

Nazwa zadania:	Opracowanie wielowariantowej koncepcji oraz dokumentacji projektowej budowlanej i wykonawczej wraz z nadzorem autorskim dla zadania pn.: „Budowa pompowni wspomagającej przy ul. Swojskiej”								
Inwestor:	Dyrekcja Rozbudowy Miasta Gdańska								
Stadium:	Obliczenia hydrologiczno – hydrauliczne systemu kanalizacji deszczowej								
Jednostka projektowa:	BIOPRO Sp. z o.o., Ul. Marynarki Polskiej, 80-868 Gdańsk								
Skład zespołu:									
<table><tr><td>dr inż. R. Woźniak-Vecchie</td><td>Kierownik pracowni modelowania</td></tr><tr><td>mgr inż. Tomasz Glixelli</td><td>Projektant branży sanitarnej</td></tr><tr><td>mgr inż. Michał Oktawiec</td><td>Specjalista ds. modelowania</td></tr><tr><td>mgr inż. Paulina Kurczaba</td><td>Asystent ds. modelowania</td></tr></table>		dr inż. R. Woźniak-Vecchie	Kierownik pracowni modelowania	mgr inż. Tomasz Glixelli	Projektant branży sanitarnej	mgr inż. Michał Oktawiec	Specjalista ds. modelowania	mgr inż. Paulina Kurczaba	Asystent ds. modelowania
dr inż. R. Woźniak-Vecchie	Kierownik pracowni modelowania								
mgr inż. Tomasz Glixelli	Projektant branży sanitarnej								
mgr inż. Michał Oktawiec	Specjalista ds. modelowania								
mgr inż. Paulina Kurczaba	Asystent ds. modelowania								
październik 2019									

## SPIS TREŚCI

1.1.	Wstęp .....	3
1.2.	Cel i zakres opracowania.....	3
1.3.	Ogólna charakterystyka systemów odwodnienia zlewni ul. Okrąg i ul. Twardej.....	3
1.4.	Analiza granic zlewni systemu KD .....	4
1.4.1.	Stan istniejący .....	4
1.4.2.	Stan prognozowany .....	10
1.5.	Modelowanie hydrodynamiczne .....	14
1.5.1.	Budowa szkieletu modelu hydrodynamicznego kanalizacji deszczowej .....	14
1.5.2.	Wydzielenie zlewni cząstkowych .....	15
1.5.3.	Parametryzacja elementarnych zlewni spływu .....	16
1.5.4.	Ustalenie miarodajnego prawdopodobieństwa wystąpienia opadu.....	22
1.5.5.	Ustalenie czasu trwania opadu .....	23
1.5.6.	Baza opadowa.....	24
1.5.7.	Model hydrodynamiczny obszaru przy ul. Swojskiej w Gdańsku .....	28
1.5.8.	Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej zlewni ul. Okrąg dla stanu istniejącego.....	31
1.5.9.	Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej zlewni ul. Twardej dla stanu istniejącego .....	34
1.5.10.	Chwilowy odpływ ze zlewni ul. Okrąg i ul. Twardej.....	37
1.5.11.	Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej dla stanu projektowanego z budową pompowni przy ul. Swojskiej - Wariant 4.....	38
1.5.12.	Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej dla stanu projektowanego z budową pompowni przy ul. Swojskiej - Wariant 5.....	62
1.5.13.	Podsumowanie .....	86
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>87</b>

## 1.1. Wstęp

Opracowane zostało wykonane na zlecenie Gminy Miasta Gdańska, na podstawie umowy nr 5366/2018-I/PN/203/18 zawartej w dniu 26.10.2018 r. w ramach zadania pn.: **Opracowanie wielowariantowej koncepcji oraz dokumentacji projektowej budowlanej i wykonawczej wraz z nadzorem autorskim dla zadania pn.: „Budowa pompowni wspomagającej przy ul. Swojskiej”**. Tematem tego opracowania jest przeprowadzenie obliczeń hydrologiczno – hydraulicznych na analizowanym obszarze.

