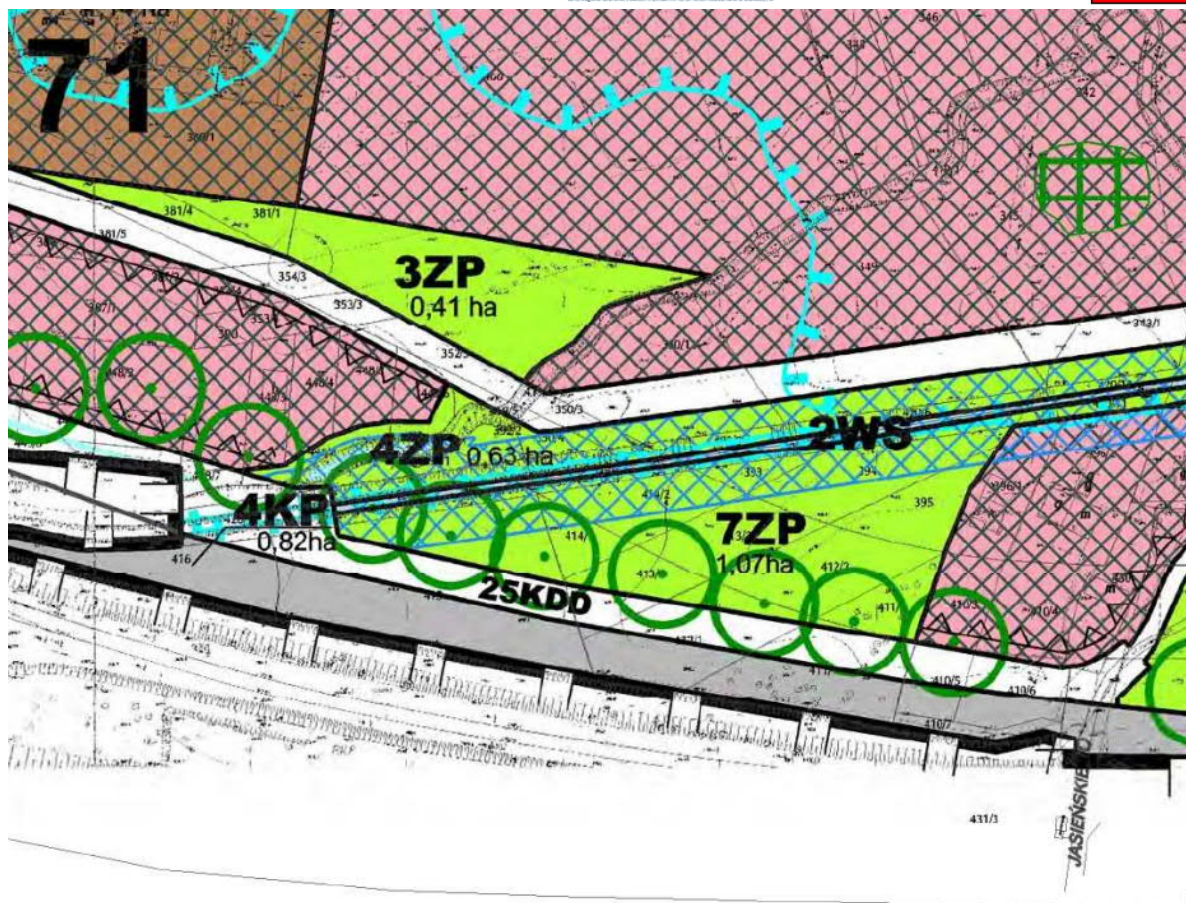
2. Ograniczenia wynikające z MPZP

Na terenie objętym opracowaniem obowiązuje MPZP uchwalony w dniu 21 listopada 2012 roku uchwałą LXI/859/12 przez Radę Miasta Krakowa.

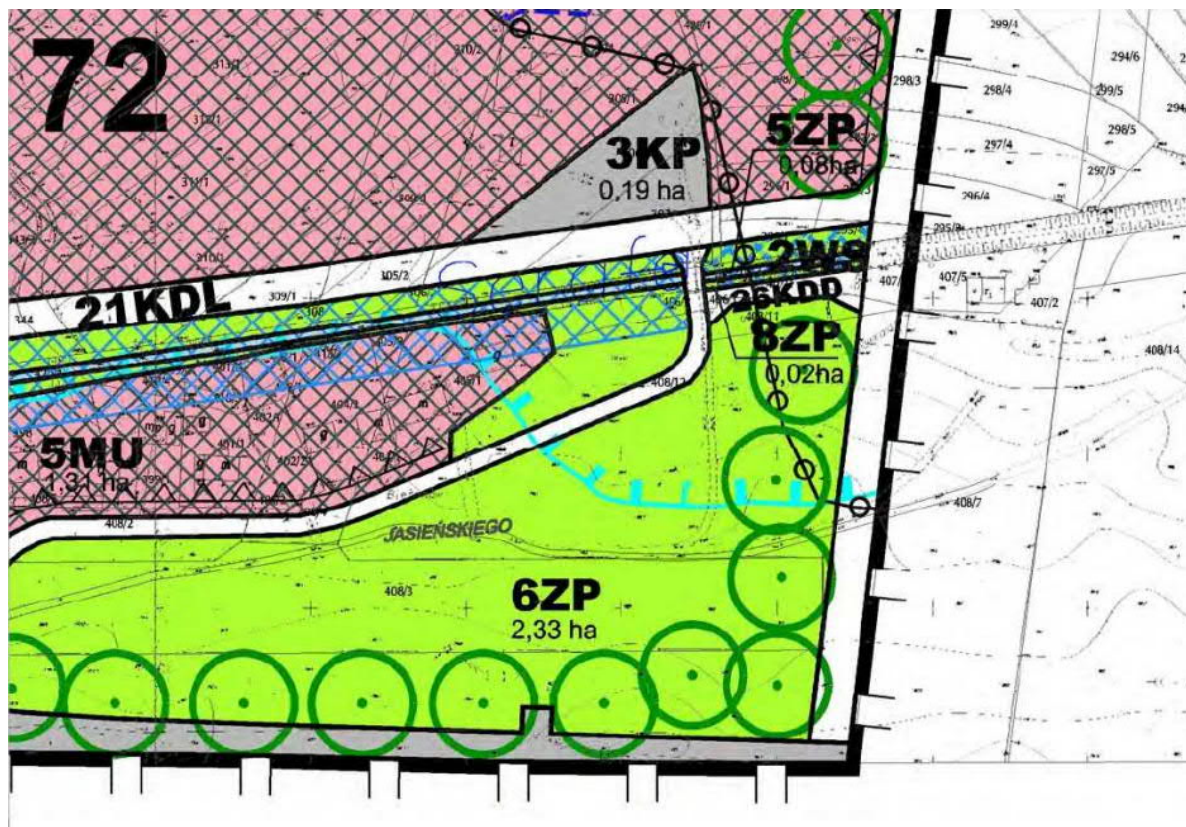
Osiedla Złociń i Słoneczne Miasteczko i domy przy ul. Feliksa Jasieńskiego w MPZP znajdują się w obszarze opisanym jako MU czyli tereny zabudowy mieszkaniowej i usług.

Na obszarach MU oprócz podstawowego przeznaczenia, czyli zabudowy mieszkaniowej, wielorodzinnej, handlowej dopuszcza się budowę sieci, urządzeń i obiektów infrastruktury technicznej.

Koryto rzeki Serafy oznaczono jako WS czyli tereny wód powierzchniowych, w których dopuszcza się możliwość realizacji sieci i urządzeń infrastruktury technicznej w tym budowli hydrotechnicznych niezbędnych dla realizacji zadań związanych z utrzymaniem wód i ochroną przeciwpowodziową.



Rysunek 8. MPZP odcinka rzeki Serafy w km 4+550 do km 4+930.



Rysunek 9. MPZP odcinka rzeki Serafy w km 4+200 do km 4+550.

63

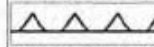

MIEJSCOWY PLAN ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO OBSZARU "PŁASZÓW-RYBITWY"

ZAŁĄCZNIK NR 1 DO UCHWAŁY NR LXI/859/12 RADY MIASTA KRAKOWA Z DNIA 21 LISTOPADA 2012R.






ELEMENTY USTALEŃ PLANU:

	granica obszaru objętego planem
	linie rozgraniczające tereny o różnym sposobie przeznaczenia
	granica terenów zamkniętych - tereny kolejowe
	tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej
	tereny zabudowy mieszkaniowej i usług
	tereny zabudowy usługowej o charakterze komercyjnym
	tereny zabudowy przemysłowo - usługowej
	tereny zabudowy przemysłowo - usługowej z możliwością realizacji obiektów i urządzeń związanych z gospodarowaniem odpadami
	tereny zieleni urządzonej o charakterze izolacyjnym
	tereny zieleni urządzonej o charakterze parkowym
	tereny zieleni towarzyszącej ciekom wodnym
	tereny urządzeń infrastruktury technicznej - kanalizacja
	tereny urządzeń infrastruktury technicznej - elektroenergetyka
	tereny obiektów i urządzeń komunikacji
	tereny wód powierzchniowych
	tereny dróg publicznych - droga ekspresowa e7
	tereny dróg publicznych - drogi główne przyspieszone
	tereny dróg publicznych - drogi zbiorcze
	tereny dróg publicznych - drogi lokalne
	tereny dróg publicznych - drogi dojazdowe
	ciągi planowanej zieleni wysokiej

LINIE I STREFY REGULACYJNE:

	nieprzekraczalna linia zabudowy
	strefa ponadnormatywnego oddziaływania komunikacji dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku $L_n=50\text{db}$ (przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy)

ELEMENTY OZNACZONE NA RYSUNKU PLANU - OKREŚLONE PRZEPISAMI I DECYZJAMI ODRĘBNYMI:

	strefa techniczna t od sieci i urządzeń infrastruktury technicznej
	strefa wyprzedzających badań wykopaliskowych - stanowisko archeologiczne kraków bieżanów 33 (azp 103-57;49), kraków bieżanów 35 (azp 103-57;60)
	strefa nadzoru archeologicznego
	obiekty wpisane do gminnej ewidencji obiektów zabytkowych
	strefa techniczna od wałów przeciwpowodziowych

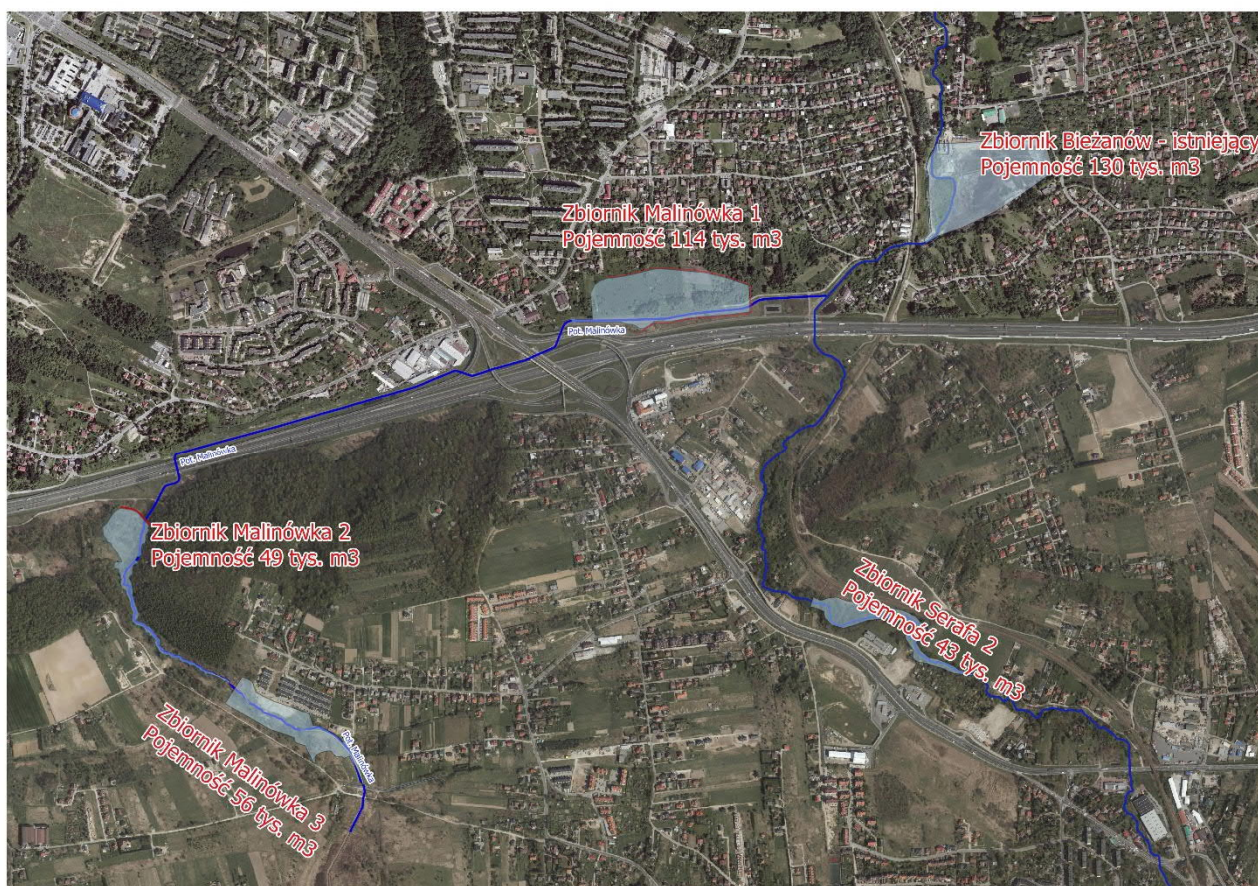
ELEMENTY INFORMACYJNE OZNACZONE NA RYSUNKU PLANU - NIE STANOWIĄCE USTALEŃ PLANU:

	zasięg izofony o wartości 50db dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku $L_n=50\text{db}$ (przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy)
	prognozowany zasięg izofony o wartości 50db dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku $L_n=50\text{db}$ (przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy)
	osie i proponowane krawędzie jezdni projektowanych dróg
	granice działek ewidencyjnych
	cieki wodne, wody powierzchniowe
	istniejąca pętla autobusowa,
	istniejąca przystanki autobusowe
	istniejąca bocznicę kolejową
	szlak dawnej twierdzy kraków
	linia informacyjna stanowiąca kontynuację linii rozgraniczających w terenach zamkniętych
	orientacyjna granica głównego zbiornika wód podziemnych GZWP nr 451 "subzbiornik bogucice"
	kontynuacja linii strefy terenów narażonych na niebezpieczeństwo wystąpienia powodzi o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ w terenach zamkniętych oraz poza granicami planu, dla ucyfrowienia jej zasięgu
	ścieżki rowerowe
	ciągi piesze
	strefa terenów o szczególnych wartościach przyrodniczych

Rysunek 10. Legenda MPZP.

3. Sytuacja hydrologiczna terenu

Na rzece Serafie w 2016 roku oddano do użytkowania zbiornik Biezanów będący elementem większego przedsięwzięcia obejmującego budowę kaskady pięciu retencyjnych zbiorników przeciwpowodziowych w dolinie rzeki Serafy, w granicach miasta Kraków oraz miasta i gminy Wieliczka. Pozostałe 4 suche zbiorniki (Serafa 2 na rzece Serafie oraz Malinówka 1, Malinówka 2 i Malinówka 3 na potoku Malinówka) znajdują się aktualnie w fazie realizacji. Z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej Krakowa i Wieliczki przedsięwzięcie polegające na budowie pięciu zbiorników stanowi funkcjonalną całość. Osiągnięcie docelowej poprawy ochrony przeciwpowodziowej w dolinie rzeki Serafy poniżej zbiornika Biezanów, w tym na terenach osiedla Złocień i Stary Biezanów w Krakowie, będzie możliwe dopiero po wybudowaniu wszystkich zbiorników.



Rysunek 11. Kaskada suchych zbiorników na rzece Serafie i potoku Malinówka.

Stale postępująca zabudowa zlewni oraz zmiana warunków klimatycznych powoduje, że wezbrania w części zagospodarowanej zlewni w obrębie osiedla Biezanów Stary i Złocień stają się coraz bardziej dotkliwe. Pomimo istnienia zbiornika Biezanów i skutecznej redukcji przepływów kulminacyjnych w powodziach z maja 2019 i sierpnia 2021 notowano większe poziomy wód i straty powodziowe niż w wezbraniach z 1997 i 2010 roku.



Rysunek 12. Podtopienia na rzece Serafie w Starym Bieżanowie w 06.08.2021

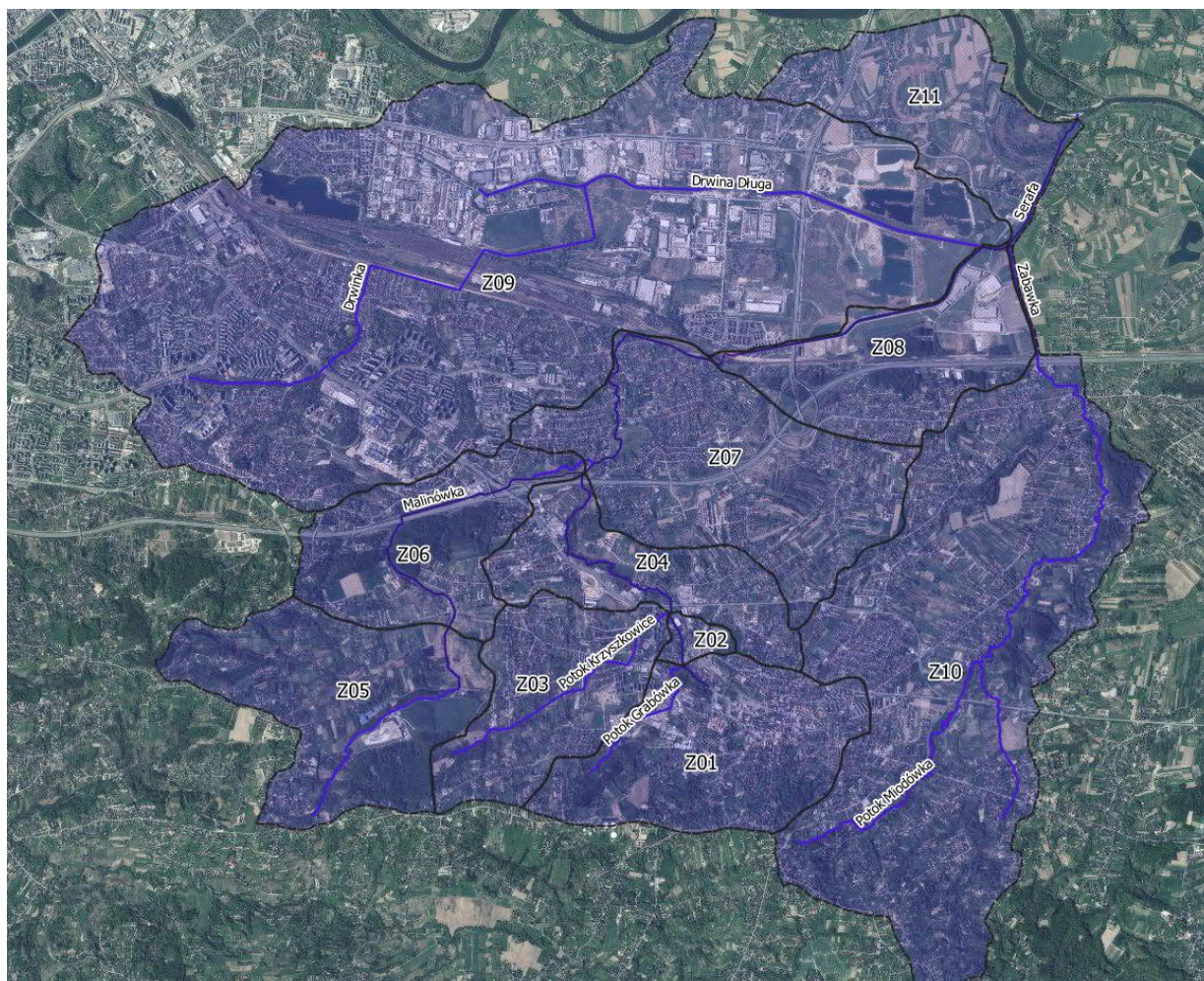


Rysunek 13. Podtopienia na rzece Serafie w Starym Bieżanowie w 06.08.2021

W trakcie projektowania ww. suchych zbiorników przeprowadzono obliczenia hydrologiczne i symulacje hydrauliczne zmierzające do określenia aktualnych przepływów i przepływów przyszłych w perspektywie 10-20 lat, uwzględniających maksymalną możliwą zabudowę terenów zlewni potoku Malinówka i rzeki Serafy.

Prowadzone obliczenia hydrologiczne stanowiły dane wejściowe do modelu hydraulicznego transformacji fali powodziowej w 11 zlewniach cząstkowych rzeki Serafy: Z01, Z02, Z03, Z04, Z05, Z06, Z07, Z08, Z09, Z10, Z11, na obszarze miasta Kraków i powiatu Wielickiego. Na tej podstawie określano zasięg stref zagrożenia powodziowego i rzędne wód powodziowych poniżej zbiornika Biezanów. Zakres obliczeń hydrologicznych obejmował:

- określenie charakterystyk opadów deszczu o prawdopodobieństwie $p = 0.2\%$; 0.5% ; 1% ;
- określenie przepływów maksymalnych i hydrogramów hipotetycznych dla prawdopodobieństw $p = 0.2\%$, 0.5% , 1% w 11 zlewniach cząstkowych Serafy.