## 1.2. Cel i zakres opracowania

Głównym celem opracowania jest przeprowadzenie obliczeń hydrologiczno – hydraulicznych dla zlewni kanalizacji deszczowej (KD) ciężącej do rzeki Strzyży, z wylotami przy ul. Swojskiej w Gdańsku, które umożliwią opracowanie koncepcji budowy pompowni na wspomnianym obszarze. Obliczenia przeprowadzono przy zastosowaniu modelowania hydrodynamicznego.

Raport obejmuje swym zakresem wykonanie obliczeń hydraulicznych kolektorów wraz z dopływami, doprowadzających wody opadowe ze zlewni projektowanej pompowni do Potoku Strzyża w stanie istniejącym oraz dla wariantów projektowych pompowni. Obliczenia przeprowadzono dla odcinka ujściowego Strzyży dla opadu  $p=10\%$  oraz  $p=30\%$ .

## 1.3. Ogólna charakterystyka systemów odwodnienia zlewni ul. Okrąg i ul. Twardej

Teren objęty opracowaniem leży w mieście Gdańsk na obszarze dzielnic Młyniska, Wrzeszcz oraz w niewielkiej części w dzielnicy Śródmieście. Rozpatrywany obszar położony jest w zlewni rzeki Strzyża, do którego wody opadowe trafiają poprzez sieć KD. Analizowana zlewnia tej sieci o powierzchni 62,7 ha została podzielona na dwie główne zlewnie ciężące do rzeki Strzyży.

**Zlewnia nr 1** dotyczy zlewni z wylotem przy ul. Okrąg, skąd wody opadowe z głównych ciągów komunikacyjnych odprowadzane są za pomocą sieci KD o średnicach 200 – 1000 mm o łącznej długości 2,4 km z powierzchni 14,2 ha. Poza wymienionym systemem brak jest innych powierzchniowych rozwiązań służących odprowadzaniu i retencjonowaniu wód opadowych. Zgodnie z naturalnymi spadkami terenu zlewni wody opadowe i roztopowe spływają powierzchniowo w kierunku najniższych miejsc, tworząc okresowo miejscowe rozlewiska i zastoiska wody.

Podobne rozwiązania odprowadzenia wód opadowych i roztopowych wykorzystane są na terenie **zlewni nr 2** z wylotem przy ul. Twardej, gdzie wody opadowe z głównych ciągów komunikacyjnych odprowadzane są za pomocą sieci KD o średnicach 200 – 1000 mm i łącznej długości 6,9 km z powierzchni 48,6 ha. Szczególnym obszarem na terenie zlewni ul. Twardej jest obszar o powierzchni 2,6 ha, który posiada własną pompownię, skąd wody opadowe kierowane są do KD w ul. Twardej. W skład pompowni wchodzi 3 pompy o wydajności 90 l/min każda.