Rysunek 14. Podział zlewni rzeki Serafa na zlewnie cząstkowe

Całość obliczeń hydrologicznych została oparta na metodyce opracowanej przez Stowarzyszenie Hydrologów Polskich (Banasik i in. 2017). W celu określenia wysokości opadu $P_{max\%,t}$, wykorzystano dane dotyczące maksymalnych rocznych wysokości opadów dla stacji Kraków Ogród Botaniczny dla wielolecia 1906-1990 dla opadów o czasie trwania $t = 15, 30, 60, 120$ min oraz 1951-2010 dla $t = 24$ h. Dane dotyczące opadów pochodziły z opracowania [Kalendarz sytuacji synoptycznych w dorzeczu górnej Wisły T. Niedźwiedź 1988, informacji własnych]. Przyjęte dane do analizy zostały zweryfikowane w aspekcie jednorodności, a wyniki podane są w pracy opracowanej przez Wałęga i in. (2016). Dodatkowo przeanalizowano dane opadowe ze stacji

Libertów (opady o czasie $t = 1, 2, \dots, 24$ h), gdzie rozkład logarytmiczno-normalny (log-normal) także poprawnie opisywał dane empiryczne oraz dla Koźmic Wielkich (sumy opadów dobowych). Ostatecznie zdecydowano się jednak wykorzystać dane z zasobów Katedry z Ogrodu Botanicznego.

Wartości kwantyli teoretycznych opadów określono z wykorzystaniem rozkładu log-normal, zgodnie z metodyką opisaną przez Banasik i in (2017). Parametry rozkładów estymowano metodą największej wiarygodności. Wartość kwantyla teoretycznego z rozkładu log-normal obliczono ze wzoru:

$$P_{\max p\%} = \varepsilon + \exp(\mu + \sigma u_p) \quad (1)$$

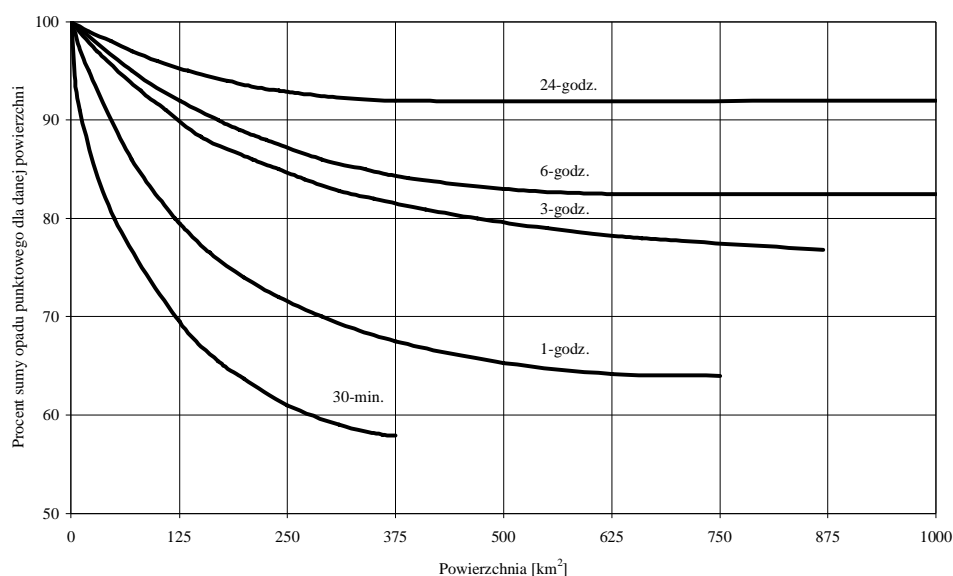
gdzie:

ε - dolne ograniczenie ciągu;

μ, σ - parametry rozkładu;

u_p – kwantyl rzędu p .

Poprawność doboru rozkładu prawdopodobieństwa sprawdzono za pomocą testu λ Kołmogorowa. Obliczenia przeprowadzono dla opadów o czasie trwania od 15 do 1440 min. Kolejnym etapem obliczeń była redukcja obszarowa opadów uzyskanych z rozkładu log-normalnego. Dla zadanej powierzchni analizowanych zlewni i różnych czasów trwania dokonano zmniejszenia obliczonych wartości opadu o współczynnik odczytany z *Rysunek 15. Krzywe redukcyjne sumy opadu punkowego dla oszacowania opadu obszarowego, przy różnych czasach trwania deszczu* [Banasik 2009].



Rysunek 15. Krzywe redukcyjne sumy opadu punkowego dla oszacowania opadu obszarowego, przy różnych czasach trwania deszczu [Banasik 2009]

Zmienność czasowa natężenia deszczu, obok czasu trwania i sumy opadu, ma zasadniczy wpływ na wielkość odpływu ze zlewni. Jest to szczególnie ważne przy stosowaniu modelowania matematycznego odpływu ze zlewni, a także podejmowaniu decyzji co do doboru i projektowania urządzeń do retencji i oczyszczania spływów opadowych.

W celu stworzenia hietogramów opadów wykorzystano metodykę opracowaną przez DVWK [1984]. Zgodnie z podanymi tam zaleceniami przez pierwsze 30% czasu trwania opadu wystąpi

20% jego wysokości. W przedziale 30 do 50% wystąpi 50% całkowitej sumy opadu, a w czasie ostatnich 50% czasu trwania opadu wystąpi pozostałe 30% sumy opadu.

W celu obliczenia $Q_{maxp\%}$ wykorzystano matematyczny model odpływu typu opad - odpływ. Przy opracowywaniu danych wejściowych do modelu kierowano się następującymi zasadami:

- W obliczeniach przyjęto równość prawdopodobieństwa występowania opadu i wywołanego nim wezbrania.
- Dane wejściowe do modelu, tj. opad efektywny wyznaczono metodą CN-NRCS.

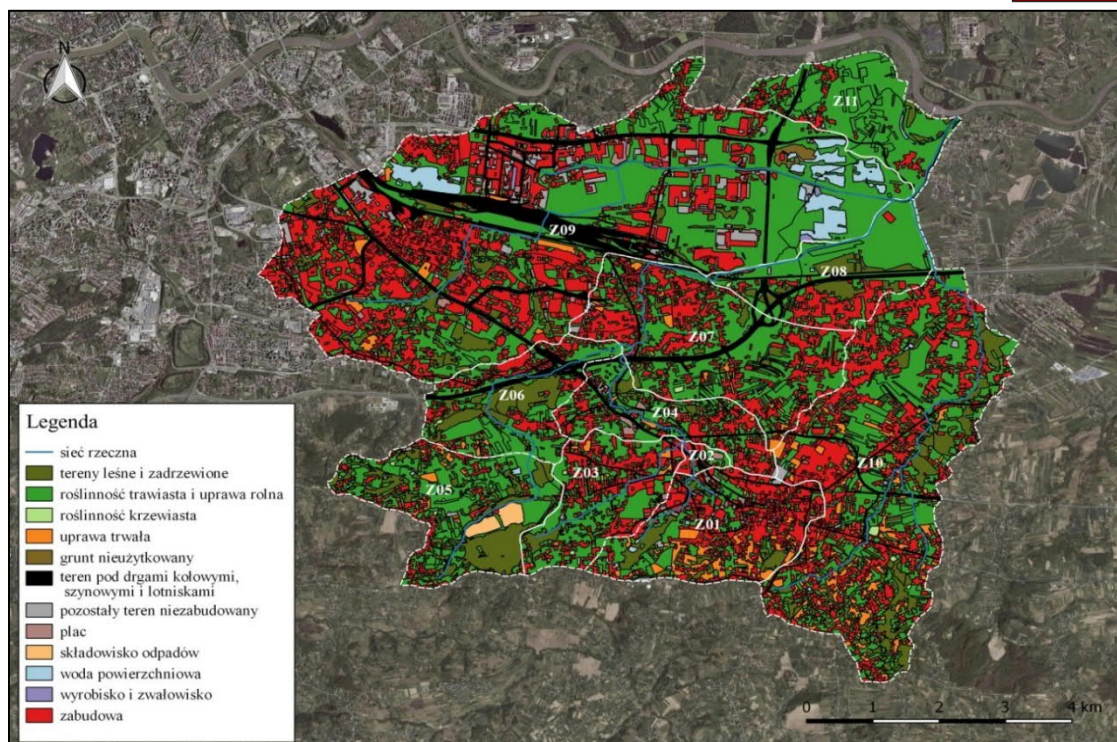
W metodzie SCS przyjęto parametr CN jak dla standardowego II stopnia uwilgotnienia gleb. W toku analiz i testów stwierdzono, że przyjęcie zwiększonego stopnia uwilgotnienia III jest nieracjonalne przy uwzględnieniu postępującej zabudowy jednorodzinnej, która przez „udział powierzchni nieprzepuszczalnej” i tak znacząco zwiększa przepływy, a jednocześnie utrudnia nawodnienie gruntów podłoża do III stopnia.

Do określenia kształtu fali powodziowej zastosowano model Nasha obrazujący transformujące działanie jednostki opadu efektywnego w chwilowy hydrogram jednostkowy odpływu bezpośredniego, przedstawiony jest w postaci kaskady zbiorników o charakterystyce liniowej, czyli takiej, gdzie występuje liniowa zależność między ilością wody w zbiorniku a jego wydatkiem.

Przepływem maksymalnym o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia jest przepływ kulminacyjny hydrogramów odpływu, wywołanych opadami o tym samym prawdopodobieństwie, lecz różnym czasie trwania. W związku z tym przepływ ten został określony drogą prób, powtarzając obliczenia dla opadów o różnym czasie trwania. Czas trwania opadu, przy którym obserwowano największy przepływ w kulminacji jest jednocześnie krytycznym czasem trwania opadu.

W całej zlewni przyjęto dla danego wariantu, iż opad ma takie samo prawdopodobieństwo przewyższenia natomiast jego czas trwania (czas krytyczny) jest różny. Każda zlewnia cząstkowa ma inny charakter, np. inny stopień uszczelnienia czy powierzchnię, a więc można spodziewać się nieco innej reakcji w postaci kształtu hydrogramu przy opadzie o tym samym prawdopodobieństwie.

Obszar zlewni rzeki Serafy pokryty jest następującymi użytkami: tereny leśne i zadrzewione, roślinność trawiasta i uprawa rolna, roślinność krzewiasta, uprawa trwała, grunt nieużytkowany, tereny pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskami, pozostały teren niezabudowany, place, składowiska odpadów, wody powierzchniowe, wyrobiska i zwałowiska. Zróżnicowanie przestrzenne użytkowania terenów zlewni rzeki Serafa w stanie obecnym przedstawiono na *Rysunek 16. Zróżnicowanie przestrzenne użytkowania terenu zlewni rzeki Serafy*. Na obszarze zlewni rzeki Serafy dominują gleby charakteryzujące się przepuszczalnością powyżej średniej. Głównie są to lessy zwykłe, piaski słabogliniaste, piaski gliniaste lekkie, piaski gliniaste mocne, należące do grupy glebowej B w zależności od zdolności infiltracyjnej. Ponadto stwierdzono występowanie piasków luźnych (grupa glebowa A w zależności od zdolności infiltracyjnej) oraz gliny średnie i ciężkie (grupa glebowa D w zależności od zdolności infiltracyjnej). Na *Rysunek 16. Zróżnicowanie przestrzenne użytkowania terenu zlewni rzeki Serafy* przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie gleb należących do poszczególnych grup glebowych w zlewni rzeki Serafy.



Rysunek 16. Zróżnicowanie przestrzenne użytkowania terenu zlewni rzeki Serafy

W tabeli 1. przedstawiono charakterystykę parametrów zlewni, które następnie wykorzystano w obliczaniu wielkości odpływu.

Tabela 1. Charakterystyki analizowanych zlewni niekontrolowanych dla obecnego stanu zagospodarowania terenu

Rzeka	Zlewnia cząstkowa	Powierzchnia zlewni cząstkowej, km ²	Współczynnik CN	Udział powierzchni nieprzepuszczalnej U, %
Serafa	Z01	4.469	71.5	7.8
	Z02	0.286	72.4	20.2
	Z04	2.844	70.9	8.6
	Z07	6.78	70.3	8.8
	Z08	3.506	70.2	5.1
	Z11	3.429	70.8	2.9
Potok Krzyszkowice	Z03	3.293	67.2	7.1
Malinówka	Z05	4.854	70.6	2.7
	Z06	3.543	70.4	6.7
Drwina Długa	Z09	26.146	72	13.1
Zabawka	Z10	13.516	71.5	6.6

W tabeli 2. zestawiono obliczone przepływy $Q_{maxp\%}$ dla wszystkich zlewni cząstkowych dla obecnego sposobu zagospodarowania terenu.

Tabela 2. Zbiorcze zestawienie przepływów $Q_{maxp\%}$ dla poszczególnych zlewni cząstkowych dla czasu trwania deszczu 2 godziny w obecnym stanie zagospodarowania terenu

Rzeka	Zlewnia cząstkowa	$Q_{0,2\%}$	$Q_{0,5\%}$	$Q_{1\%}$
Serafa	Z01	22.47	12.78	7.59
	Z02	3.43	1.77	1.06
	Z04	14.93	8.72	5.21
	Z07	29.58	16.32	9.16
	Z08	17.09	9.70	5.60
	Z11	17.06	9.63	5.68
Potok Krzyszkowice	Z03	14.18	4.65	4.24
Malinówka	Z05	22.29	12.28	7.07
	Z06	17.53	10.03	5.82
Drwina Długa	Z09	85.60	38.83	25.82
Zabawka	Z10	50.52	26.96	15.35

Powyższe przepływy odzwierciedlają obecny sposób zagospodarowania zlewni i posłużyły jako dane wejściowe do obliczeń hydraulicznych w wariantach obliczeniowych W0, W1 i W2 (zgodnie z opisem wariantów w rozdziale 3.3). Ze względu na okres użytkowania projektowanych zbiorników (wymagany przepisami) wynoszący co najmniej 100 lat, niezbędne było określenie przepływów perspektywicznych uwzględniających zwiększenie zabudowy w zlewni.

Z uwagi na położenie zlewni cząstkowych na terenie miast Krakowa i Wieliczki największe zagęszczenie zabudowy mieszkaniowej występuje w podzlewniach: Serafy w Wieliczce Z01, Z02, Z03, Z04 i Z10. Na terenie Krakowa największy stopień zabudowy występuje w Zlewni Drwiny Z09 i Serafy Z07. Obecnie silnie postępuje zabudowa terenów zielonych w zlewni Malinówki Z05 i w zachodniej części zlewni Z06, oraz w Zlewni Serafy na terenie administracyjnym gminy Wieliczka: zlewnia Z08 gdzie powstała Wielicka Strefie Aktywności Gospodarczej „Kokotów - Brzegi”. W analizach perspektywicznych wzięto pod uwagę warianty dodatkowe (rozszerzające wariant W2):

- I. W2ZOPO – wariant W2 przy obecnej zabudowie terenu zagrożonego zatopieniem i przyjęciu przepływów wezbraniowych dla obecnego stanu zabudowy zlewni;
- II. W2ZOPP – wariant W2 przy obecnej zabudowie terenu zagrożonego zatopieniem i przyjęciu przepływów wezbraniowych dla perspektywicznego stanu zabudowy zlewni skutkującego zwiększonym spływem;

- III. W2ZPPO – wariant W2 przy zwiększonej zabudowie terenu zagrożonego zatopieniem i przyjęciu przepływów wezbraniowych dla obecnego stanu zabudowy zlewni;
- IV. W2ZPPP – wariant W2 przy zwiększonej zabudowie terenu zagrożonego zatopieniem i przyjęciu przepływów wezbraniowych dla perspektywicznego stanu zabudowy zlewni skutkującego zwiększonym wpływem.

W wariantcie W2 na podstawie symulacji przejścia fal powodziowych przez zbiorniki określono optymalne wielkości urządzeń rzutowych. Uzasadniono również, że nie ma (logicznego uzasadnienia) sensu stosowanie zamknięć na upustach i przelewach co wynika z wielkości zlewni, szybkości narastania fali powodziowej i pojemności samych zbiorników.

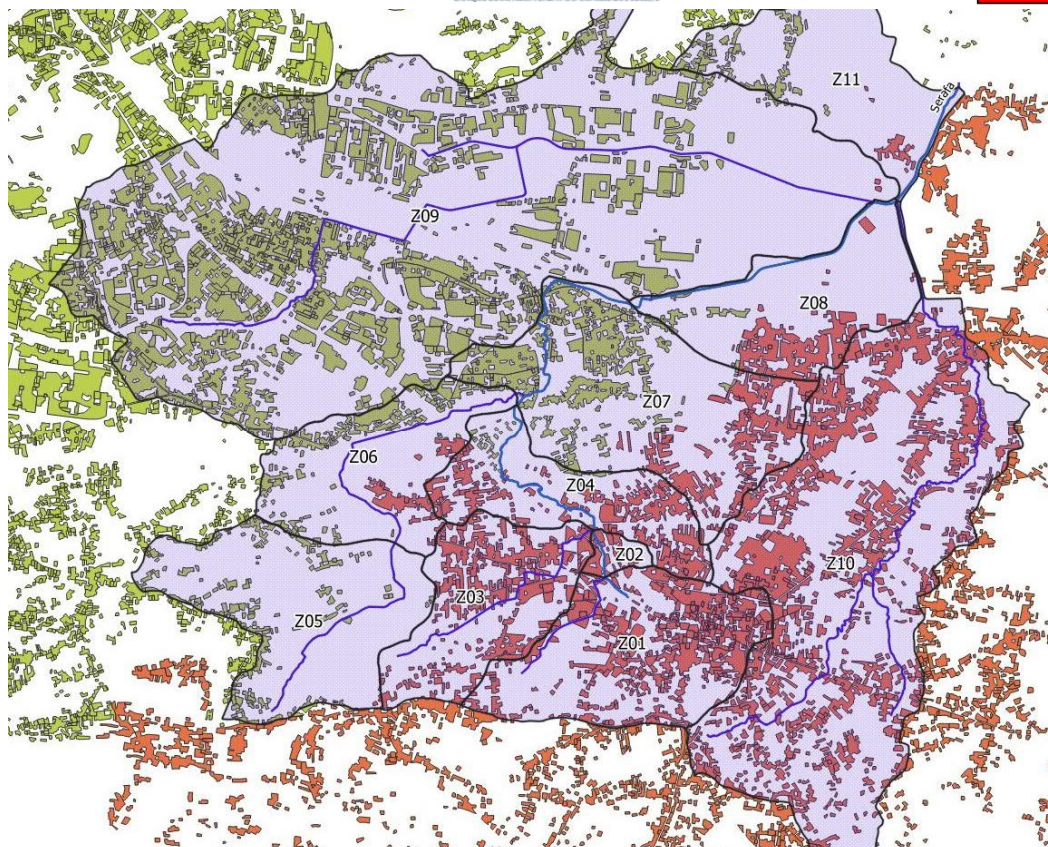
Warianty dodatkowe W2ZOPO, W2ZOPP, W2ZPPO i W2ZPPP reprezentują 4 możliwe kombinacje wariantu W2 rozszerzonego o możliwe scenariusze zagęszczenia zabudowy i uszczelnienia podłoża w górnej części zlewni skutkujące zwiększeniem przepływów wezbraniowych. Dodatkowo przeanalizowano możliwą zabudowę dolnej części zlewni, gdzie występuje największe zagrożenie powodziowe i szkody powodziowe. Uwzględnienie zwiększenia zabudowy zlewni wpłynęło na zwiększenie przepływów prawdopodobnych (przepływy podano w Tabeli 2. Zbiorcze zestawienie przepływów $Q_{maxp\%}$ dla poszczególnych zlewni cząstkowych dla czasu trwania deszczu 2 godziny w obecnym stanie zagospodarowania terenu.).