## 1.4. Analiza granic zlewni systemu KD

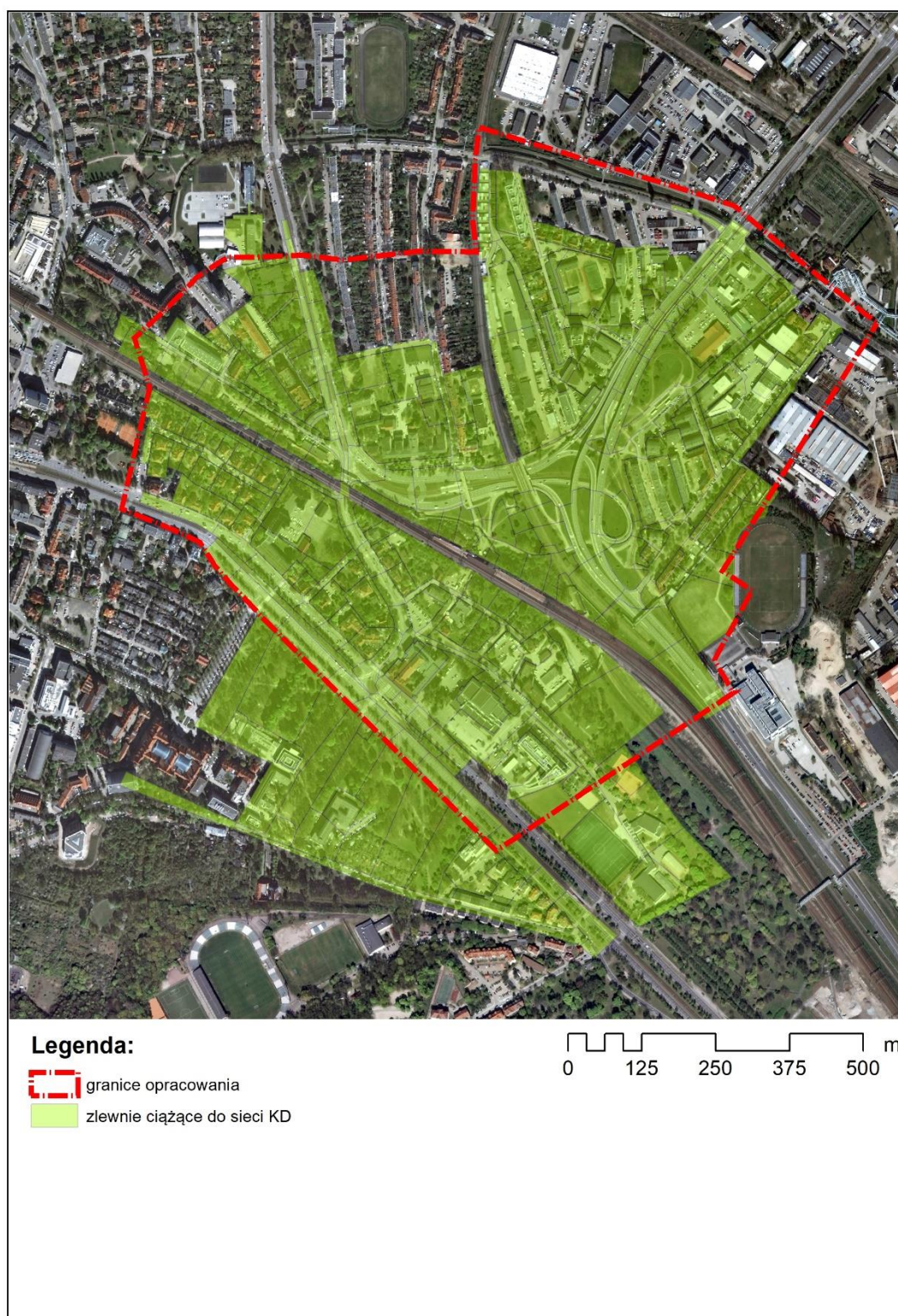
### 1.4.1. Stan istniejący

Obszar opracowania to aktualnie tereny związane z mieszkalnictwem, usługami, tereny pełniące funkcje produkcyjno – usługowe oraz jako zieleń urządzona. Dzielnica Wrzeszcz ma największy procent udziału terenów zainwestowania miejskiego w stosunku do całego miasta Gdańska, a główną pozycję zajmują obszary o przewadze funkcji mieszkaniowej i mieszkaniowo – usługowej. Ponadto znaczny procent zagospodarowania terenu stanowią obszary biologicznie czynne oraz zieleń towarzysząca. Funkcje produkcyjna i rolnicza praktycznie zanikły. Na obszarze opracowania ponadto znajdują się charakterystyczne elementy struktury funkcjonalno – przestrzennej takie jak ośrodki nauki (część terenów Politechniki Gdańskiej), opera oraz kino.

Podczas analizy obszaru przy ul. Swojskiej pod względem uszczelnienia powierzchni w sposób szczególny potraktowano dachy i ulice asfaltowe, które odwzorowano z dokładnością według mapy zasadniczej.

Granice obszaru opracowania zostały wstępnie określone na etapie przetargu dla tego zadania. Na rysunku 1 przedstawiono obszar opracowania oraz ustalone granice zlewni analizowanej KD.