W wariantach W2ZOPP i W2ZPPP uwzględniono perspektywiczny stan zabudowy górnej części zlewni skutkujący zwiększeniem wielkości przepływów wezbraniowych (przepływy zgodnie z

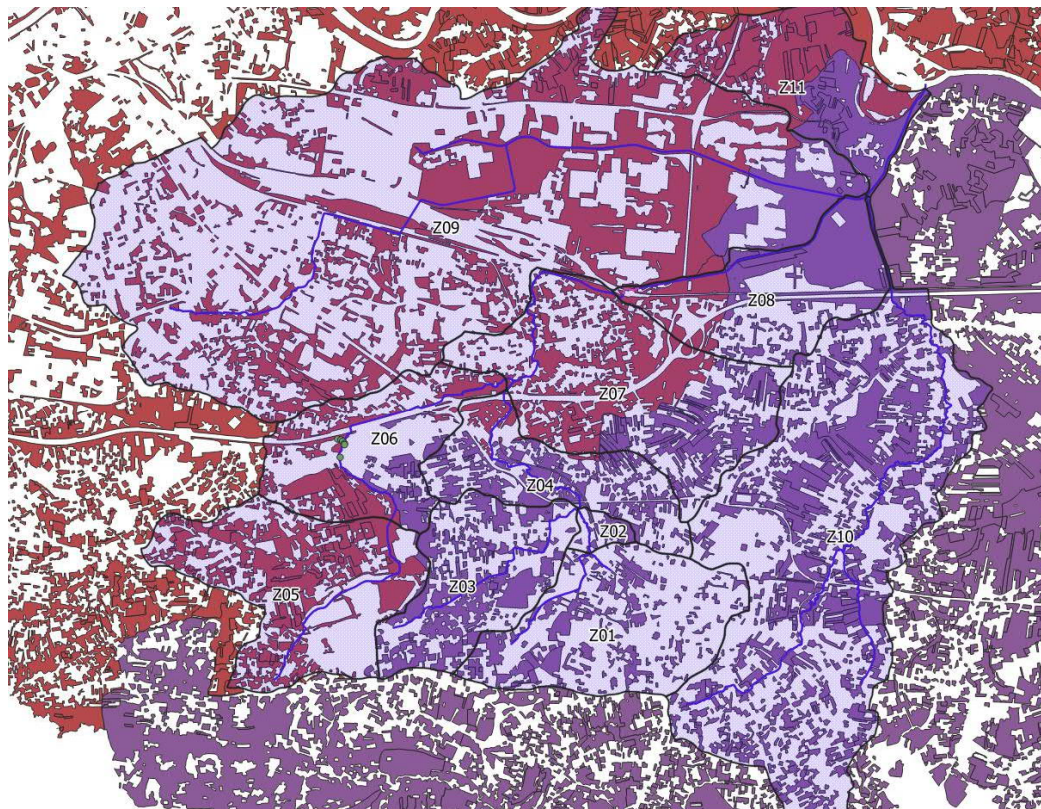
Tabela 4. Zbiorcze zestawienie przepływów $Q_{maxp\%}$ dla poszczególnych zlewni cząstkowych dla czasu trwania deszczu 2 godziny dla przyszłego stanu zagospodarowania terenu przy zwiększonej zabudowie).

Wariant W2ZPPP uwzględnia również zwiększoną zabudowę zlewni w dolnej części zagrożonej zalaniem (głównie Z07, Z08 i Z09) i przez to zwiększeniem szkód powodziowych.

Przyjęto, że obszary roślinności trawiastej i upraw rolnych (przedstawione na Rysunek 18. Zróżnicowanie przestrzenne roślinności trawiastej i upraw rolnych zlewni rzeki Serafy) będą w najbliższych latach stopniowo przekształcane w obszary zabudowy, szczególnie w zlewniach Z05, Z06, Z08 i Z11.



Rysunek 17. Zróżnicowanie przestrzenne zabudowy (wielorodzinnej i jednorodzinnej, przemysłowej, handlowej, usługowej) zlewni rzeki Serafy



Rysunek 18. Zróżnicowanie przestrzenne roślinności trawiastej i upraw rolnych zlewni rzeki Serafy

Zwiększenie w perspektywie najbliższych lat zabudowy zlewni skutkuje zmianą współczynnika CN i udziału powierzchni nieprzepuszczalnej, co zwiększa wielkości przepływów powodziowych w zlewni, analizowanych w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP.

Tabela 3. Charakterystyki analizowanych zlewni niekontrolowanych dla przyszłego stanu zagospodarowania terenu przy zwiększonej zabudowie

Rzeka	Zlewnia cząstkowa	Powierzchnia zlewni cząstkowej, km ²	Współczynnik CN	Udział powierzchni nieprzepuszczalnej U, %
Serafa	Z01	4.469	73.7	22.7%
	Z02	0.286	76.4	32.6%
	Z04	2.844	73.9	21.4%
	Z07	6.244	73.6	18.7%
	Z08	3.506	72.8	15.2%
	Z11	3.429	73.4	6.5%
Potok Krzyszkowice	Z03	3.293	73.1	16.7%
Malinówka	Z05	4.854	69.9	6.4%
	Z06	3.543	71.9	17.2%
Drwina Długa	Z09	26.683	76.1	29.1%
Zabawka	Z10	13.516	72.5	15.2%

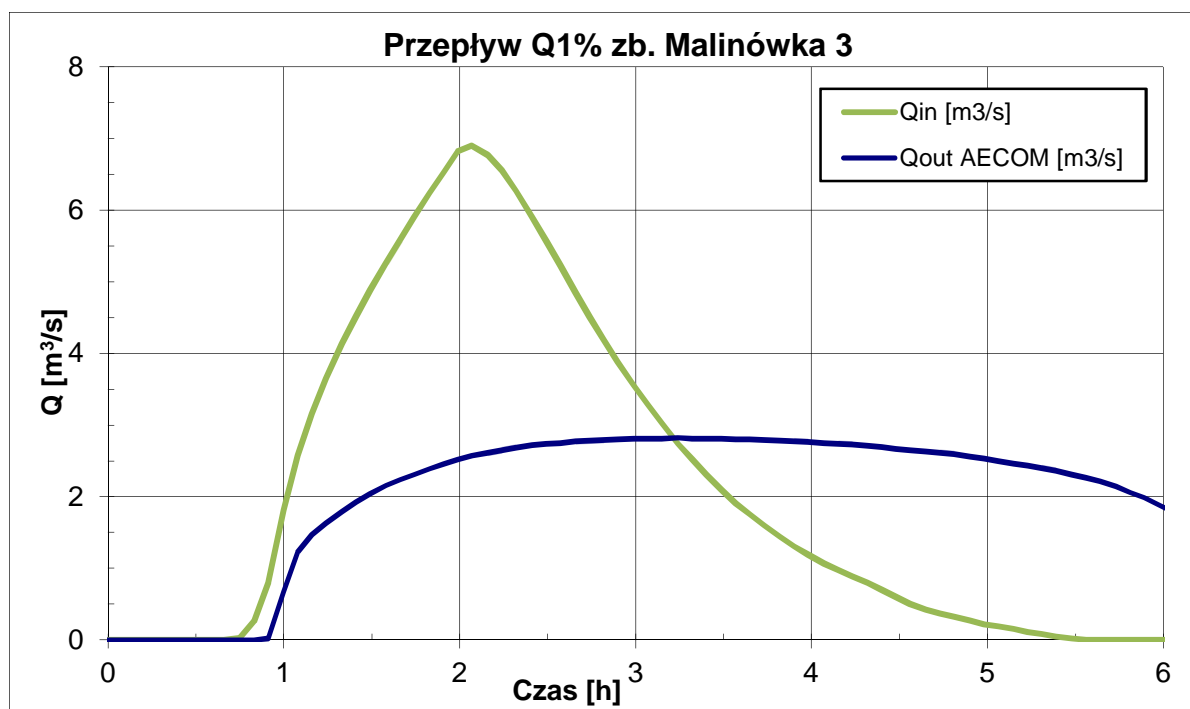
Tabela 4. Zbiorcze zestawienie przepływów $Q_{max\%}$ dla poszczególnych zlewni cząstkowych dla czasu trwania deszczu 2 godziny dla przyszłego stanu zagospodarowania terenu przy zwiększonej zabudowie

Rzeka	Zlewnia cząstkowa	$Q_{0,2\%}$	$Q_{0,5\%}$	$Q_{1\%}$
Serafa	Z01	25.9	16.0	10.1
	Z02	4.6	2.7	1.6
	Z04	18.4	10.8	7.1
	Z07	34.2	20.5	12.6
	Z08	24.5	12.0	7.5
	Z11	19.4	11.7	7.2
Potok Krzyszkowice	Z03	19.0	11.7	7.4
Malinówka	Z05	22.3	12.4	5.7
	Z06	19.5	11.6	7.2
Drwina Długa	Z09	123.9	73.3	44.3
Zabawka	Z10	58.7	32.4	18.9

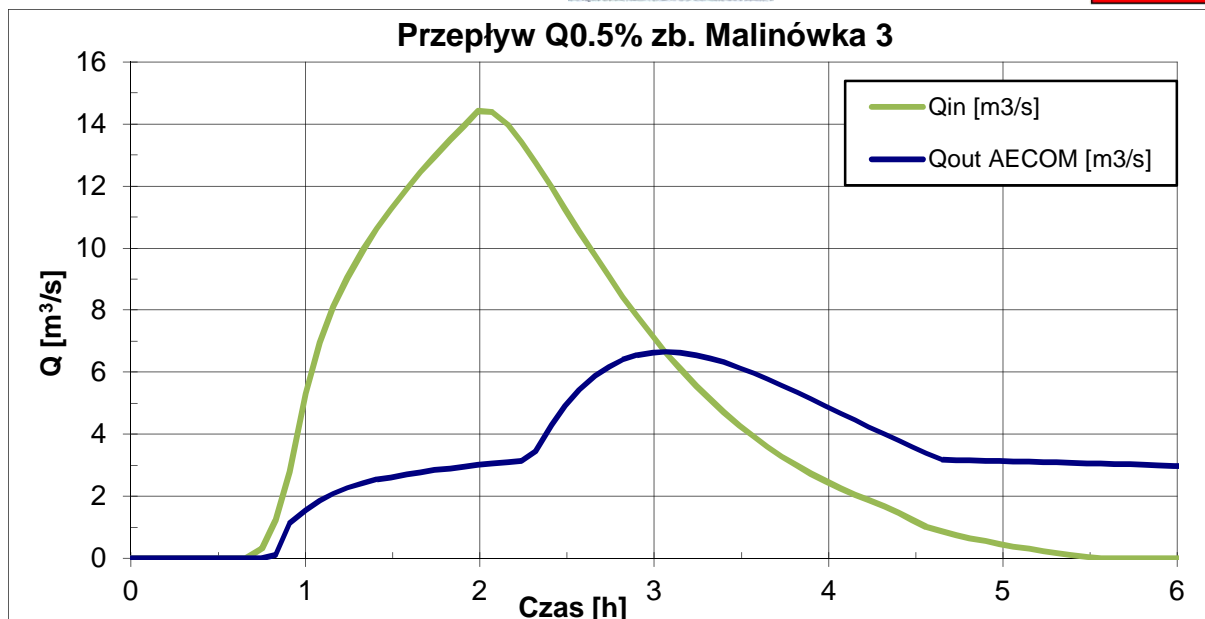
Tabela 5. Zbiornicze zestawienie przepływów $Q_{maxp\%}$ dla poszczególnych zlewni częściowych dla czasu trwania deszczu 12 godzin dla przyszłego stanu zagospodarowania terenu przy zwiększonej zabudowie w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP

Rzeka	Zlewnia częściowa	$Q_{0,2\%}$	$Q_{0,5\%}$	$Q_{1\%}$
Serafa	Z01	10.5	6.4	4.2
	Z02	1.1	0.8	0.6
	Z04	7.5	4.7	3.1
	Z07	12.5	7.9	5.4
	Z08	7.8	4.7	3.1
	Z11	6.8	4.5	3.1
Potok Krzyszkowice	Z03	7.7	4.7	3.0
Malinówka	Z05	7.7	4.7	2.4
	Z06	7.6	4.5	3.0
Drwina Długa	Z09	44.2	28.9	20.3
Zabawka	Z10	20.7	12.7	8.6

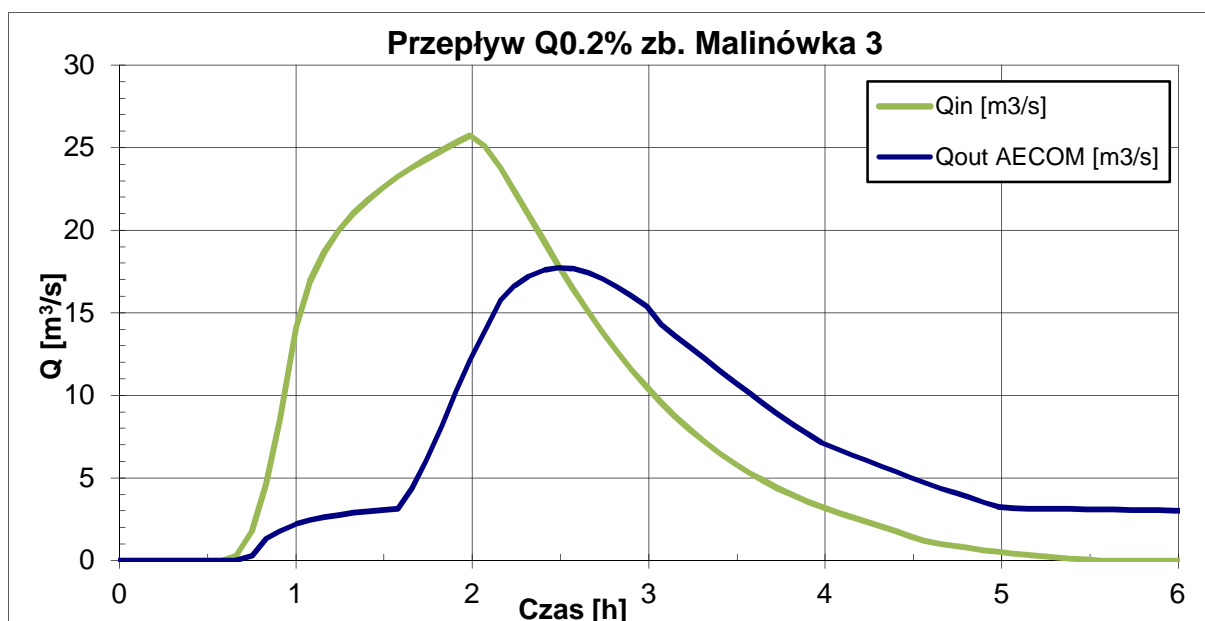
Dla poszczególnych zlewni częściowych opracowano hydrogramy fal powodziowych, które zostały wykorzystane jako dane wejściowe w opracowanym modelu hydraulicznym rzeki Serafy i potoku Malinówka. W modelu uwzględniono projektowane zbiorniki (w zależności od wariantu ze zróżnicowanymi wydatkami urządzeń zrzutowych), istniejący zbiornik Biezanów oraz istniejące obiekty inżynierskie (mosty, przepusty itp.).



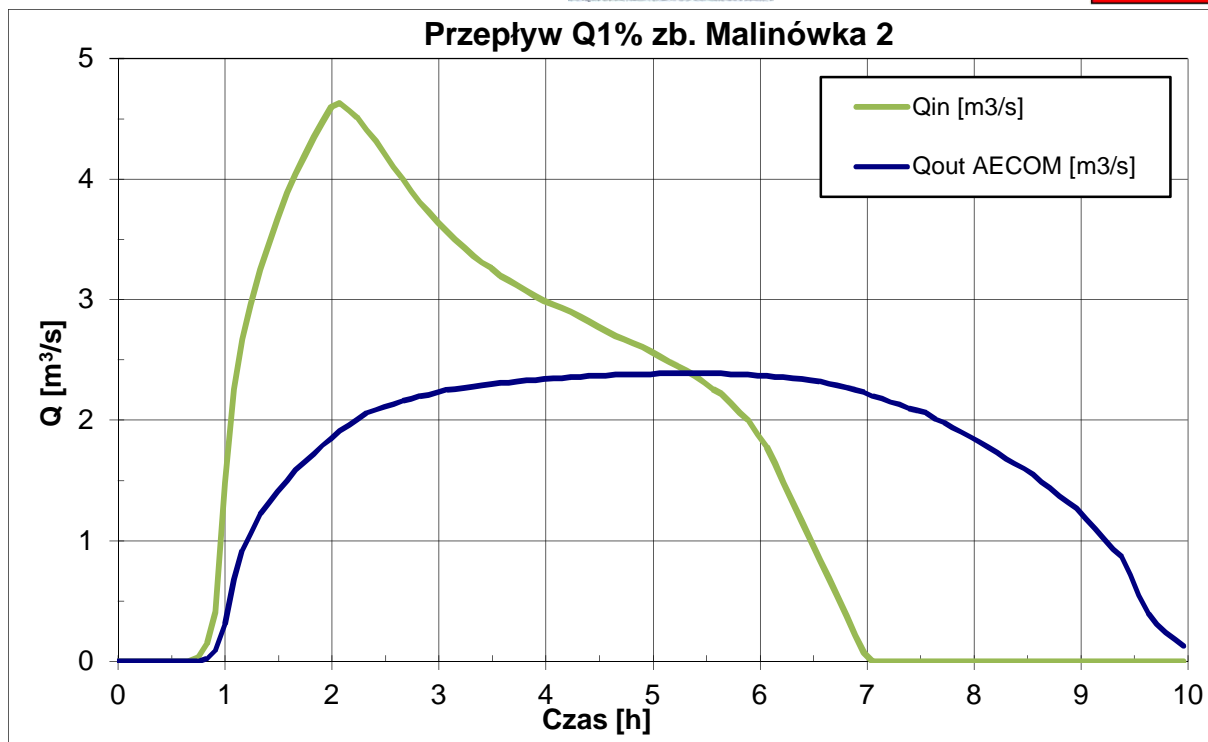
Rysunek 19. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% na zbiorniku Malinówka 3 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



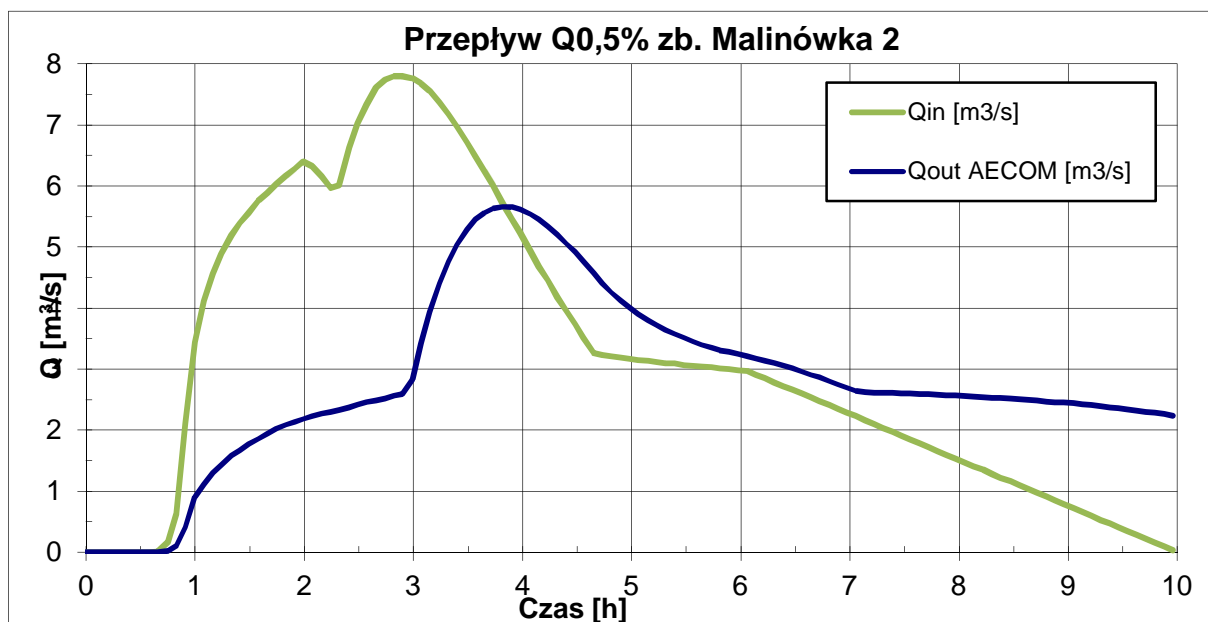
Rysunek 20. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.5% na zbiorniku Malinówka 3 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



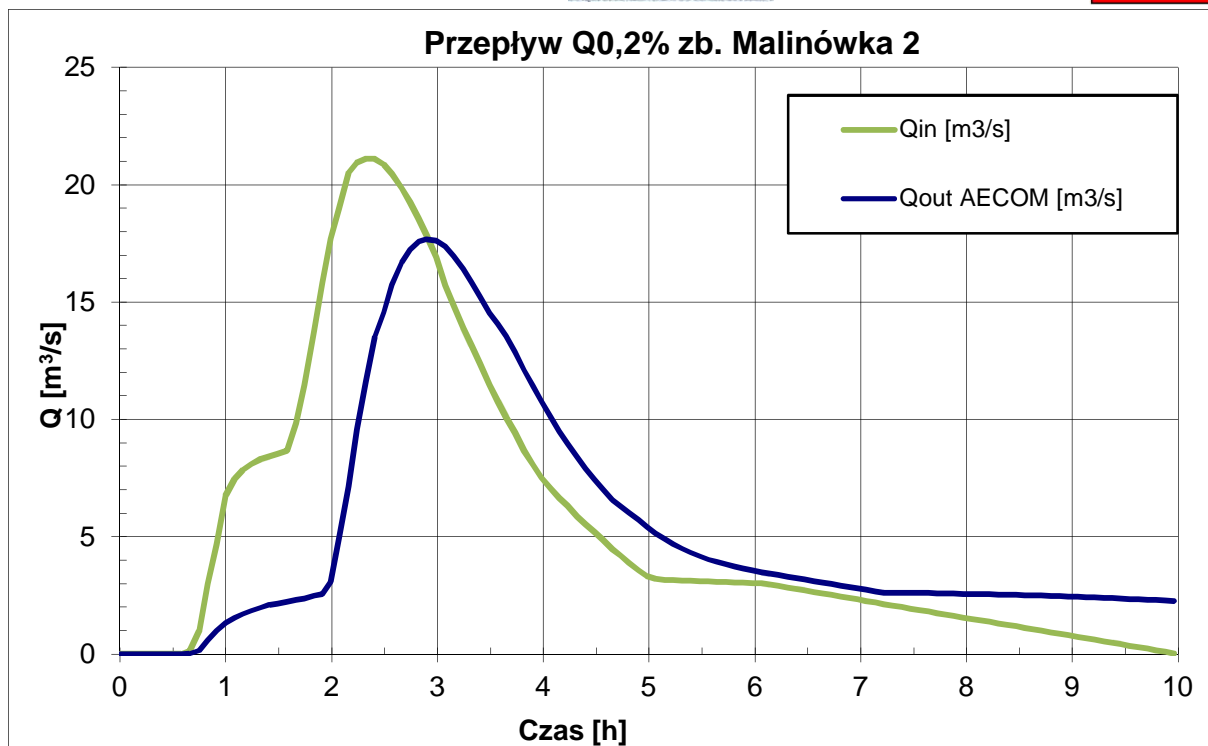
Rysunek 21. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2% na zbiorniku Malinówka 3 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