Rysunek 1. Zlewnie ciążące do analizowanej KD na terenie opracowania

W granicach zlewni zidentyfikowanych na podstawie mapy zasadniczej, na szczególną uwagę zasługuje kilka miejsc, w których to nie przebieg rurociągów KD był decydujący dla ustalenia ich granic. Każdą z takich zlewni opisano poniżej.

(a) Budynki przy ul. Okrąg – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Okrąg

Budynki wielorodzinne usytuowane przy ul. Okrąg w Gdańsku wyposażone są w rynny odprowadzające wody opadowe z dachów na tereny dróg, skąd wody te trafiają do sieci kanalizacji deszczowej. Rysunek obok przedstawia omawiany obszar.



Rysunek 2. Widok na ul. Okrąg w Gdańsku

(b) Budynki przy ul. Hallera – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Hallera

Podobna sytuacja ma miejsce przy Alei gen. Józefa Hallera – rynny z budynków jednorodzinnych odprowadzają wody opadowe z dachów. Na podstawie analizy spadków terenu stwierdzono, że odprowadzone w ten sposób wody kierowane będą na pobliską drogę (spadek terenu następuje w kierunku ul. Hallera), skąd trafiają wpustami do sieci kanalizacji deszczowej.



Rysunek 3. Widok na Aleję gen. Józefa Hallera w Gdańsku



(c) Budynki przy ul. Uphagena – obszar ciążący powierzchniowo do KD w ul. Uphagena

Zlewnie ciążące do kanalizacji deszczowej znajdują się również przy ul. Uphagena. Mapa zasadnicza nie zawiera przyłączy KD z tych posesji. Jednak na podstawie dokumentacji fotograficznej zidentyfikowano prawdopodobnie nie uzgodnione, ale działające drogi spływu dla wód opadowych z dachów prywatnych posesji. W wielu miejscach istnieją przebiegi w ogrodzeniach, którymi przedostają się wody deszczowe zbierane na posesjach. Na poniższych ilustracjach widoczne są doły przy zabudowanych działkach na pobliską drogę.



Rysunek 4. Widok na ul. Uphagena w Gdańsku



Rysunek 5. Widok na ul. Uphagena w Gdańsku

(d) Budynek przy ul. Zielony Trójkąt – nieciążący obszar w bezpośrednim sąsiedztwie KD

Na analizowanym obszarze stwierdzono również miejsca, z których nie będzie następował spływ powierzchniowy w kierunku drogi i sieci kanalizacji deszczowej. Jednym z takich miejsc jest budynek jednorodzinny przy ul. Zielony Trójkąt, gdzie stwierdzono obniżenie terenu w porównaniu z przyległym chodnikiem. Na podstawie analizy topografii terenu można stwierdzić, że woda pozostanie w miejscu jej powstawania.



Rysunek 6. Widok na ul. Zielony Trójkąt w Gdańsku

Poniżej opisane zostały dodatkowe zlewnie KD, przyłączone do obszaru opracowania na podstawie informacji Gdańskich Wód - ze względu na istnienie rurociągu KD nie ujawnionego na mapie zasadniczej, lub specyfikę ukształtowania terenu.

(i) Budynek OKUN przy ul. Hallera – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Hallera

Jako dodatkową zlewnię ciężącą wyznaczono budynek przy ul. Hallera, gdzie na podstawie mapy zasadniczej wyznaczono przełamanie spadku, dzięki czemu wody opadowe za pomocą sieci KD będą spływać do głównego kolektora.



Rysunek 7. Widok na ul. Hallera w kierunku budynku OKUN w Gdańsku

(ii) Budynki przy ul. Wyspiańskiego – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Wyspiańskiego

Kolejną dodatkową zlewnią jest teren z szeregiem budynków przy ul. Wyspiańskiego. Na tym obszarze na mapie zasadniczej brak zaznaczenia istniejącego odcinka KD, który w rzeczywistości istnieje. Powoduje to dodatkowy dopływ wód opadowych z powyższych działek.



Rysunek 8. Widok na ul. Wyspiańskiego w Gdańsku



(iii) Budynki przy ul. Traugutta – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Traugutta

Budynki znajdujące się przy ul. Traugutta wyposażone są w odwodnienia w postaci rur wpustowych, które schodzą pod ziemię łącząc się bezpośrednio z siecią KD, zasilając tym samym kolektor główny. Ponadto na podstawie analizy spadku terenu obszar ten dodatkowo cięży grawitacyjnie w kierunku głównej zlewni.



Rysunek 9. Widok na ul. Traugutta w Gdańsku

(iv) Budynki przy ul. Towarowej – obszar ciężący powierzchniowo do KD w ul. Towarowej

Dodatkowo uwzględnionymi zlewniami ciężącymi uznano budynki oraz obiekty (np. boisko) przy ul. Towarowej. Każdy z tych budynków posiada odwodnienie złożone z przewodów KD połączone z kolektorem w Alei Hallera, powodując jego dodatkowe obciążenie.

## 1.4.2. Stan prognozowany

### PODSTAWA PROGNOZY

Na obszarze objętym opracowaniem aktualnie obowiązuje 14 Miejscowych Planów Zagospodarowania Przestrzennego (MPZP):

1. Nr planu: 0504: Uchwała nr XLV/1378/2002 Rady Miasta Gdańska z dnia 21 lutego 2002 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Młyniska – Letnica w Gdańsku.
2. Nr planu: 0514: Uchwała nr XIII/331/15 Rady Miasta Gdańska z dnia 27 sierpnia 2015 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Młyniska rejon ulicy Twardej 10 w mieście Gdańsku.
3. Nr planu: 0803: Uchwała nr XLII/511/96 Rady Miasta Gdańska z dnia 19 grudnia 1996 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Gdańsk Wrzeszcz – rejon Akademii Medycznej, obejmującej teren zawarty między Aleją Zwycięstwa, ulicami: Towarową i Hallera oraz projektowaną trasę Nową Politechniczną.
4. Nr planu: 0808: Uchwała nr III/32/2002 Rady Miasta Gdańska z dnia 05 grudnia 2002 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego rejon ulic Do Studzienki i Miszewskiego w mieście Gdańsku.
5. Nr planu: 0809: Uchwała nr III/31/2002 Rady Miasta Gdańska z dnia 05 grudnia 2002 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego rejon ulic Traugutta i Smoluchowskiego w mieście Gdańsku.
6. Nr planu: 0810: Uchwała nr XI/270/2003 Rady Miasta Gdańska z dnia 10 lipca 2003 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego rejonu Drogi Czerwonej od ul. Wyspiańskiego do przystanku SKM Gdańsk – Stocznia w mieście Gdańsku.
7. Nr planu: 0814: Uchwała nr XXXI/989/04 Rady Miasta Gdańska z dnia 25 listopada 2004 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Wrzeszcz Centrum rejon ulicy Uphagena i Alei Grunwaldzkiej w mieście Gdańsku.
8. Nr planu: 0823: Uchwała nr XXII/623/04 Rady Miasta Gdańska z dnia 25 marca 2004 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego rejonu przystanku SKM Gdańsk – Politechnika w mieście Gdańsku.
9. Nr planu: 0830: Uchwała nr XXIV/689/08 Rady Miasta Gdańska z dnia 26 czerwca 2008 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Wrzeszcz rejon Alei Zwycięstwa i ulicy Towarowej w mieście Gdańsku.
10. Nr planu: 0838: Uchwała nr VI/36/11 Rady Miasta Gdańska z dnia 13 stycznia 2011 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Wrzeszcz – Aniołki rejon stadionu Lechii pomiędzy ulicami Traugutta i Smoluchowskiego w mieście Gdańsku.