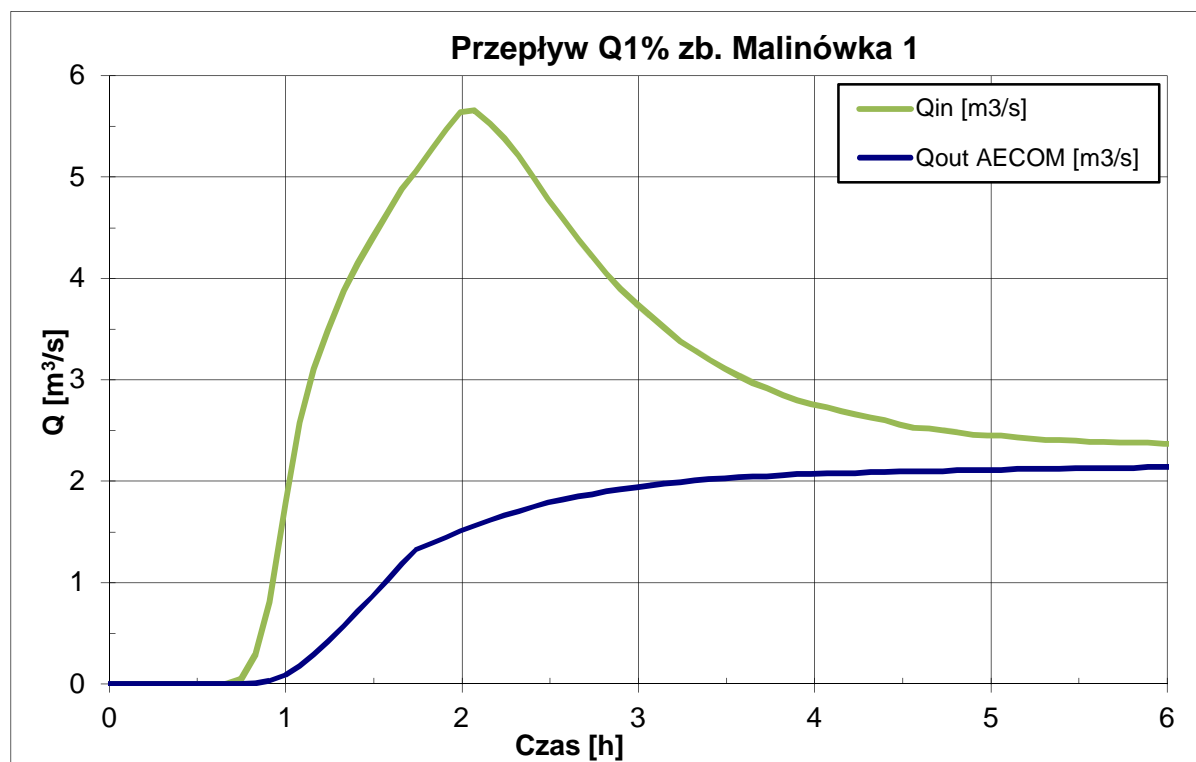
Rysunek 22. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% na zbiorniku Malinówka 2 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



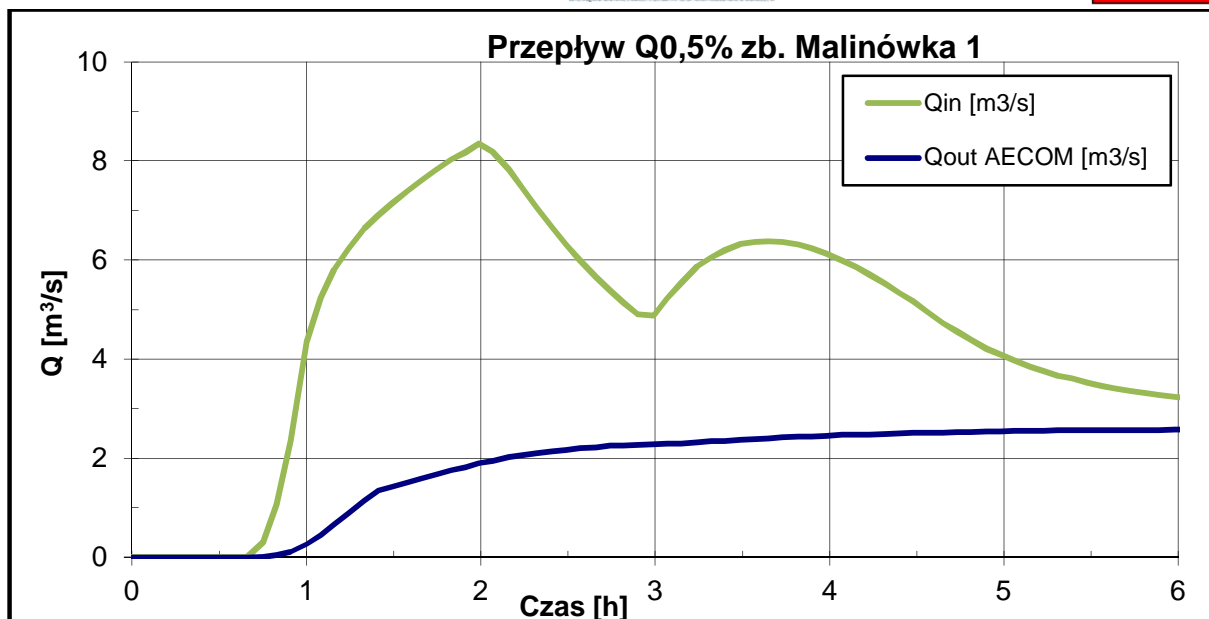
Rysunek 23. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.5% na zbiorniku Malinówka 2 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



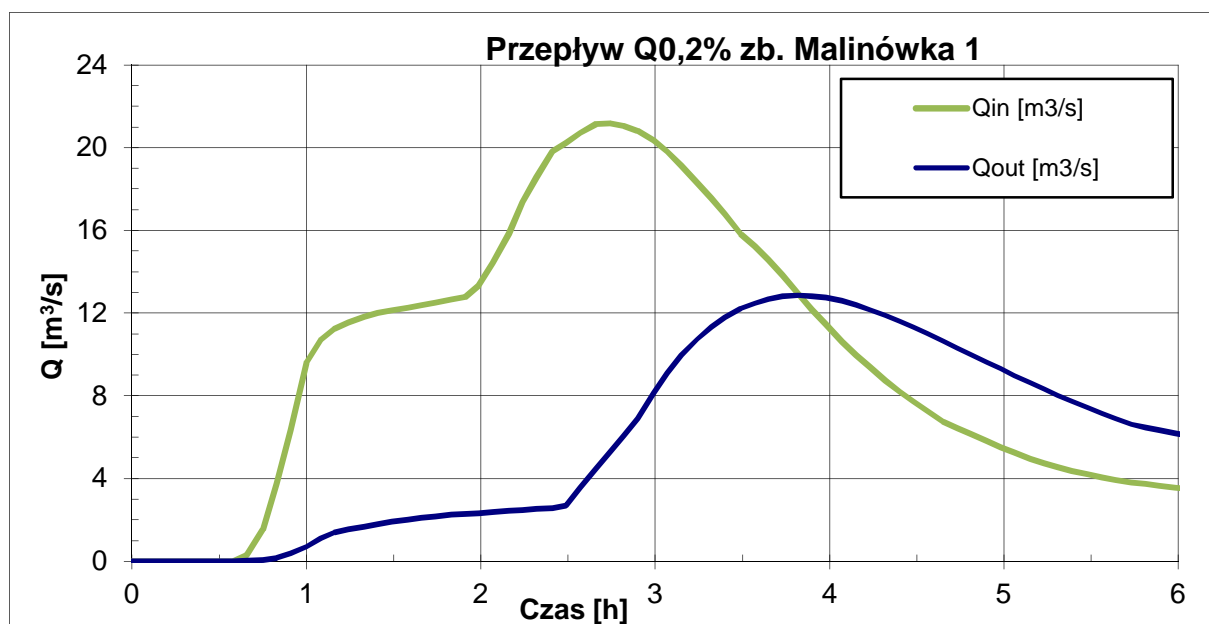
Rysunek 24. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2% na zbiorniku Malinówka 2 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



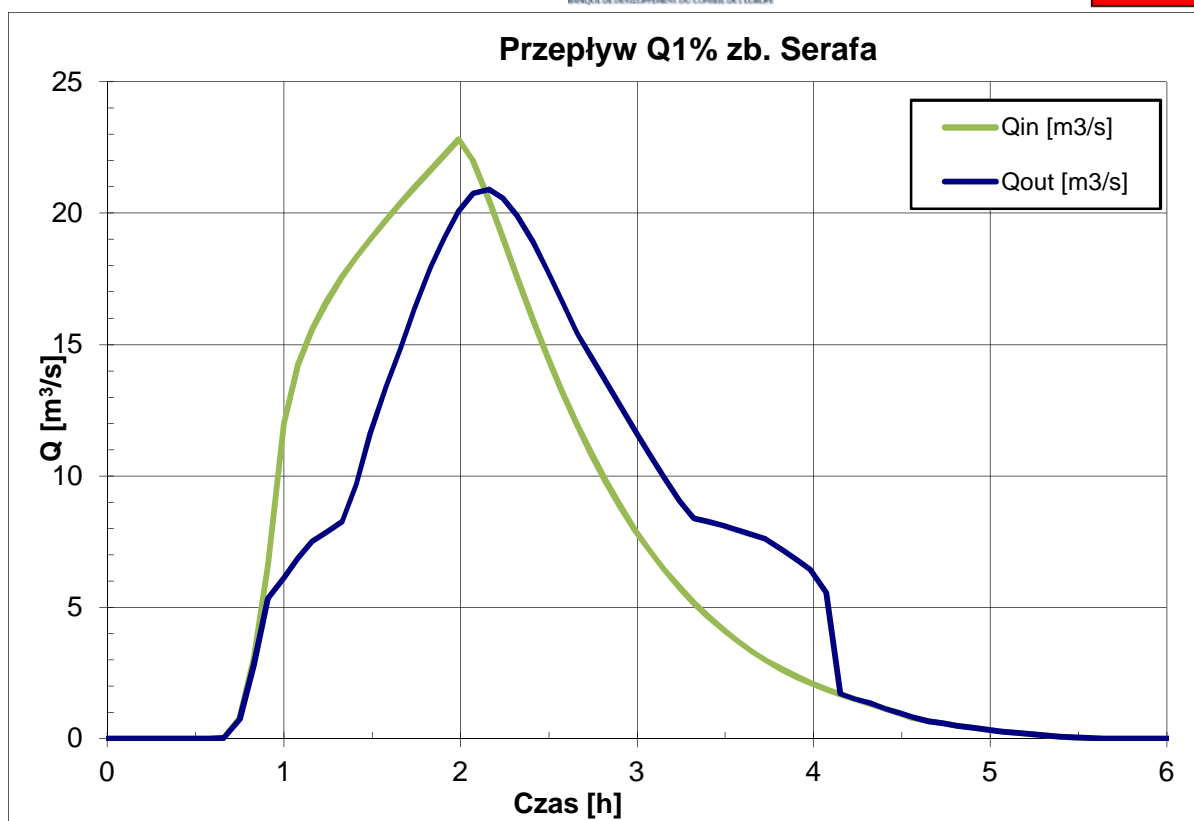
Rysunek 25. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% na zbiorniku Malinówka 1 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



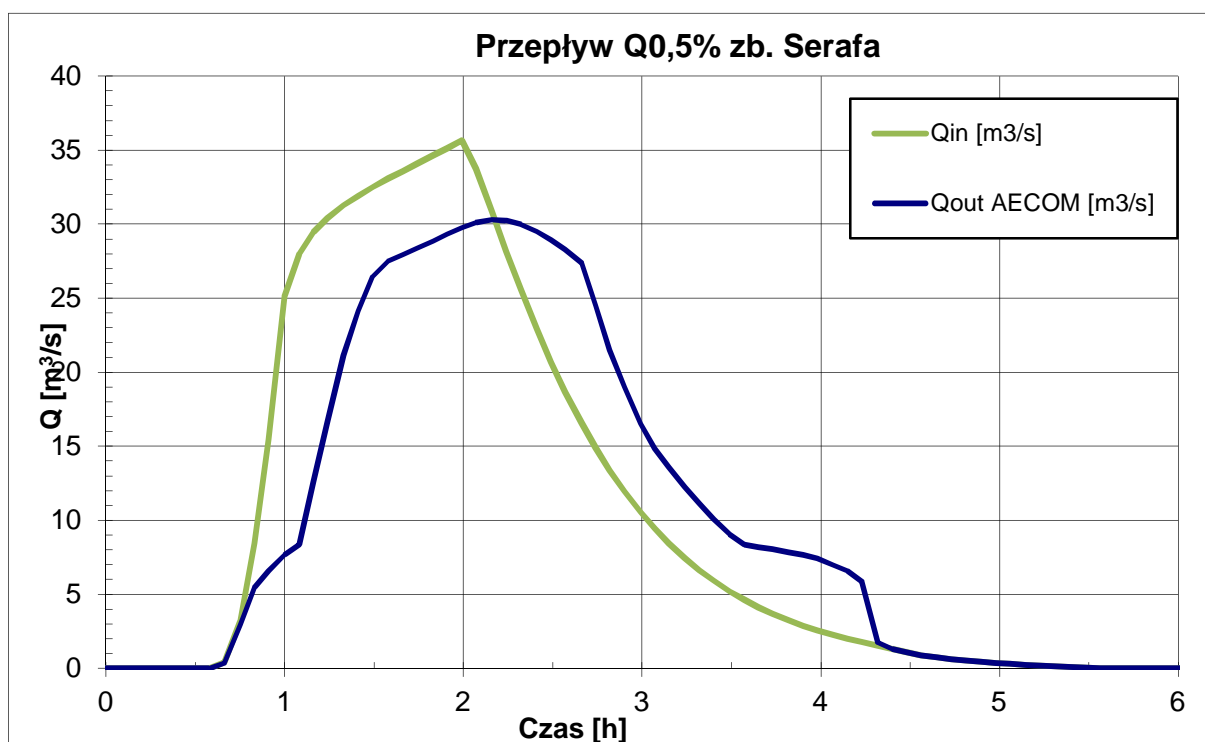
Rysunek 26. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.5% na zbiorniku Malinówka 1 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



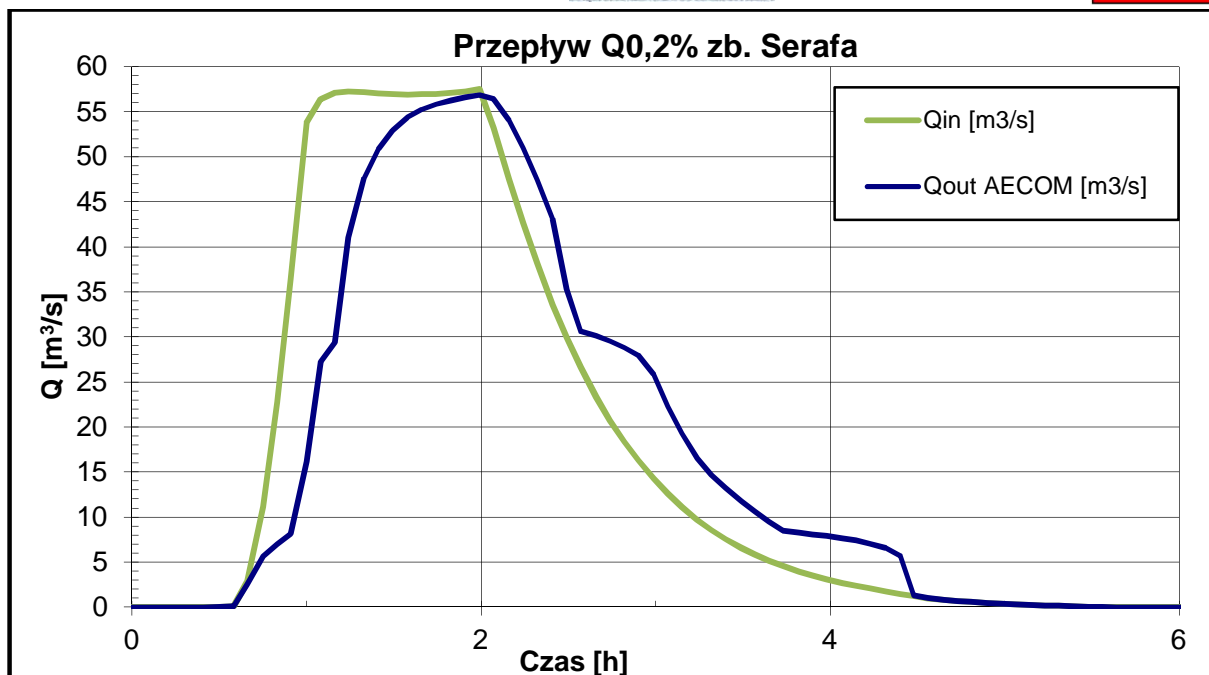
Rysunek 27. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2% na zbiorniku Malinówka 1 w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



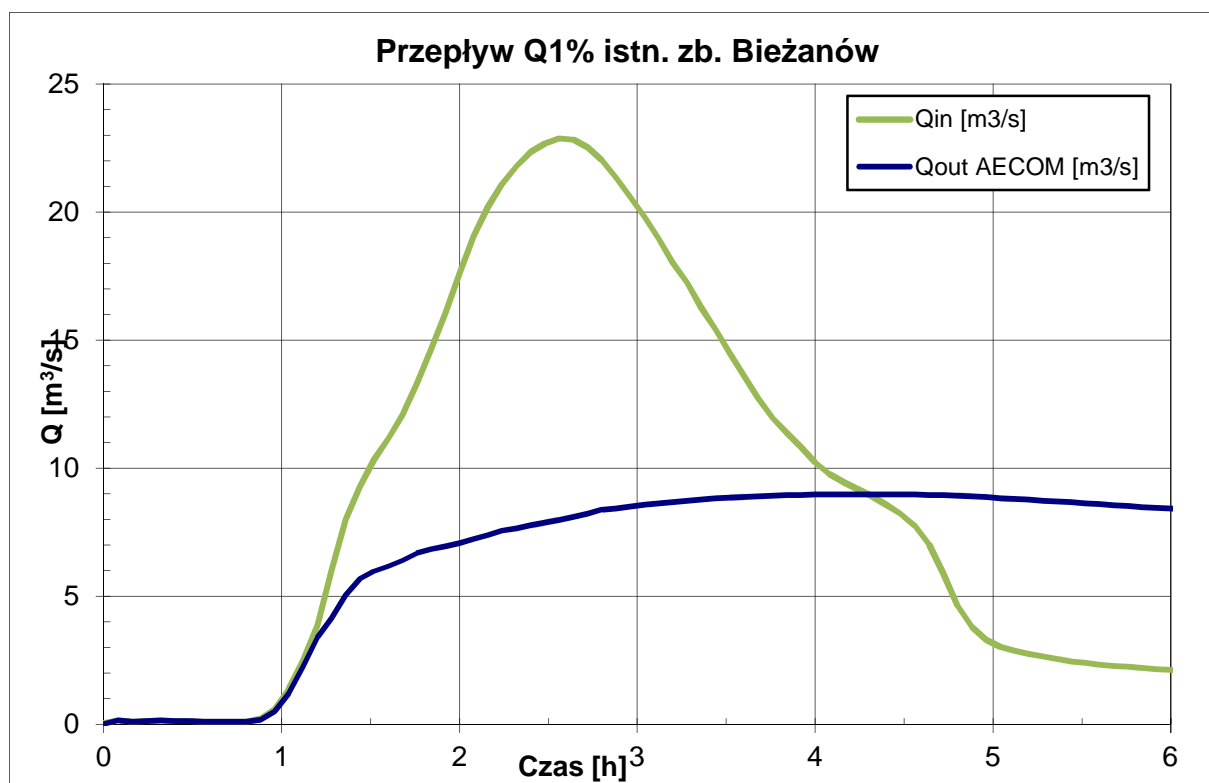
Rysunek 28. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% na zbiorniku Serafa w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