11. Nr planu: 0843: Uchwała nr XVI/235/11 Rady Miasta Gdańska z dnia 25 sierpnia 2011 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Wrzeszcz ul. Uphagena 21 w mieście Gdańsku.
12. Nr planu: 0854: Uchwała nr XLV/1324/17 Rady Miasta Gdańska z dnia 30 listopada 2017 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Wrzeszcz Górny rejon alei Zwycięstwa i ulicy Konarskiego w mieście Gdańsku.
13. Nr planu: 1125: Uchwała nr XXVIII/902/04 Rady Miasta Gdańska z dnia 30 września 2004 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Gdańsk Nowe Miasto Północ.
14. Nr planu: 1157: Uchwała nr XXXVI/1023/09 Rady Miasta Gdańska z dnia 28 maja 2009 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Śródmieście – rejon Stoczni Północnej w mieście Gdańsku.

W granicach obszaru opracowania znajdują się następujące kategorie jednostek urbanistycznych zdefiniowanych w poszczególnych MPZP:

- tereny zabudowy mieszanej mieszkaniowo – usługowej,
- tereny zabudowy produkcyjno – usługowo – składowej,
- tereny zabudowy usługowej,
- tereny zabudowy usługowej z zielenią towarzyszącą,
- tereny zieleni urządzonej.

#### ZAŁOŻENIA PROGNOZOWANEJ ROZBUDOWY SYSTEMU KD

W oparciu o założone w ww. MPZP nowe jednostki urbanistyczne i drogi, model istniejącej sieci KD został rozbudowany o nowe odcinki KD tak, by choć w przybliżeniu uwzględnić rozwój systemów odwodnienia na przedmiotowym terenie w przyszłości. Nowym fragmentom systemu KD przypisano również ciężące do nich zlewnie. **W sumie długość systemu KD została powiększona o 925,2 m.**

#### OKREŚLENIE PROGNOZOWANEGO ZAGOSPODAROWANIA ZLEWNI

Na podstawie informacji zawartych w MPZP ustalono prognozowaną maksymalną powierzchnię zabudowy terenów inwestycyjnych oraz minimalny udział powierzchni biologicznie czynnej w odniesieniu do powierzchni działki budowlanej. Parametry te pozwalają przewidzieć przyszły stopień uszczelnienia danej działki. Zestawienie wartości dla wymienionych wyżej planów przedstawia tabela 1.

Na podstawie analizy ww. MPZP oraz stanu istniejącego ustalono prognozowane zagospodarowanie powierzchni poszczególnych zlewni cząstkowych. Dla terenów nieobjętych MPZP jako prognozowane zagospodarowanie przyjęto stan istniejący, ze względu na już istniejącą intensywną zabudowę mieszkaniową. W pozostałych przypadkach przeanalizowano aktualny stopień zabudowy, porównano go z założeniami odpowiedniego MPZP, po czym do obliczeń przyjęto wariant mniej korzystny.



Tabela 1. Zestawienie parametrów dotyczących zagospodarowania terenu w MPZP obowiązujących na obszarze opracowania

	MPZP													
rok wydania	1996		2002		2002		2002		2003		2004		2004	
nr	0803		0504		0808		0809		0810		0814		0823	
Zagospodarowanie terenu	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab
usługi	20	50	20	-	inne	60	30	40	-	-	30	50	20**	-
usługi (+zabudowa mieszkaniowa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	70	-	-
usługi (+zabudowa mieszkaniowa - powyżej 15 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	40	-	-
usługi (+zabudowa mieszkaniowa - powyżej 18 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	-	-
usługi (budynki mieszkalne, o wysokości przekraczającej wysokość w planie)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	35
usługi z zielenią towarzyszącą	-	-	-	-	-	-	-	-	70	30	-	-	-	-
produkcyjno - usługowa	-	-	-	-	-	-	20	60	-	-	10	60-80	-	-
produkcyjno - usługowo - składowa	zrekultywowc istniejące	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługowo mieszkaniowa	-	-	40*	50	60	-	25	50	-	-	50	40	-	-
zieleni urządzona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-
zieleni urządzona (+ciągi pieszo-jezdne)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 1. (c.d.). Zestawienie parametrów dotyczących zagospodarowania terenu w MPZP obowiązujących na obszarze opracowania