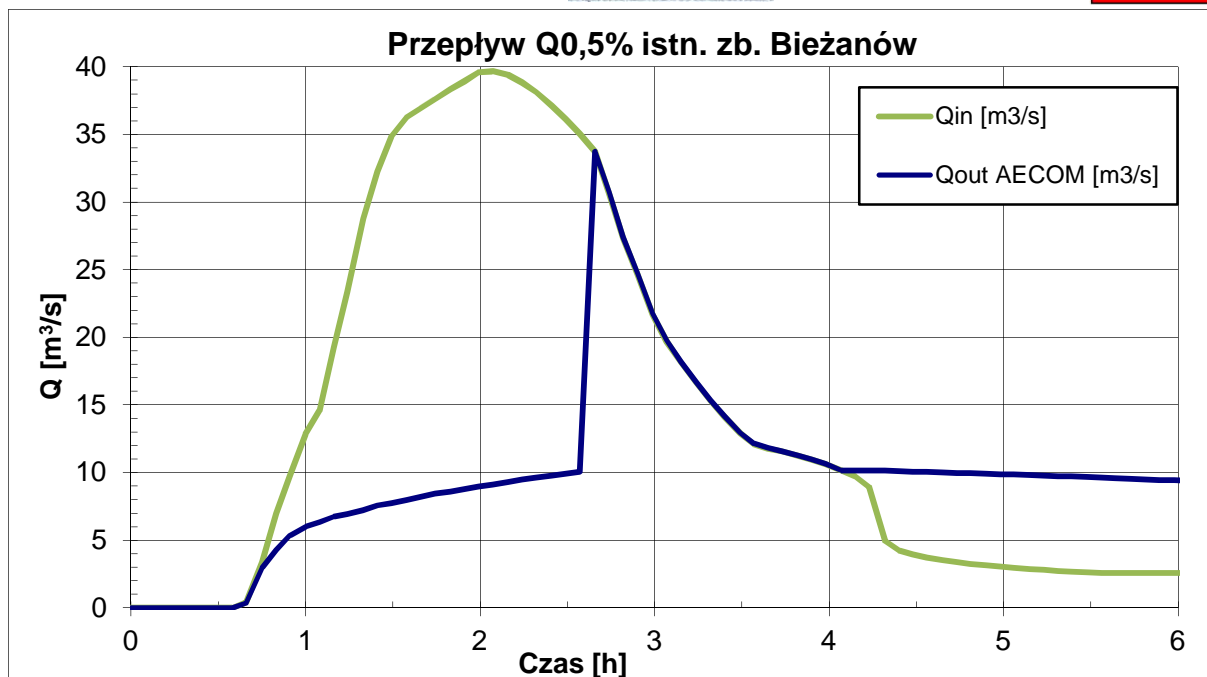
Rysunek 29. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.5% na zbiorniku Serafa w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



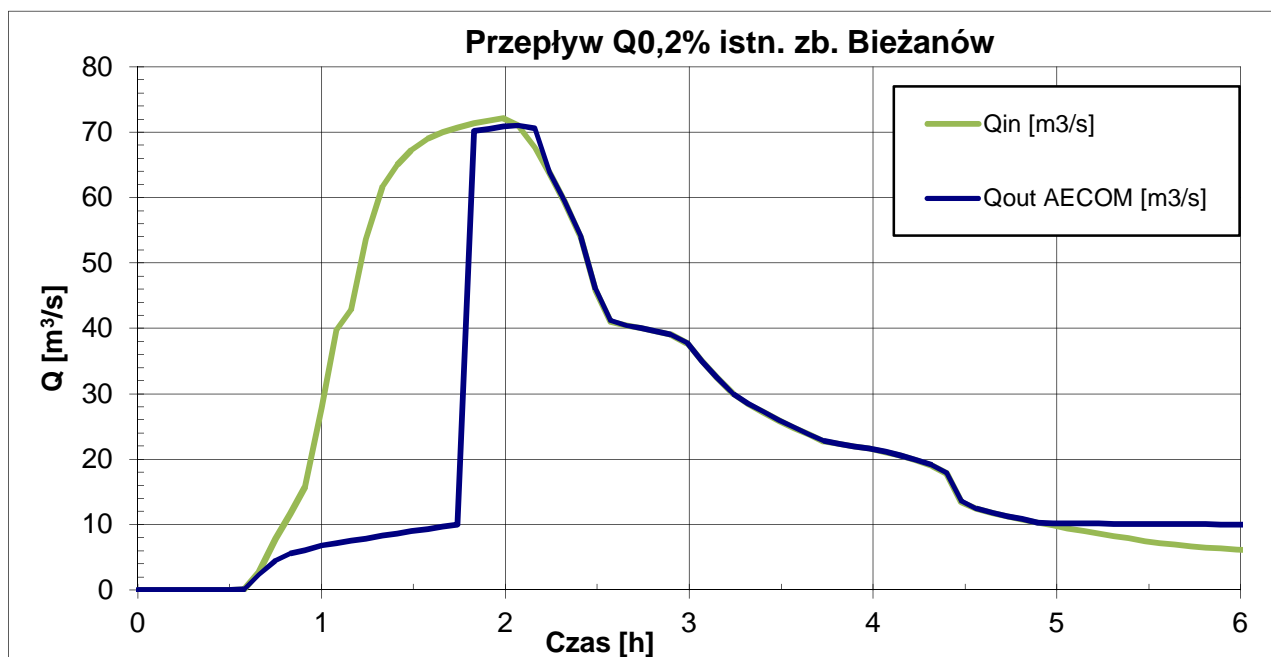
Rysunek 30. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2% na zbiorniku Serafa w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



Rysunek 31. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% na istniejącym zbiorniku Biezanów w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



Rysunek 32. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.5% na istniejącym zbiorniku Biezanów wariantach W2ZOPP i W2ZPPP



Rysunek 33. Redukcja fali powodziowej o prawdopodobieństwie 0.2% na istniejącym zbiorniku Biezanów wariantach W2ZOPP i W2ZPPP

W wyniku obliczeń hydraulicznych przejścia fal powodziowych przez poszczególne zbiorniki uzyskano krzywe przepływu i napełnienia dla fal o prawdopodobieństwach 1%, 0.5% i 0.2% przy czasach trwania opadu 2 godziny.

Dodatkowo w przekrojach projektowanych zbiorników obliczono wielkości przepływów charakterystycznych SNQ i SSQ. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z Załącznikiem Nr 2 do rozporządzenia Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie z dnia 10 października 2017 r.

$$SNq = 0,000247 \cdot H^{0,7462} \cdot P^{1,182} \cdot I^{-0,2321} \cdot N^{-0,7123}$$

gdzie: SNQ – przepływ średni niski roczny [m³/s],

SNq – średni niski odpływ jednostkowy [l/s · km²]

H – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.] (obliczana jako średnia arytmetyczna wysokości najwyższej położonego źródła w zlewni i wysokości profilu zamykającego zlewnię)

P – opad średni roczny w zlewni [mm]

I – spadek podłużny cieku określany wzorem [‰]

ΔW – różnica wysokości pomiędzy najwyższymi położonymi źródłami rzeki a profilem zamykającym w badanej zlewni [m],

L – odległość od przekroju zamykającego do najdalej położonego źródła w zlewni [km],

N – wskaźnik nieprzepuszczalności gleb [%],

A – powierzchnia zlewni [km²].

$$SNQ = 10^{-3} \cdot SNq \cdot A,$$

$$SSq = 0.00001151 \cdot P^{2.05576} \cdot I^{0.0647} \cdot N^{-0.04435}$$

$$SSQ = 10^{-3} \cdot SSq \cdot A,$$

gdzie: SSQ – przepływ średni roczny [m³/s],

SSq – średni roczny odpływ jednostkowy [l/s · km²].

Tabela 6. Zbiorcze zestawienie przepływów charakterystycznych w przekrojach projektowanych zapór

Nazwa zbiornika	Nazwa rzeki/potoku	Km zapory	Powierzchnia zlewni	SNq	Przepływ SNQ	Przepływ SSQ
			km ²	l/s·km ²	m ³ /s	m ³ /s
<i>Serafa 2</i>	Serafa	9+223	9.84	0.99	0.010	0.081
<i>Malinówka 1</i>	Malinówka	0+222	6.73	1.04	0.007	0.055
<i>Malinówka 2</i>		2+279	5.88	1.00	0.006	0.048
<i>Malinówka 3</i>		2+990	5.50	0.98	0.005	0.046

4. Wyniki analiz hydraulicznych pracy zbiorników na Serafie i Malinówce

W wyniku obliczeń hydraulicznych przejścia fal powodziowych przez poszczególne zbiorniki uzyskano krzywe przepływu i napełnienia dla fal o prawdopodobieństwach 1%, 0.5% i 0.2% otrzymanych dla czasu trwania opadu 2 godziny.

Tabela 7. Przepływy prawdopodobne na wlocie i wylocie zbiorników w wariantach W2ZOPO i W2ZPPO (przepływy w obecnych warunkach)

Czas opadu 2 godzin	Q _{1%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku	Q _{0.5%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku	Q _{0.2%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku
	wlot	wylot		wlot	wylot		wlot	wylot	
Wariant W2									
Zbiornik Serafa	15.7	13.4	218.86	23.7	22.4	219.30	46.7	46.2	220.18
Zbiornik Malinówka 3	6.3	2.8	234.61	14.0	6.3	236.40	25.4	17.4	237.18
Zbiornik Malinówka 2	4.17	2.31	227.64	7.27	5.04	228.72	20.42	16.93	229.69
Zbiornik Malinówka 1	4.9	2.1	214.03	7.5	2.5	215.26	19.9	11.7	216.28
Zbiornik Biezanów	18.3	8.4	208.53	30.3	9.5	209.44	59.3	59.0	210.04
Wariant W0									
Zbiornik Biezanów	30.38	11.96	209.31	52.37	47.28	210.03	97.38	92.17	210.39

Tabela 8. Przepływy prawdopodobne na wlocie i wylocie zbiorników w wariantach W2ZOPP i W2ZPPP (przepływy zwiększone na skutek uszczelnienia zlewni)

Czas opadu 2 godzin	Q _{1%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku	Q _{0.5%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku	Q _{0.2%} [m ³ /s]		Rzędna w zbiorniku
	wlot	wylot		wlot	wylot		wlot	wylot	
Wariant W2									
Zbiornik Serafa	22.8	20.9	219.24	35.2	31.60	219.96	57.50	56.8	220.40
Zbiornik Malinówka 3	6.90	2.82	234.80	14.42	6.66	236.48	25.73	17.72	237.40
Zbiornik Malinówka 2	4.63	2.39	227.84	7.80	5.66	228.77	21.10	17.67	229.82
Zbiornik Malinówka 1	5.66	2.15	214.28	8.35	2.59	215.35	21.18	12.85	216.30
Zbiornik Biezanów	27.19	9.18	209.27	38.86	33.7	210.04	73.18	71.0	210.06
Wariant W0									
Zbiornik Biezanów	40.60	17.75	210.01	60.74	49.15	210.05	111.48	105.98	210.60

5. Archiwalne analizy hydrologiczne

Po powodzi z 2010 roku powstało kilka opracowań, w których określano wielkości przepływów kulminacyjnych w charakterystycznych punktach zlewni. Ze względu na zmieniające się wymagania i wejście do obrotu prawnego *Rozporządzenia nr 4/2014 Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie z dnia 16 stycznia 2014 r. w sprawie warunków korzystania z wód regionu wodnego Górnej Wisły* autorzy opracowań posługiwali się różną metodyką. Przepływy historyczne określono w następujących opracowaniach:

1. Wykonanie analizy możliwości redukcji wód powodziowych na rzece Serafie na potrzeby realizacji inwestycji centrum sportowo – rekreacyjnego przy ul. Bogucickiej i Drożdżowej w Krakowie - PROJEKTECH Pracownia Projektowa.

2. Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa –MGGP.S.A.
3. Zasięg obszarów bezpośredniego i potencjalnego zagrożenia powodzią rzeki Wisły oraz jej dopływów: Dłubni, Prądnika, Rudawy, Serafy oraz Wilgi w granicach administracyjnych Krakowa – BCE BJORNSEN BERATENDE INGENIEURE.
4. Projekt regulacji rz. Serafy w km 6+330 – 6+653, f-ma AQUEDUCT – Wanda Adamska IMGW Oddział Kraków.
5. Obliczenia IMiGW Oddział w Krakowie 2011 r.
6. Program zwiększenia zabezpieczenia powodziowego w dolinie rzeki Serafy m. Kraków, gm. Kraków, pow. miasto Kraków, m. Brzegi, Kokotów, Wieliczka, gm. Wieliczka, pow. wielicki PPHU AdEko s.c.

Wielkości przepływu o prawdopodobieństwie 1% oszacowano w wielkości wskazanej w Tabeli 9. Zestawienie przepływów 1% zawartych w dokumentacjach archiwalnych i aktualnych obliczeniach. Tabelę uzupełniono o wyniki otrzymane w ramach niniejszej analizy w wariancie W0, tak aby umożliwić porównanie otrzymanych wartości dla takich samych założeń.

Tabela 9. Zestawienie przepływów 1% zawartych w dokumentacjach archiwalnych i aktualnych obliczeniach

Opracowanie źródłowe	Przepływ Q1% na podstawie archiwalnych analiz						Przepływ Q1% na podstawie obecnych analiz	
	1*	2	3	4	5	6	Obecna zabudowa	Zabudowa perspektywiczna
Pot. Malinówka	14.3/12.8	7.72	6.2			11.82	11.31	12.8
Pot. Serafa do Malinówki	32.2/23.4	10.59	7.7			16.08	18.04	25.5
Pot. Malinówka + Serafa		18.31	13.9			28.51	29.35	38.3
Serafa w przekroju zb. Biezanów	43.6/34	26.81	21.21	26.5	16.2	30.06	30.4	40.6
Ujście Serafy do Wisły		67.32	52.3			65.27	57.9	115.4
Czas formowania kulminacji fali	0.25/1.0 h	15h	12h		30h	10.75h	2h	2h
Metoda obliczania przepływów prawdopodobnych	Formuła opadowa	opad - odpływ	opad - odpływ	Formuła opadowa	Punzet Ritz - Krebs	Formuła opadowa Spechta	opad - odpływ CN-NRCS	opad - odpływ CN-NRCS

*W materiale źródłowym 1 analizowano wielkości przepływów dla dwu różnych czasów trwania opadu.

Istniejący zbiornik Biezanów został zaprojektowany i zbudowany na podstawie przyjętych przepływów w opracowaniu nr 6. „Program zwiększenia zabezpieczenia powodziowego w dolinie rzeki Serafy m. Kraków, gm. Kraków, pow. miasto Kraków, m. Brzegi, Kokotów, Wieliczka, gm. Wieliczka, pow. wielicki PPHU AdEko s.c.”. Należy zauważyć, że pomimo zastosowania odmiennej metodyki otrzymane wartości przepływów są bardzo zbliżone pomimo znacznej różnicy przyjętego

czasu formowania kulminacji fali powodziowej. Czas ten ma istotne znaczenie dla wielkości kulminacji i objętości fali powodziowej. Przyjęty dłuższy czas trwania opadu wiąże się z niższą wielkością kulminacji przepływu i większą objętością fali powodziowej.

Porównując wielkości przepływu w poszczególnych punktach węzłowych należy zauważyć, że obecnie przeprowadzone obliczenia dla obecnego stanu zabudowy wykazują bardzo dużą zgodność z wynikami obliczeń dla opracowania archiwalnego nr 6.

Z punktu widzenia przewidywanego zwiększenia zabudowy zlewni w kolejnych latach zauważalny jest wzrost przepływów kulminacyjnych od 20% do prawie 100% w przekroju ujściowym Serafy do Wisły.

6. Obecna sytuacja zagrożenia powodziowego na odcinku rzeki Serafy od km 4+200 do km 4+930

Zgodnie z mapami zagrożenia powodziowego oraz obliczeniami hydraulicznymi wykonanymi w 2019 roku na potrzeby projektowania zbiorników Malinówka 1, Malinówka 2, Malinówka 3 i Serafa 2 w wariantcie z istniejącym zbiornikiem Bieżanów, zagrożenie powodziowe pomiędzy km 4+200 do km 4+930 rzeki Serafy występowało jedynie dla wezbrań o częstotliwości wystąpienia raz na 500 lat w rejonie osiedla Słoneczne Miasteczko. Natomiast nie występowało zagrożenie powodziowe na terenie osiedla Złocień i domów jednorodzinnych przy ul. Feliksa Jasieńskiego.



Rysunek 34. Zagrożenie powodziowe poniżej zb. Bieżanów dla wezbrań o częstotliwości raz na 500 lat



Rysunek 35. Zagrożenie powodziowe poniżej zb. Bieżanów dla wezbrań o częstotliwości raz na 500 lat pomiędzy km 4+200 a km 4+930 rzeki Serafy.

Wezbranie, które miało miejsce w maju 2019 roku spowodowało zalania obszarów w Bieżanowie Starym. Na terenie osiedla Złocien występowały podtopienia części podziemnych budynków, przy czym nie było to związane z wodami powodziowymi z Serafy ale z trudnościami z odprowadzeniem nadmiaru wód opadowych i gruntowych przy podniesionym ich poziomie. Tereny znajdujące się na północ od linii kolejowej to szeroka dolina rzeki Wisły ze spadkiem terenu w kierunku północnym. Takie ukształtowanie terenu powoduje, że wody powodziowe z Serafy występują z koryta rzeki i wylewają się na lewy brzeg, odpływają ze spadkiem terenu na północ w kierunku Wisły, nie wracając już do koryta Serafy.

Wezbranie z sierpnia 2021 roku spowodowało natomiast znaczne zalania na terenie Starego Bieżanowa i na prawym brzegu rzeki Serafy obejmując zabudowania przy ul. Feliksa Jasieńskiego. Na prawym brzegu rzeki Serafy w tym rejonie nigdy nie dochodziło do podtopień (nie występowało takie zjawisko), a poprzednie modelowania hydrauliczne jak i Mapy Zagrożenia Powodziowego potwierdzały, że teren ten jest bezpieczny ze względu na przelewanie się wód powodziowych na północ w kierunku doliny Wisły przez niezagospodarowane tereny pomiędzy osiedlem Złocien a nasypem drogi S7.

Na tym terenie w ciągu ostatnich 5 lat zgodnie z zapisami MPZP powstało osiedle Słoneczne Miasteczko wybudowane przez dewelopera Develia. Inwestor osiedla znając problemy sąsiedniego

osiedla Złocień i obserwując wzrastające zagrożenie Starego Bieżanowa, zgodnie z pozwoleniem na budowę wykonał od strony rzeki Serafy ogrodzenie. Nie było by w tym nic nadzwyczajnego, gdyby nie jego nietypowa konstrukcja. Ogrodzenie zostało wykonane na betonowym fundamencie o wysokości do 80 cm ponad przyległym terenem z dodatkowym podparciem niewielkim nasypem ziemnym. Powstał w ten sposób niewysoki mur bulwarowy chroniący osiedle przed zalaniem wodami powodziowymi Serafy. Inwentaryzacja geodezyjna terenu i śladów powodzi z sierpnia 2021 roku wykazały, że poziom wody w korycie Serafy osiągnął rzędną porównywalną z koroną muru bulwarowego. W miejscach, gdzie korona muru była najniższa podczas wezbrania z 2021 r. zdemontowano ogrodzenia panelowe i ułożono worki z piaskiem. Zgodnie z relacjami mieszkańców nie doszło do przelania wód powodziowych z Serafy na teren osiedla, a wystąpiły jedynie lokalne zalania-podtopienia terenu, które wynikały z wypływów wód deszczowych z kanalizacji opadowej. Odpływ wody z kanalizacji odbywa się poprzez pompownię z wylotem skierowanym do rzeki Serafy.

W tej sytuacji to wielkość opadu (podawana jako najwyższa zanotowana w Krakowie od czasu prowadzenia obserwacji, czyli 160 lat), przekroczyła wydolność układu pompowego przerzucającego wody deszczowe z osiedla do rzeki Serafy.

Na prawym brzegu rzeki na ogrodzeniach wokół nieruchomości przy ul. Feliksa Jasieńskiego woda zostawiła ślady które pozwoliły określić jej maksymalną rzędną. Poziom wody na prawym brzegu był o ok. 60 cm wyższy od rzędnej przyległego terenu i był niemal równy koronie murów bulwarowych na lewym brzegu.



Rysunek 36. Fundament ogrodzenia od strony osiedla Słoneczne Miasteczko przy ul. Henryka i Karola Czczów



Rysunek 37. Fundament ogrodzenia od strony osiedla Słoneczne Miasteczko przy ul. Henryka i Karola Czaczków



Rysunek 38. Fundament ogrodzenia od strony osiedla Słoneczne Miasteczko od strony lewego brzegu rzeki Serafy



Rysunek 39. Zabudowa jednorodzinna na prawym brzegu rzeki Serafy – naprzeciw osiedla Słoneczne Miasteczko



Rysunek 40. Ślady wody wezbraniowej na ogrodzeniu na wysokości 60 cm ponad terenem nieruchomości przy ul. Feliksa Jasieńskiego nr 29 od strony rzeki Serafie po powodzi z 06.08.2021

W celu sprawdzenia wpływu wykonanego ogrodzenia na lewym brzegu wzdłuż osiedla o konstrukcji muru bulwarowego wykonano obliczenia hydrauliczne koryta rzeki Serafy w trzech wariantach:

Wariant 1 – Stan zagospodarowania do czasu budowy osiedla – bez ogrodzenia z murem bulwarowym.

Wariant 2 – istniejący stan zagospodarowania wraz z istniejącym murem bulwarowym na lewym brzegu.

Wariant 3 – stan istniejący z dodatkowym murem na prawym brzegu w celu ochrony terenów na prawym brzegu wzdłuż ul. Feliksa Jasieńskiego.



Rysunek 41. Analizowane zagospodarowanie w wariantcie 1 – odpowiadające sytuacji w 2018 roku



Rysunek 42. Analizowane zagospodarowanie w wariancie 2 z wykonanym murem bulwarowym na lewym brzegu



Rysunek 43. Analizowane zagospodarowanie w wariancie 3 z wykonanymi murami bulwarowymi na lewym i prawym brzegu

Modelowaniem objęto odcinek od km 4+200 do km 4+930. Ze względu na przyjęte założenie braku transformacji fali powodziowej na tak krótkim odcinku obliczenia prowadzono jak dla ruchu wolnozmennego ustalonego.

Analizowano napełnienia w korycie rzeki Serafy przy przepływach:

- 47 m³/s – przepływ o prawdopodobieństwie 0,5% (raz na 200 lat) określony dla obecnego stanu zabudowy z istniejącym zbiornikiem Bieżanów;
- 22 m³/s – prawdopodobny zrzut ze zbiornika Bieżanów w dniu 6.08.2021 (ostatnie wezbranie) powiększony o zrzuty z kanalizacji opadowej miejskiej;
- 17.8 m³/s - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżanów;
- 12 m³/s - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) określony dla obecnego stanu zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżanów;
- 10 m³/s - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżanów, oraz projektowanymi zb. Malinówka 1, 2, 3 i Serafa 2;
- Oraz przepływy 5 m³/s i 2 m³/s pozwalające ustalić przepustowość koryta naturalnego dla niższych przepływów.

W poniższych tabelach zestawiono wyniki obliczeń hydraulicznych pokazujące wpływ wykonanego ogrodzenia (muru bulwarowego) chroniącego osiedle na lewym brzegu Serafy w wariantcie 2, oraz w wariantcie 3 dla założonego dodatkowego muru bulwarowego wzdłuż koryta rzeki Serafy pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750 (do przyczółku mostu w km 4+830). Zadaniem dodatkowego muru na brzegu prawym w wariantcie 3 jest ochrona terenów zabudowy na prawym brzegu Serafy wzdłuż ul. Feliksa Jasieńskiego.

Przyjęto, że rzędne korony obu murów będą takie same ze względu na konieczność utrzymania takiego samego poziomu zabezpieczenia przeciwpowodziowego na obu brzegach rzeki Serafy. Ewentualna budowa nowego muru na prawym brzegu lub rozbudowa muru na brzegu lewym nie może powodować zwiększenia zagrożenia powodziowego na przeciwnym brzegu.

Tabela 10 Rzędne zwierciadła wody dla przepływu 47 m³/s (przepływ o prawdopodobieństwie 0,5% (raz na 200 lat) określony dla obecnego stanu zabudowy z istniejącym zbiornikiem Bieżanów)

		Wariant 1	Wariant 2		Wariant 3		Podniesienie zwierciadła wody na skutek działań technicznych w stosunku do wariantu 1	
Kilometr rzeki Serafy	Rzędna dna	Rzędna wody	Rzędna Wody	Rzędna muru bulwarowego na lewym brzegu	Rzędna Wody	Rzędna korony muru na prawym i lewym brzegu	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 2	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 3
	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m]	[m]
4935	200.58	203.02	203.02		203.02			
4929	200.53	203.30	203.30		203.30			
4923	200.49	203.29	203.29		203.29			
4917	200.45	202.54	202.54		202.54			
4912	200.45	202.14	202.14		202.14			
4907	200.45	202.51	202.51		202.51			
4889	200.32	202.53	202.53		202.53			
4861	200.20	202.39	202.39		202.39			
4830	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego							
4818	199.90	201.82	201.82	201.86	201.82	201.86		
4809	199.90	202.23	202.23	202.18	202.23	202.18		
4782	199.80	202.22	202.22	202.12	202.22	202.12		
4755	199.71	202.20	202.20	202.11	202.20	202.11		
4728	199.62	202.18	202.18	201.94	202.18	201.94		
4702	199.52	202.14	202.14	201.89	202.14	201.89		
4675	199.43	202.11	202.11	201.84	202.11	201.84		
4648	199.33	202.08	202.08	201.79	202.08	201.79		
4621	199.24	202.04	202.04	201.74	202.04	201.74		
4594	199.14	201.99	201.99	201.69	201.99	201.69		
4567	199.05	201.81	201.82	201.64	201.81	201.64	0.01	
4539	198.99	201.47	201.61	201.59	201.61	201.59	0.14	0.14
4511	198.93	201.25	201.57	201.54	201.54	201.54	0.32	0.29
4482	198.86	201.00	201.58	201.50	201.50	201.50	0.58	0.50
4454	198.80	200.80	201.57	201.45	201.46	201.45	0.77	0.66
4426	198.74	200.60	201.57	201.40	201.46	201.40	0.97	0.86
4397	198.68	200.58	201.57	201.40	201.46	201.40	0.99	0.88
4369	198.62	200.56	201.28	201.40	201.46	201.40	0.72	0.90
4341	198.56	200.55	201.27	201.26	201.46	201.26	0.72	0.91
4312	198.50	200.54	201.27	201.26	201.46	201.26	0.73	0.92
4284	198.44	200.54	201.27	201.26	201.45	201.26	0.73	0.91
4254	198.48	200.54	201.27	201.26	201.45	201.26	0.73	0.91
4225	198.51	200.54	201.04	201.26	201.00	201.26	0.50	0.46

Tabela 11 Rzędne zwierciadła wody dla przepływu 22 m³/s (prawdopodobny zrzut ze zbiornika Bieżanów w dniu 6.08.2021)

Kilometr rzeki Serafy	Rzędna dna	Wariant 1	Wariant 2		Wariant 3		Podniesienie zwierciadła wody na skutek działań technicznych w stosunku do wariantu 1	
		Rzędna wody	Rzędna Wody	Rzędna muru bulwarowego na lewym brzegu	Rzędna Wody	Rzędna korony muru na prawym i lewym brzegu	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 2	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 3
	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m]	[m]
4935	200.58	202.24	202.24		202.24			
4929	200.53	201.89	201.89		201.89			
4923	200.49	201.64	201.64		201.64			
4917	200.45	201.43	201.43		201.43			
4912	200.45	201.40	201.40		201.40			
4907	200.45	201.36	202.08		202.09		0.72	0.73
4889	200.32	201.95	202.08		202.09		0.13	0.14
4861	200.20	201.91	202.05		202.06		0.14	0.15
4830	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego							
4818	199.90	201.88	202.03	201.86	202.04	201.86	0.15	0.16
4809	199.90	201.95	201.97	202.18	201.99	202.18	0.02	0.04
4782	199.80	201.92	201.93	202.12	201.94	202.12	0.01	0.02
4755	199.71	201.91	201.89	202.11	201.91	202.11		
4728	199.62	201.88	201.85	201.94	201.87	201.94		
4702	199.52	201.85	201.81	201.89	201.92	201.89		0.07
4675	199.43	201.84	201.76	201.84	201.77	201.84		
4648	199.33	201.82	201.81	201.79	201.71	201.79		
4621	199.24	201.80	201.78	201.74	201.75	201.74		
4594	199.14	201.78	201.76	201.69	201.72	201.69		
4567	199.05	201.22	201.72	201.64	201.66	201.64	0.50	0.44
4539	198.99	201.32	201.31	201.59	201.69	201.59		0.37
4511	198.93	201.00	201.57	201.54	201.28	201.54	0.57	0.28
4482	198.86	200.81	201.29	201.50	201.52	201.50	0.48	0.71
4454	198.80	200.61	201.22	201.45	201.29	201.45	0.61	0.68
4426	198.74	200.41	201.16	201.40	201.23	201.40	0.75	0.82
4397	198.68	200.39	201.10	201.40	201.15	201.40	0.71	0.76
4369	198.62	200.39	201.06	201.40	201.09	201.40	0.67	0.70
4341	198.56	200.39	201.03	201.26	201.02	201.26	0.64	0.63
4312	198.50	200.38	201.01	201.26	200.97	201.26	0.63	0.59
4284	198.44	200.38	201.00	201.26	200.95	201.26	0.62	0.57
4254	198.48	200.38	200.54	201.26	200.54	201.26	0.16	0.16
4225	198.51	200.38	200.27	201.26	200.27	201.26		

Tabela 12 Rzędne zwierciadła wody dla przepływu 17.8 m³/s (przepływ o prawdopodobieństwie 1% określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżanów)

		Wariant 1	Wariant 2		Wariant 3		Podniesienie zwierciadła wody na skutek działań technicznych w stosunku do wariantu 1	
Kilometr rzeki Serafy	Rzędna dna	Rzędna wody	Rzędna Wody	Rzędna muru bulwarowego na lewym brzegu	Rzędna Wody	Rzędna korony muru na prawym i lewym brzegu	Podniesienie zwierciadła wody w wariantie 2	Podniesienie zwierciadła wody w wariantie 3
	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m]	[m]
4935	200.58	201.99	201.99		201.99			
4929	200.53	201.71	201.71		201.71			
4923	200.49	201.48	201.48		201.48			
4917	200.45	201.30	201.30		201.30			
4912	200.45	201.29	201.94		201.95		0.65	0.66
4907	200.45	201.27	201.97		201.98		0.70	0.71
4889	200.32	201.83	201.97		201.98		0.14	0.15
4861	200.20	201.80	201.95		201.96		0.15	0.16
4830	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego							
4818	199.90	201.77	201.93	201.86	201.94	201.86	0.16	0.17
4809	199.90	201.82	201.89	202.18	201.90	202.18	0.07	0.08
4782	199.80	201.80	201.85	202.12	201.87	202.12	0.05	0.07
4755	199.71	201.78	201.83	202.11	201.84	202.11	0.05	0.06
4728	199.62	201.74	201.80	201.94	201.81	201.94	0.06	0.07
4702	199.52	201.70	201.76	201.89	201.78	201.89	0.06	0.08
4675	199.43	201.67	201.73	201.84	201.75	201.84	0.06	0.08
4648	199.33	201.64	201.69	201.79	201.72	201.79	0.05	0.08
4621	199.24	201.59	201.65	201.74	201.68	201.74	0.06	0.09
4594	199.14	201.51	201.57	201.69	201.60	201.69	0.06	0.09
4567	199.05	201.25	201.43	201.64	201.43	201.64	0.18	0.18
4539	198.99	201.00	201.35	201.59	201.36	201.59	0.35	0.36
4511	198.93	201.06	201.27	201.54	201.28	201.54	0.21	0.22
4482	198.86	200.77	201.17	201.50	201.21	201.50	0.40	0.44
4454	198.80	200.57	201.12	201.45	201.14	201.45	0.55	0.57
4426	198.74	200.37	201.05	201.40	201.07	201.40	0.68	0.70
4397	198.68	200.27	200.97	201.40	200.99	201.40	0.70	0.82
4369	198.62	200.23	200.90	201.40	200.92	201.40	0.67	0.69
4341	198.56	200.23	200.84	201.26	200.84	201.26	0.61	0.61
4312	198.50	200.22	200.81	201.26	200.68	201.26	0.59	0.46
4284	198.44	200.22	200.58	201.26	200.57	201.26	0.36	0.35
4254	198.48	200.22	200.43	201.26	200.43	201.26	0.21	0.21
4225	198.51	200.22	200.05	201.26	200.05	201.26		

Tabela 13 Rzędne zwierciadła wody dla przepływu 12 m³/s (przepływ o prawdopodobieństwie 1% określony dla obecnego stanu zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżanów)

		Wariant 1	Wariant 2		Wariant 3		Podniesienie zwierciadła wody na skutek działań technicznych w stosunku do wariantu 1	
Kilometr rzeki Serafy	Rzędna dna	Rzędna wody	Rzędna Wody	Rzędna muru bulwarowego na lewym brzegu	Rzędna Wody	Rzędna korony muru na prawym i lewym brzegu	Podniesienie zwierciadła wody w wariantie 2	Podniesienie zwierciadła wody w wariantie 3
	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m]	[m]
4935	200.58	201.66	201.66		201.66			
4929	200.53	201.43	201.43		201.43			
4923	200.49	201.24	201.24		201.24			
4917	200.45	201.09	201.09		201.09			
4912	200.45	201.12	201.61		201.61		0.49	0.49
4907	200.45	201.58	201.63		201.63		0.05	0.05
4889	200.32	201.57	201.63		201.63		0.06	0.06
4861	200.20	201.55	201.60		201.60		0.05	0.05
4830	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego							
4818	199.90	201.52	201.59	202.18	201.59	202.18	0.07	0.07
4809	199.90	201.54	201.54	202.18	201.54	202.18		
4782	199.80	201.51	201.51	202.12	201.51	202.12		
4755	199.71	201.46	201.48	202.11	201.48	202.11	0.02	0.02
4728	199.62	201.41	201.44	201.94	201.44	201.94	0.03	0.03
4702	199.52	201.37	201.41	201.89	201.41	201.89	0.04	0.04
4675	199.43	201.33	201.38	201.84	201.38	201.84	0.05	0.05
4648	199.33	201.29	201.34	201.79	201.34	201.79	0.05	0.05
4621	199.24	201.24	201.30	201.74	201.30	201.74	0.06	0.06
4594	199.14	201.17	201.24	201.69	201.24	201.69	0.07	0.07
4567	199.05	201.04	201.13	201.64	201.13	201.64	0.09	0.09
4539	198.99	200.95	201.07	201.59	201.07	201.59	0.12	0.12
4511	198.93	200.84	201.01	201.54	201.01	201.54	0.17	0.17
4482	198.86	200.92	200.94	201.50	200.94	201.50	0.02	0.02
4454	198.80	200.33	200.87	201.45	200.87	201.45	0.54	0.54
4426	198.74	200.33	200.79	201.40	200.79	201.40	0.46	0.46
4397	198.68	200.11	200.70	201.40	200.70	201.40	0.59	0.59
4369	198.62	200.11	200.59	201.40	200.59	201.40	0.48	0.48
4341	198.56	200.11	200.50	201.26	200.50	201.26	0.39	0.39
4312	198.50	200.10	200.40	201.26	200.40	201.26	0.30	0.30
4284	198.44	200.10	200.24	201.26	200.24	201.26	0.14	0.14
4254	198.48	200.10	200.07	201.26	200.07	201.26		
4225	198.51	200.10	199.88	201.26	199.88	201.26		

Tabela 14 Rzędne zwierciadła wody dla przepływu 10 m³/s (przepływ o prawdopodobieństwie 1% dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Bieżań, oraz projektowanymi zb. Malinówka 1, 2, 3 i Serafa 2)

Kilometr rzeki Serafy	Rzędna dna	Wariant 1	Wariant 2		Wariant 3		Podniesienie zwierciadła wody na skutek działań technicznych w stosunku do wariantu 1	
		Rzędna wody	Rzędna Wody	Rzędna muru bulwarowego na lewym brzegu	Rzędna Wody	Rzędna korony muru na prawym i lewym brzegu	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 2	Podniesienie zwierciadła wody w wariacie 3
	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m n.p.m.]	[m]	[m]
4935	200.58	201.54	201.54		201.54			
4929	200.53	201.33	201.33		201.33			
4923	200.49	201.15	201.15		201.15			
4917	200.45	201.02	201.02		201.02			
4912	200.45	201.06	201.47		201.47		0.41	0.41
4907	200.45	201.45	201.49		201.49		0.04	0.04
4889	200.32	201.45	201.48		201.48		0.03	0.03
4861	200.2	201.42	201.46		201.46		0.04	0.04
4830								
4818	199.90	201.40	201.44	202.18	201.44	202.18		
4809	199.90	201.40	201.39	202.18	201.39	202.18		
4782	199.80	201.35	201.36	202.12	201.36	202.12	0.01	0.01
4755	199.71	201.30	201.32	202.11	201.32	202.11	0.02	0.02
4728	199.62	201.26	201.29	201.94	201.29	201.94	0.03	0.03
4702	199.52	201.22	201.26	201.89	201.26	201.89	0.04	0.04
4675	199.43	201.18	201.22	201.84	201.22	201.84	0.04	0.04
4648	199.33	201.14	201.19	201.79	201.19	201.79	0.05	0.05
4621	199.24	201.10	201.15	201.74	201.15	201.74	0.05	0.05
4594	199.14	201.03	201.09	201.69	201.09	201.69	0.06	0.06
4567	199.05	200.93	201.00	201.64	201.00	201.64	0.07	0.07
4539	198.99	200.85	200.94	201.59	200.94	201.59	0.09	0.09
4511	198.93	200.75	200.88	201.54	200.88	201.54	0.13	0.13
4482	198.86	200.65	200.81	201.50	200.81	201.50	0.16	0.16
4454	198.80	200.28	200.74	201.45	200.74	201.45	0.46	0.46
4426	198.74	200.36	200.66	201.40	200.66	201.40	0.30	0.30
4397	198.68	200.08	200.57	201.40	200.57	201.40	0.49	0.49
4369	198.62	200.00	200.48	201.40	200.48	201.40	0.48	0.48
4341	198.56	199.93	200.40	201.26	200.40	201.26	0.47	0.47
4312	198.50	199.93	200.28	201.26	200.28	201.26	0.35	0.35
4284	198.44	199.93	200.11	201.26	200.11	201.26	0.18	0.18
4254	198.48	199.93	199.97	201.26	199.97	201.26	0.04	0.04
4225	198.51	199.93	199.68	201.26	199.68	201.26		

Zgodnie z wynikami obliczeń zestawionymi w tabeli 10 dla przepływu $47 \text{ m}^3/\text{s}$ wykonanie ogrodzenia spełniającego rolę muru bulwarowego powoduje zwiększenie poziomu wody nawet do 99 cm z tym, że na odcinku pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750 (miejsce, gdzie na prawym brzegu znajdują się zabudowania przy ul. Feliksa Jasieńskiego) zwiększenie to przeciętnie jest większe od 70 cm. Wykonanie muru bulwarowego dodatkowo na prawym brzegu (wariant 3) spowoduje zwiększenie poziomu wody w stosunku do sytuacji przed budową osiedla do maksymalnie 92 cm i przeciętne do ok. 80 cm.

Dla przepływu $22 \text{ m}^3/\text{s}$ zgodnie z wynikami zamieszczonymi w tabeli 11 zwiększenie poziomu wody po wykonaniu muru na lewym brzegu wynosi do 75 cm, po wykonaniu również muru prawostronnego do 82 cm.

Dla przepływu $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (przepływ o prawdopodobieństwie 1% określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Biezanów) maksymalne zwiększenie poziomu wody po wykonaniu muru na lewym brzegu wynosi do 70 cm, po wykonaniu również muru prawostronnego do 82 cm.

Dla przepływu $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (przepływ o prawdopodobieństwie 1% określony dla obecnego stanu zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Biezanów) maksymalne zwiększenie poziomu wody po wykonaniu muru na lewym brzegu jak i po wykonaniu muru na prawym brzegu wynosi do 59 cm.

Dla przepływu $10 \text{ m}^3/\text{s}$ maksymalne zwiększenie poziomu wody po wykonaniu muru na lewym brzegu jak i po wykonaniu muru na prawym brzegu wynosi do 49 cm.

Powyższe analizowane przepływy to przepływy o prawdopodobieństwach niższych niż od 1% (uwzględniające różne sytuacje obliczeniowe tj. stopień zabudowy zlewni i budowę lub nie 4 dodatkowych suchych zbiorników). Niezależnie od wariantu obliczeń należy stwierdzić, że budowa muru bulwarowego spowodowała podniesienie poziomu wody powodziowej o co najmniej 49 cm na odcinku pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750 (miejsce, gdzie na prawym brzegu znajdują się zabudowania przy ul. Feliksa Jasieńskiego).

Powyższe rozważania pozwalają na stwierdzenie wielkości wpływu wykonanego ogrodzenia na lewym brzegu rzeki Serafy na poziom wód powodziowych. Nie ukazują one jednak miejsc, gdzie w rzeczywistości występują zalania terenów poza korytem rzeki Serafy.

W poniższych tabelach zestawiono rzędne wód powodziowych w przekrojach obliczeniowych w porównaniu do rzędnych terenów przyległych na lewym i prawym brzegu. W tabelach w polach zaznaczonych na żółto wskazano przekroje obliczeniowe, gdzie przy konkretnych przepływach rzędna wody jest wyższa lub równa niż rzędna brzegów co powoduje zalewanie przyległych terenów.

Tabela 15 Porównanie rzędnych wód powodziowych z rzędnymi terenu na brzegach rzeki Serafy dla wariantu 1

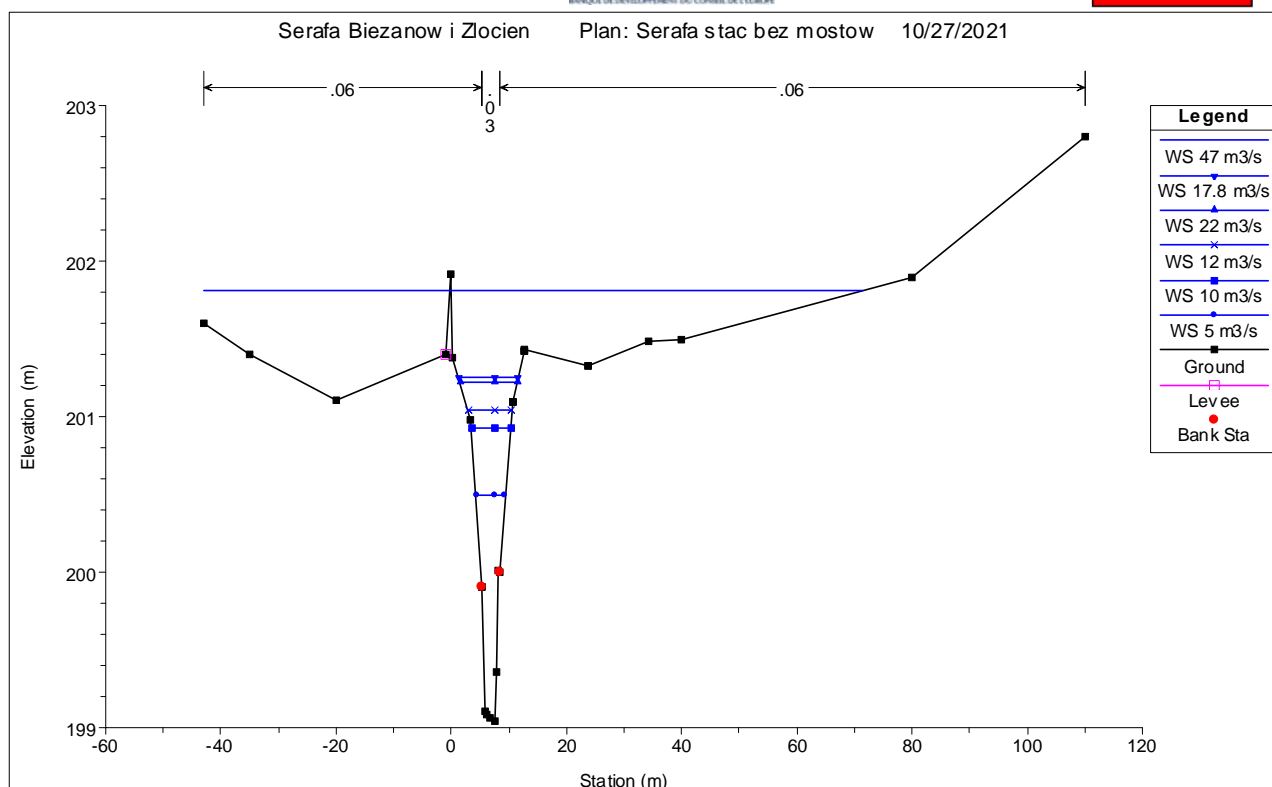
Kilometr rzeki Serafy	Rzędne brzegu lewego [m n.p.m.]	Rzędne brzegu prawego [m n.p.m.]	Rzędne wody przy przepływ. 47 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 22 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 17.8 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 12 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 10 m³/s
4935	203.37	203.90	203.02	202.24	201.99	201.66	201.54
4929	203.19	203.90	203.30	201.89	201.71	201.43	201.33
4923	202.98	203.90	203.29	201.64	201.48	201.24	201.15
4917	202.78	203.90	202.54	201.43	201.30	201.09	201.02
4912	202.30	203.90	202.14	201.40	201.29	201.12	201.06
4907	202.30	203.90	202.51	201.36	201.27	201.58	201.45
4889	202.30	203.90	202.53	201.95	201.83	201.57	201.45
4861	202.30	202.30	202.39	201.91	201.80	201.55	201.42
4830	202.30	202.30	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego				
4818	202.00	202.00	201.82	201.88	201.77	201.52	201.40
4809	202.09	202.00	202.23	201.95	201.82	201.54	201.40
4782	201.96	201.95	202.22	201.92	201.80	201.51	201.35
4755	201.92	201.88	202.20	201.91	201.78	201.46	201.30
4728	201.88	201.82	202.18	201.88	201.74	201.41	201.26
4702	201.73	201.75	202.14	201.85	201.70	201.37	201.22
4675	201.70	201.67	202.11	201.84	201.67	201.33	201.18
4648	201.64	201.62	202.08	201.82	201.64	201.29	201.14
4621	201.55	201.55	202.04	201.80	201.59	201.24	201.10
4594	201.46	201.49	201.99	201.78	201.51	201.17	201.03
4567	201.38	201.43	201.81	201.22	201.25	201.04	200.93
4539	201.29	201.32	201.47	201.32	201.00	200.95	200.85
4511	201.21	201.22	201.25	201.00	201.06	200.84	200.75
4482	201.13	201.12	201.00	200.81	200.77	200.92	200.65
4454	201.03	201.02	200.80	200.61	200.57	200.33	200.28
4426	200.94	200.92	200.60	200.41	200.37	200.33	200.36
4397	200.85	200.82	200.58	200.39	200.27	200.11	200.08
4369	200.76	200.72	200.56	200.39	200.23	200.11	200.00
4341	200.67	200.62	200.55	200.39	200.23	200.11	199.93
4312	200.54	200.51	200.54	200.38	200.22	200.10	199.93
4284	200.50	200.40	200.54	200.38	200.22	200.10	199.93
4254	200.48	200.54	200.54	200.38	200.22	200.10	199.93
4225	200.38	200.66	200.54	200.38	200.22	200.10	199.93

Tabela 16 Porównanie rzędnych wód powodziowych z rzędnymi terenu na brzegach rzeki Serafy dla wariantu 2

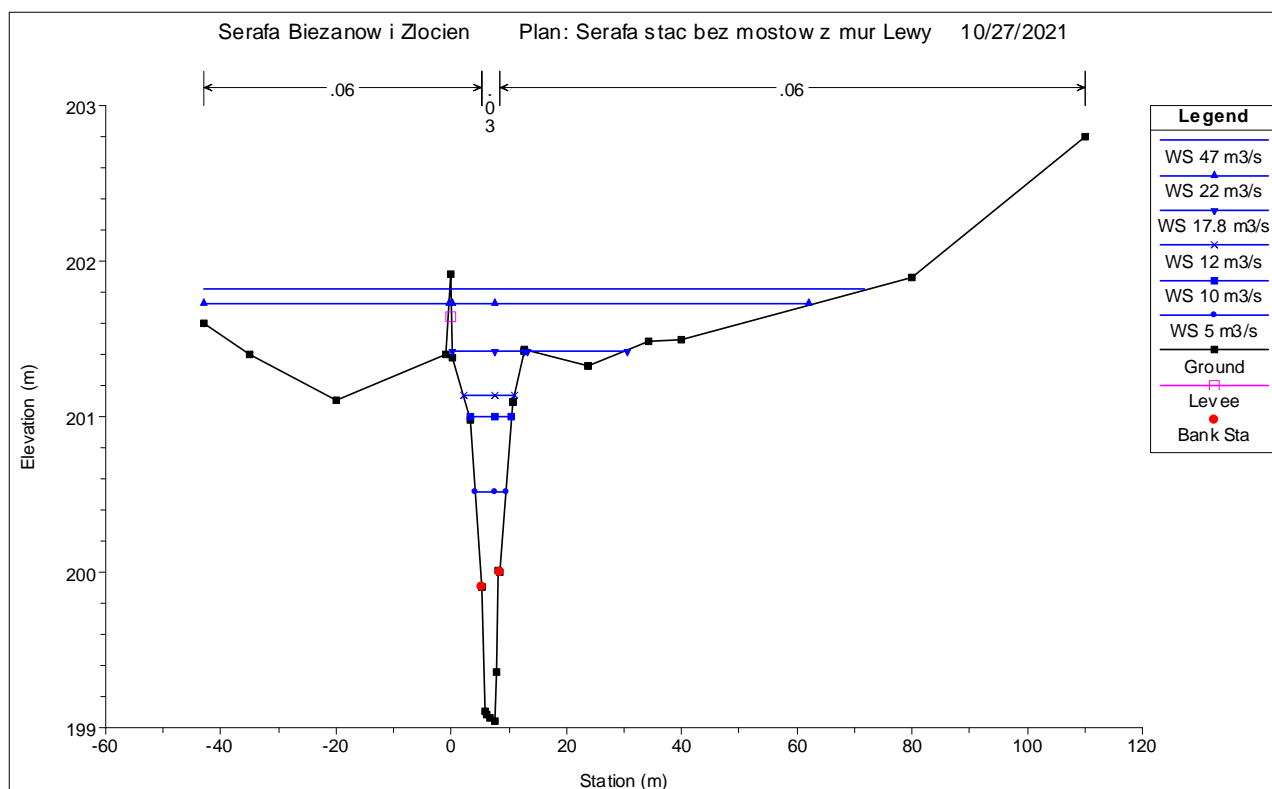
Kilometr rzeki Serafy	Rzędne brzegu lewego [m n.p.m.]	Rzędne brzegu prawego [m n.p.m.]	Rzędne wody przy przepływ. 47 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 22 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 17.8 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 12 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 10 m³/s
4935	203.37	203.90	203.02	202.24	201.99	201.66	201.54
4929	203.19	203.90	203.30	201.89	201.71	201.43	201.33
4923	202.98	203.90	203.29	201.64	201.48	201.24	201.15
4917	202.78	203.90	202.54	201.43	201.30	201.09	201.02
4912	202.30	203.90	202.14	201.40	201.94	201.61	201.47
4907	202.30	203.90	202.51	202.08	201.97	201.63	201.49
4889	202.30	203.90	202.53	202.08	201.97	201.63	201.48
4861	202.30	202.30	202.39	202.05	201.95	201.60	201.46
4830	202.30	202.30	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego				
4818	202.00	202.00	201.82	202.03	201.93	201.59	201.44
4809	202.18	202.00	202.23	201.97	201.89	201.54	201.39
4782	202.12	201.95	202.22	201.93	201.85	201.51	201.36
4755	202.11	201.88	202.20	201.89	201.83	201.48	201.32
4728	201.94	201.82	202.18	201.85	201.80	201.44	201.29
4702	201.89	201.75	202.14	201.81	201.76	201.41	201.26
4675	201.84	201.67	202.11	201.76	201.73	201.38	201.22
4648	201.79	201.62	202.08	201.81	201.69	201.34	201.19
4621	201.74	201.55	202.04	201.78	201.65	201.30	201.15
4594	201.69	201.49	201.99	201.76	201.57	201.24	201.09
4567	201.64	201.43	201.82	201.72	201.43	201.13	201.00
4539	201.59	201.32	201.61	201.64	201.35	201.07	200.94
4511	201.54	201.22	201.57	201.57	201.27	201.01	200.88
4482	201.50	201.12	201.58	201.29	201.17	200.94	200.81
4454	201.45	201.02	201.57	201.22	201.12	200.87	200.74
4426	201.40	200.92	201.57	201.16	201.05	200.79	200.66
4397	201.40	200.82	201.57	201.10	200.97	200.70	200.57
4369	201.40	200.72	201.28	201.06	200.90	200.59	200.48
4341	201.26	200.62	201.27	201.03	200.84	200.50	200.40
4312	201.26	200.51	201.27	201.01	200.81	200.40	200.28
4284	201.26	200.40	201.27	201.00	200.58	200.24	200.11
4254	201.26	200.54	201.27	200.54	200.43	200.07	199.97
4225	200.38	200.66	201.04	200.38	200.05	199.88	199.68

Tabela 17 Porównanie rzędnych wód powodziowych z rzędnymi terenu na brzegach rzeki Serafy dla wariantu 3

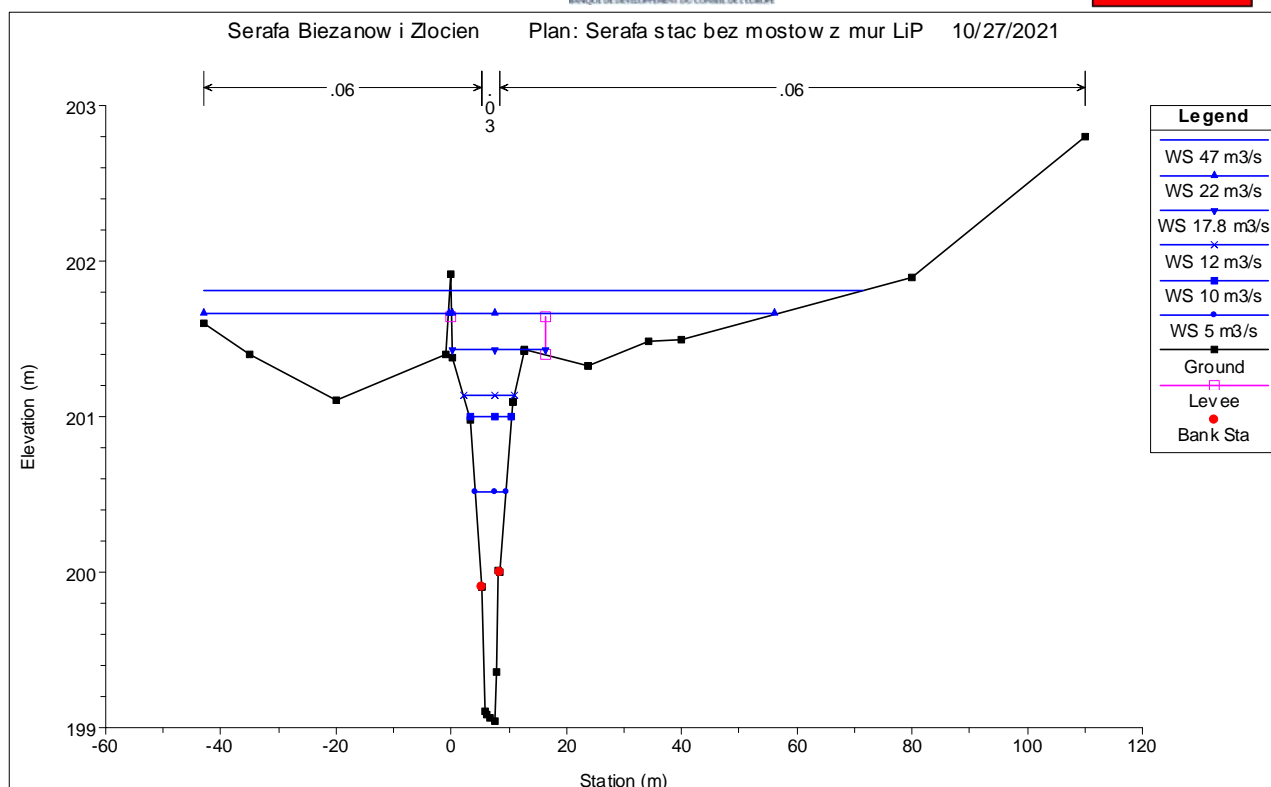
Kilometr rzeki Serafy	Rzędne brzegu lewego [m n.p.m.]	Rzędne brzegu prawego [m n.p.m.]	Rzędne wody przy przepływ. 47 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 22 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 17.8 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 12 m³/s	Rzędne wody przy przepływ. 10 m³/s
4935	203.37	203.9	203.02	202.24	201.99	201.66	201.54
4929	203.19	203.9	203.30	201.89	201.71	201.43	201.33
4923	202.98	203.9	203.29	201.64	201.48	201.24	201.15
4917	202.78	203.9	202.54	201.43	201.30	201.09	201.02
4912	202.3	203.9	202.14	201.40	201.95	201.61	201.47
4907	202.3	203.9	202.51	202.09	201.98	201.63	201.49
4889	202.3	203.9	202.53	202.09	201.98	201.63	201.48
4861	202.3	202.3	202.39	202.06	201.96	201.60	201.46
4830	202.3	202.3	Most w ciągu ulicy Feliksa Jasieńskiego				
4818	202.00	202	201.82	202.04	201.94	201.59	201.44
4809	202.18	202	202.23	201.99	201.90	201.54	201.39
4782	202.12	202.12	202.22	201.94	201.87	201.51	201.36
4755	202.11	202.11	202.20	201.91	201.84	201.48	201.32
4728	201.94	201.94	202.18	201.87	201.81	201.44	201.29
4702	201.89	201.89	202.14	201.92	201.78	201.41	201.26
4675	201.84	201.84	202.11	201.77	201.75	201.38	201.22
4648	201.79	201.79	202.08	201.71	201.72	201.34	201.19
4621	201.74	201.74	202.04	201.75	201.68	201.30	201.15
4594	201.69	201.69	201.99	201.72	201.60	201.24	201.09
4567	201.64	201.64	201.81	201.66	201.43	201.13	201.00
4539	201.59	201.59	201.61	201.69	201.36	201.07	200.94
4511	201.54	201.54	201.54	201.61	201.28	201.01	200.88
4482	201.50	201.50	201.50	201.52	201.21	200.94	200.81
4454	201.45	201.45	201.46	201.29	201.14	200.87	200.74
4426	201.40	201.40	201.46	201.23	201.07	200.79	200.66
4397	201.40	201.40	201.46	201.15	200.99	200.70	200.57
4369	201.40	201.40	201.46	201.09	200.92	200.59	200.48
4341	201.26	201.26	201.46	201.02	200.84	200.50	200.40
4312	201.26	200.51	201.46	200.97	200.68	200.40	200.28
4284	201.26	200.40	201.45	200.95	200.57	200.24	200.11
4254	201.26	200.54	201.45	200.54	200.43	200.07	199.97
4225	200.38	200.66	201.00	200.38	200.05	199.88	199.68



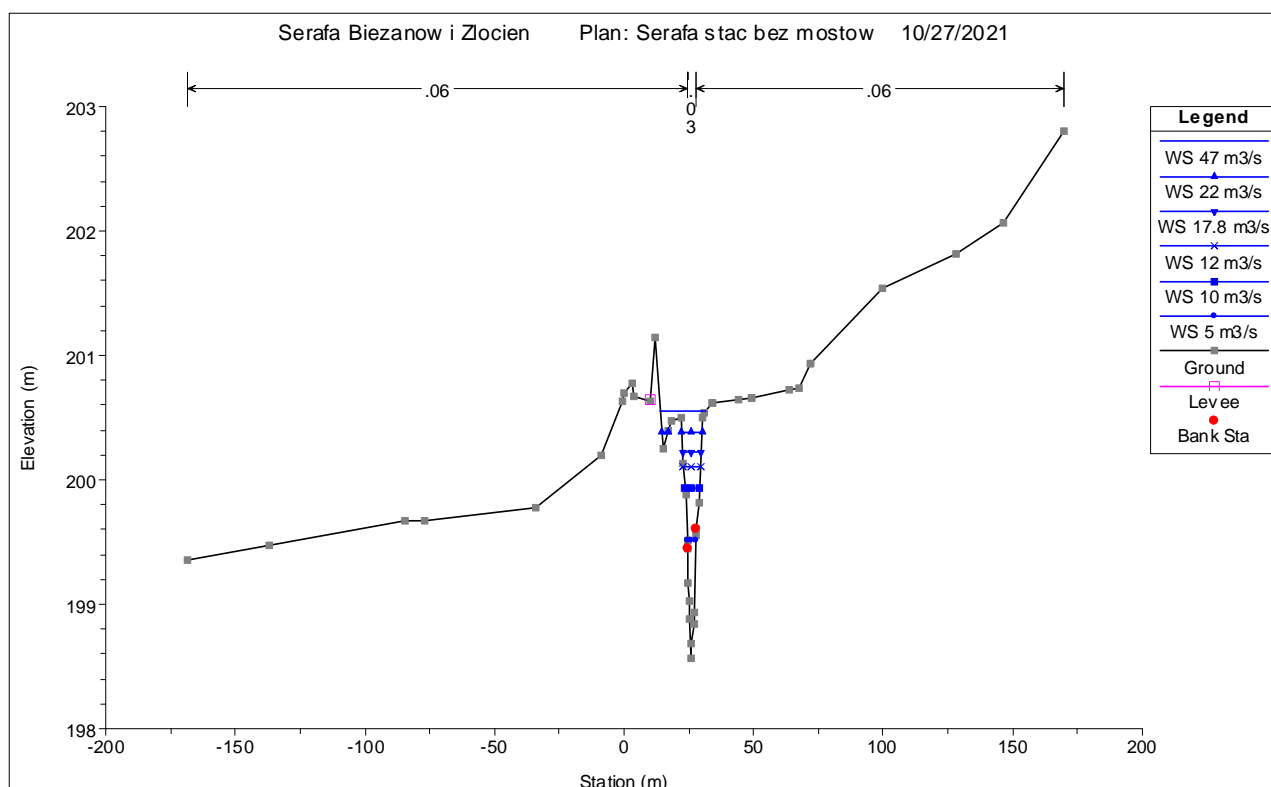
Rysunek 44. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+567 w wariancie 1 – odpowiadające sytuacji w 2018 roku



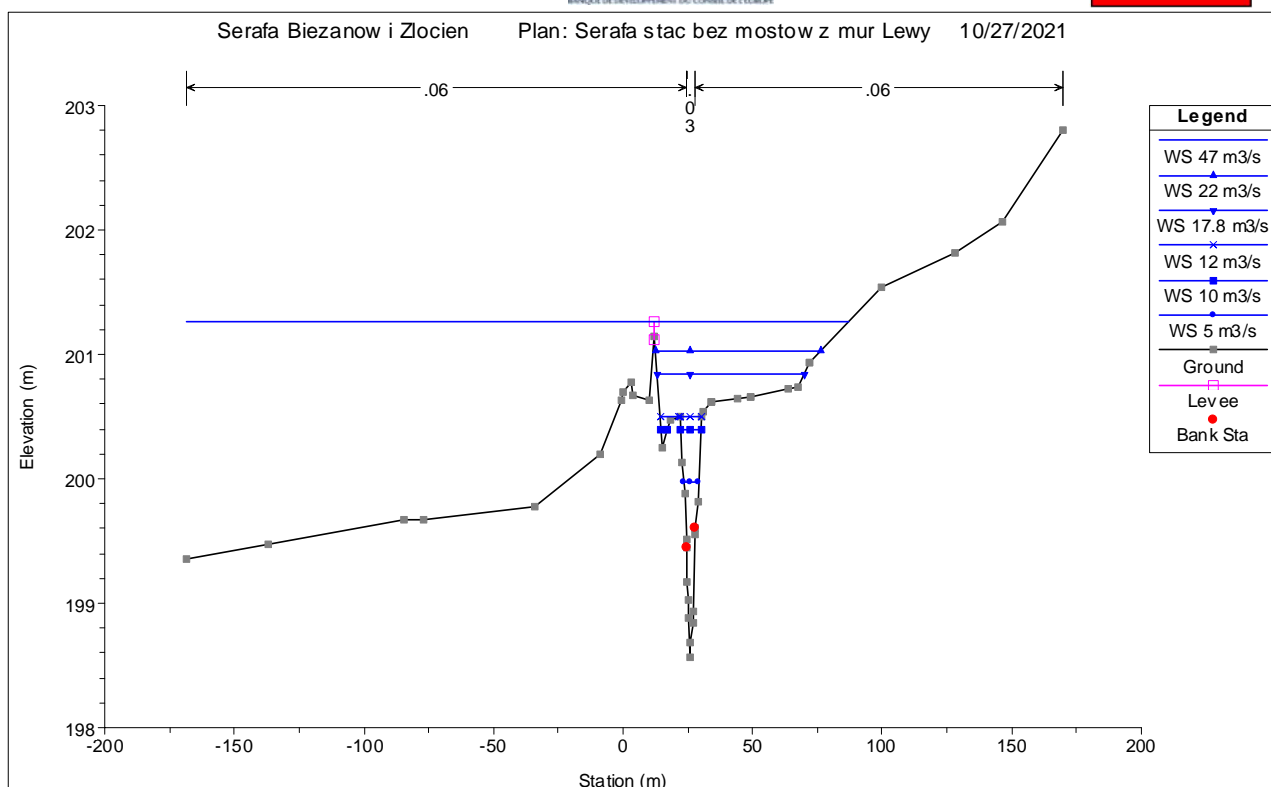
Rysunek 45. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+567 w wariancie 2 z wykonanym murem bulwarowym na lewym brzegu



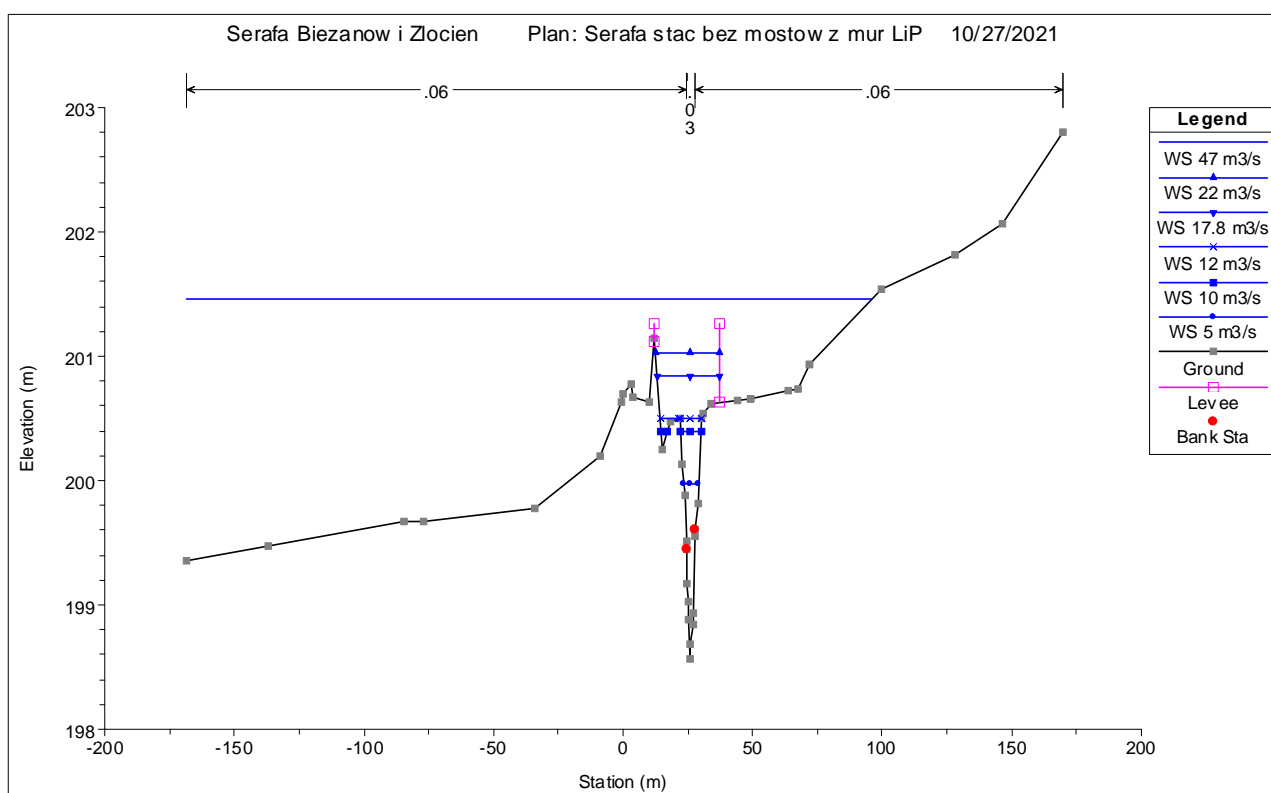
Rysunek 46. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+567 w wariancie 3 z wykonanymi murami bulwarowymi na lewym i prawym brzegu



Rysunek 47. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+341 w wariancie 1 – odpowiadające sytuacji w 2018 roku



Rysunek 48. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+341 w wariancie 2 z wykonanym murem bulwarowym na lewym brzegu



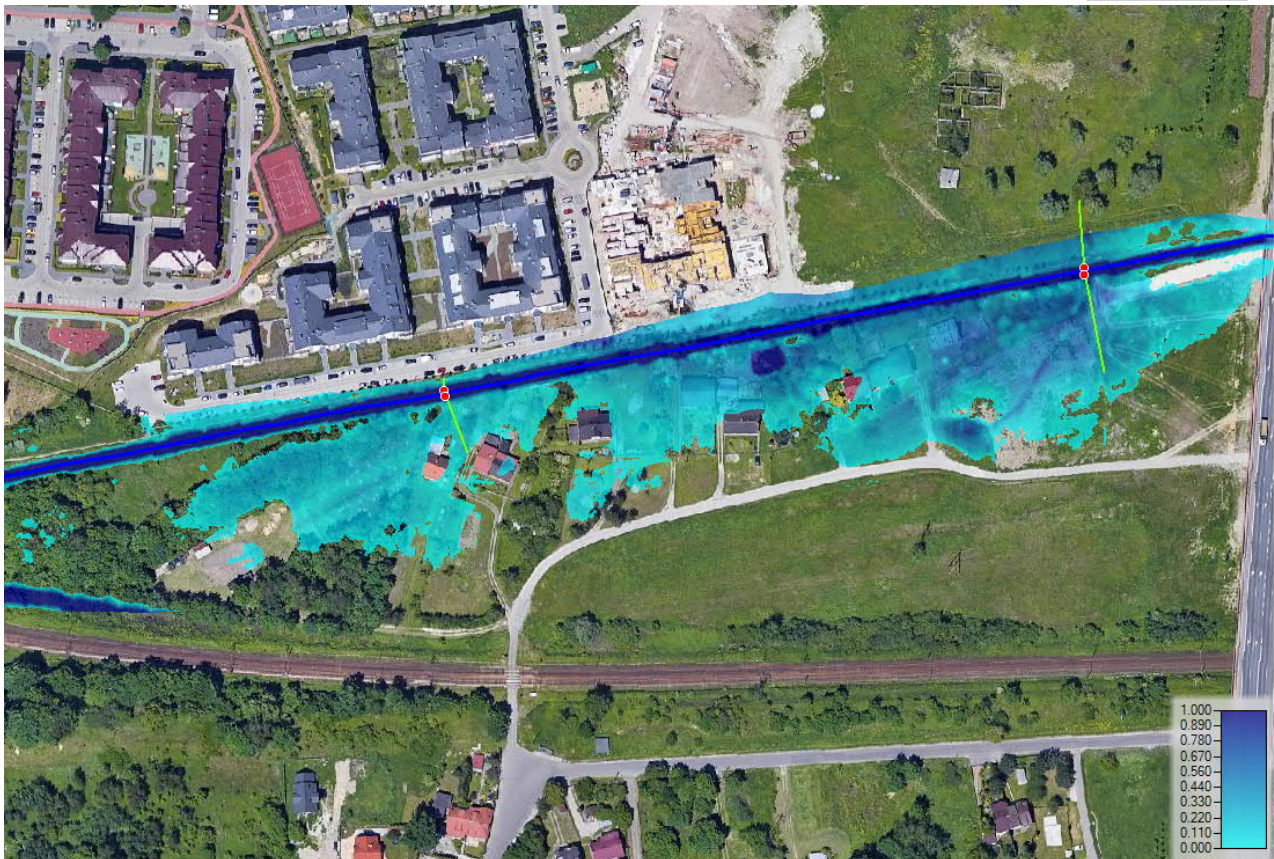
Rysunek 49. Rzędne wód powodziowych w przekroju 4+341 w wariancie 3 z wykonanymi murami bulwarowymi na lewym i prawym brzegu



Rysunek 50. Obszary zagrożone zlanie w wariancie 2 z wykonanym murem bulwarowym na lewym brzegu przy przepływie $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$



Rysunek 51. Obszary zagrożone zlanie w wariancie 3 z wykonanymi murami bulwarowymi na lewym i prawym brzegu przy przepływie $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$



Rysunek 52. Strefa zalewu w wariancie 2 z wykonanym murem bulwarowym na lewym brzegu przy przepływie $22 \text{ m}^3/\text{s}$ – prawdopodobny stan zalania z 6.08.2021

Dla wariantu 1 czyli sytuacji gdzie wzdłuż rzeki Serafy pomiędzy linią kolejową a wiaduktem trasy S7 nie wykonywano by żadnych obiektów o charakterze przeciwpowodziowym z obliczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla przepływu o prawdopodobieństwie 1% w obecnych warunkach zabudowy zlewni ($12 \text{ m}^3/\text{s}$) nie doszło by do zatopienia terenów przyległych,
- Dla przepływu $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Biezanów, ale bez budowy pozostałych suchych zbiorników w kaskadzie, podtopienia wystąpiły by na krótkim odcinku ok 60 m pomiędzy kilometrami od 4+594 do 4+648. Wielkość warstwy wody ponad brzegami wynosiła by maksymalnie 5 cm. Należy zaznaczyć, że po wybudowaniu pozostałych 4 suchych zbiorników kaskady przepływ $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ zostałby zredukowany do wartości $10 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Dla przepływu $22 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli szacowanego zrzutu ze zbiornika Biezanów w dniu 6.08.2021r. podtopienia pojawiły by się na odcinku pomiędzy km 4+594 a km 4+755 na długości ok 160 m i wynosiły by maksymalnie ok 25 cm w km 4+621 czyli w okolicy budynku nr 26 na lewym brzegu przy ul. Henryka i Karola Czechów i budynków nr 19 i 19a na prawym brzegu przy ul. Feliksa Jasieńskiego,
- Dla przepływu $47 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli przepływu raz na 200 lat zalane zostały by tereny pomiędzy km 4+511 a km 4+907 na długości prawie 400 m o wysokości warstwy wody do 50 cm. Niewielkie podtopienia wystąpiły by również poniżej km 4+312 warstwą wody do 6 cm.

Dla wariantu 2 czyli sytuacji obecnej gdzie na lewym brzegu rzeki Serafy wykonano ogrodzenie na murze bulwarowym z obliczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla przepływu o prawdopodobieństwie 1% w obecnych warunkach zabudowy zlewni ($12 \text{ m}^3/\text{s}$) nie doszło by do zatopienia terenów przyległych,
- Dla przepływu $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Biezanów, ale bez budowy pozostałych suchych zbiorników w kaskadzie, podtopienia wystąpiły by tylko na prawym brzegu na odcinku ok 420 m pomiędzy kilometrami od 4+284 do 4+702. Wielkość warstwy wody ponad brzegami wynosiła by maksymalnie 30 cm w km 4+312 (okolice budynku nr 29 przy ul. Feliksa Jasieńskiego) a średnio 11 cm. Tereny na lewym brzegu chronione murem bulwarowym pod ogrodzeniem nie byłby zagrożony zalaniem,
- Dla przepływu $22 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli szacowanego zrzutu ze zbiornika Biezanów w dniu 6.08.2021 podtopienia pojawiły by się na prawym brzegu na odcinku pomiędzy km 4+254 a km 4+755 na długości ok 500 m i wynosiły by maksymalnie ok 60 cm (okolice budynku nr 29 przy ul. Feliksa Jasieńskiego) a średnio 25 cm. Na lewym brzegu stwierdzono, że zagrożenie przelaniem wystąpiło by pomiędzy km 4+511 a km 4+648 w wielkości maksymalnej 8 cm a średnio 5 cm. Wizja lokalna po powodzi wskazała, że na tym odcinku ułożono worki z piaskiem na murze po zdjęciu paneli ogrodzeniowych co zapobiegło przelaniu się wody na lewy brzeg w teren osiedla Słonecznego. Pomiar rzędnej śladów wody na prawym brzegu w okolicy km 4+480 wykazał rzędną 201.26 m n.p.m. co potwierdza orientacyjny szacunek wielkości przepływu na tym odcinku na $22 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Dla przepływu $47 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli przepływu raz na 200 lat zalane zostały by tereny pomiędzy km 4+225 a km 4+929 na długości prawie 700 m o wysokości warstwy wody do 87 cm a średnio byłoby to 49 cm na prawym brzegu, natomiast na lewym brzegu byłoby to maksymalnie do wysokości 30 cm a średnio 12 cm ponad murem bulwarowym.

Dla wariantu 3 czyli sytuacji gdzie dla osiągnięcia tego samego poziomu zabezpieczenia przeciwpowodziowego na prawym brzegu rzeki Serafy wykonano by mur bulwarowy pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750 o rzędnej równej z istniejącym murem na lewym brzegu, z obliczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla przepływu o prawdopodobieństwie 1% w obecnych warunkach zabudowy zlewni ($12 \text{ m}^3/\text{s}$) nie doszło by do zatopienia terenów przyległych,
- Dla przepływu $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ - przepływ o prawdopodobieństwie 1% (raz na 100 lat) określony dla przewidywanego stanu zwiększonej zabudowy zlewni z istniejącym zbiornikiem Biezanów, ale bez budowy pozostałych suchych zbiorników w kaskadzie, podtopienia wystąpiły by tylko na prawym brzegu poniżej odcinka z proponowanym murem bulwarowym chroniącym budynki przy ul. Feliksa Jasieńskiego. Odcinek zagrożony zalaniem nie jest zabudowany budynkami mieszkalnymi ze względu na bliskie sąsiedztwo trasy S7 i linii kolejowej. Na terenie osiedla Słonecznego, osiedla Złocień i budynków przy ul. Feliksa Jasieńskiego w tym wariantcie nie występuje zagrożenie przelaniem się wód powodziowych
- Dla przepływu $22 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli szacowanego zrzutu ze zbiornika Biezanów w dniu 6.08.2021 woda powodziowa przelała by się nad murami bulwarowymi tylko na odcinku pomiędzy km 4+482 a km 4+702 na długości ok 220 m warstwą o grubości maksymalnie 10 cm, a średnio byłoby to 4 cm.
- Dla przepływu $47 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli przepływu raz na 200 lat zalane zostały by tereny pomiędzy km 4+225 a km 4+929 na długości prawie 700 m o wysokości warstwy wody do 30 cm a średnio 15 cm na obu brzegach.

Porównując wyniki modelowania dla wariantów 1, 2 i 3, zagrożenie powodziowe w stanie obecnym i po zrealizowaniu wariantu 3 można ocenić następująco:

- W obecnych warunkach przepływ o prawdopodobieństwie 1% ($12 \text{ m}^3/\text{s}$) nie powoduje zagrożenia powodziowego na odcinku rzeki Serafy pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750,
- W przypadku dalszej zabudowy zlewni przy istnieniu jedynie zbiornika Bieżanów przepływ o prawdopodobieństwie 1% wynosiłby $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ i powodowałby podtopienia wyłącznie na prawym brzegu i zagrażał by budynkom mieszkalnym przy ul. Jasieńskiego. Lewy brzeg chroniony obecnie murem bulwarowym ogrodzenia nie byłby zagrożony. Wykonanie muru bulwarowego na prawym brzegu o rzędnej korony takiej samej jak na prawym brzegu zapewniłoby bezpieczeństwo powodziowe na obu brzegach,
- Po zrealizowaniu zbiorników Serafa 2, Malinówka 1, Malinówka 2 i Malinówka 3 przepływ o prawdopodobieństwie 1% powinien wynosić ok. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ i nie będzie powodował zagrożenia powodziowego na odcinku od km 4+200 do km 4+930 rzeki Serafy,
- Przepływ o wielkości $22 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli taki jaki pojawił się podczas ostatniego wezbrania 6.08.2021 spowodował zalanie budynków na prawym brzegu do wysokości maksymalnie 60 cm. Budynki na lewym brzegu zostały ochronione dzięki wykonaniu buru bulwarowego w ciągu ogrodzenia i jego doraźnemu podwyższeniu przy pomocy worków z piaskiem. Warstwa wody ponad koroną muru wynosiła maksymalnie 8 cm. Wykonanie muru bulwarowego na prawym obecnie nie chronionym brzegu spowodowało by zwiększenie warstwy wody ponad oboma murami bulwarowymi o dodatkowe 2 cm przy tym samym poziomie zagrożenia powodziowego.
- Dla przepływu $47 \text{ m}^3/\text{s}$ czyli przepływu o prawdopodobieństwie raz na 200 lat poziom wody powodziowej przekroczyłby korony murów bulwarowych na lewym i prawym brzegu o 30 cm.

7. Zalecane kierunki ograniczenia powodziowego na odcinku rzeki Serafy od km 4+200 do km 4+930

Obliczenia wykazały, że wykonanie na prawym brzegu rzeki Serafy ogrodzenia na murze bulwarowym chroniącego zabudowę mieszkaniową osiedla Słonecznego położonego przy ulicy Henryka i Karola Czeczów chroni tereny tego osiedla do przepływów przekraczających wartość $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Wysokość muru bulwarowego zapewnia bezpieczeństwo dla wezbrań o prawdopodobieństwie 1% nawet po pełnej zabudowie zlewni rzeki Serafy i potoku Malinówka. Wykonanie dodatkowych czterech suchych zbiorników powodziowych zwiększy ten poziom bezpieczeństwa, ponieważ obniży przepływ o prawdopodobieństwie 1% do wartości ok $12 \text{ m}^3/\text{s}$ przy uwzględnieniu dodatkowych zrzutów wód z kanalizacji opadowej poniżej zbiornika Bieżanów.

Wykonanie muru bulwarowego na lewym brzegu spowodowało powstanie zagrożenia powodziowego dla terenów i budynków mieszkalnych na prawym brzegu rzeki Serafy przy ul. Feliksa Jasieńskiego. Przed wykonaniem muru na lewym brzegu takie zagrożenie nie występowało. Należy zwrócić uwagę, że mur na lewym brzegu został wykonany zgodnie z obowiązującymi przepisami (MPZP) i wydanym pozwoleniem na budowę. Pomimo że mur oficjalnie nie jest budowlą przeciwpowodziową to wezbranie z 6.08.2021

potwierdziło, że spełnia on swoje zadanie i nie stanowi zagrożenia dla ludzi i mienia na lewym brzegu Serafy.

Na prawym brzegu rzeki Serafy poniżej km 4+328 do mostu w ciągu drogi S7 znajdują się tereny niezabudowane i nieużytkowane rolniczo. W MPZP zostały one wskazane jako obszar ZP czyli teren zieleni urządzonej o charakterze parkowym. Dla tego obszaru okresowe zalewanie nie będzie miało negatywnego wpływu.

W celu przywrócenia bezpieczeństwa powodziowego dla terenów zabudowanych na prawym brzegu niezbędne jest wykonanie muru bulwarowego na prawym brzegu wzdłuż koryta rzeki Serafy pomiędzy kilometrami od 4+328 do km ok. 4+750 na długości min 420 m.

Wymagana wysokość muru bulwarowego na ww. odcinku wynosić powinna od ok 20 cm przy moście w ciągu ul. Feliksa Jasieńskiego do 70 cm w okolicy budynku numer 29 w km rzeki Serafy ok 4+350. Biorąc pod uwagę zalecane szybkie wykonanie muru powinien być on wykonany w technologii umożliwiającej łatwe jego wykonanie przy jednoczesnym istniejącym utrudnionym dostępie do terenu. Takie warunki spełniają mury z grodzić winylowych. Przy wymaganym zagłębieniu muru do 130 cm poniżej poziomu terenu, wymaga to pogrążenia ścianek o całkowitej wysokości do 200 cm i jest możliwe do wykonania w tym terenie.

Niezależnie od przyjętej technologii muru bulwarowego rozwiązanie takie wymaga również wykonania drenażu powierzchniowego do głębokości 50 cm poniżej powierzchni terenu po stronie odpowietrznej muru z grodzic i odprowadzania tych wód na teren międzywala. Drenaż ten jest konieczny ze względu na brak kanalizacji deszczowej na terenie przy ul. Feliksa Jasieńskiego i utrudniony odpływ wód opadowych z tego terenu po wykonaniu zabezpieczenia.