	MPZP													
rok wydania	2004		2008		2009		2011		2011		2015		2017	
nr	1125		0830		1157		0838		0843		0514		0854	
Zagospodarowanie terenu	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab	biol.czy.	zab
usługi	30	50	20	52	-	-	30	30	-	-	-	-	30	40
usługi (+zabudowa mieszkaniowa)	-	-	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługi (+zabudowa mieszkaniowa - powyżej 15 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługi (+zabudowa mieszkaniowa - powyżej 18 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługi (budynki mieszkalne, o wysokości przekraczającej wysokość w planie)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługi z zielenią towarzyszącą	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
produkcyjno - usługowa	20***	min 5%	-	-	20	min 10%	-	-	-	-	0	50	-	-
produkcyjno - usługowo - składowa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
usługowo mieszkaniowa	-	-	-	-	-	-	30	25	30	40	-	-	-	-
zieleni urządzona	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
zieleni urządzona (+ciągi pieszo-jezdne)	-	-	50 (60 i 80)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Dwa obszary przy ul. Zielony Trójkąt; w pozostałych przypadkach zaleca się min. 20% terenów przeznaczonych jako tereny biologicznie czynne.

\*\* Dla obszarów objętych Ogólnomiejskim Systemem Terenów Aktywnych Biologicznie zaleca się min. 50% terenów przeznaczonych jako tereny biologicznie czynne.

\*\*\* Dla funkcji produkcyjno – usługowych, które pełnią również funkcję portów zaleca się min. 50% terenów przeznaczonych jako tereny biologicznie czynne.

Inne – min. 60% powierzchni niezabudowanych zagospodarować zielenią.

W celu wyznaczenia wartości współczynnika spływu dla każdej ze zlewni, każdej z nich przypisano minimalny udział powierzchni biologicznie czynnej oraz maksymalny procent powierzchni zabudowy w stosunku do powierzchni działki budowlanej. Wartości poszczególnych parametrów dla każdej zlewni cząstkowej przyporządkowane zostały w modelowaniu hydrodynamicznym.

## 1.5. Modelowanie hydrodynamiczne

Dotychczasowe metody służące do projektowania sieci kanalizacyjnych nie są wystarczające do weryfikacji istniejących i projektowanych skomplikowanych systemów kanalizacyjnych, zwłaszcza jeśli w systemach takich zakłada się zabudowę elementów retencjonowania wód opadowych. Stosowane proste metody obliczeniowe tzw. metody stacjonarne sprawdzają się zasadniczo tylko przy projektowaniu niewielkich nowych sieci o maksymalnej odwadnianej powierzchni zlewni 200 ha i czasie przepływu ścieków kanałami do 15 min i o pojedynczym wylocie. Nie nadają się one do analizy skomplikowanych systemów zaopatrzonych w zbiorniki retencyjne, pompownie, czy też liczne wyloty. W przypadku takich systemów należy bowiem uwzględnić zjawiska takie jak przepływy ciśnieniowe i grawitacyjne, zjawisko retencji kanałowej, możliwość rozdziatu odpływających ścieków na różne odpływy oraz interakcje zachodzące pomiędzy systemem kanalizacyjnym a odbiornikiem wód opadowych.

We wszystkich powyższych przypadkach, jak i w przypadku potrzeby symulacji pracy większych sieci, przy analizie wpięcia nowej sieci do istniejącego układu, przy obliczeniach sprawdzających istniejące systemy, przy obliczeniach wariantów renowacji systemów kanalizacji, inżynier musi sięgać po zdecydowanie bardziej skomplikowany model hydrodynamiczny, uwzględniający niejednostajny i nieustalony charakter ruchu ścieków. Potwierdzeniem tego są zapisy europejskiej normy kanalizacyjnej (PN-EN 752:2017) oraz wytyczne zawarte w Komentarzu ATV-DVWK do ATV – A118P (Schmitt, 2000).

Zatem w praktyce koniecznym jest skorzystanie ze specjalistycznej aplikacji. Współcześnie oprogramowanie takie jest wytwarzane i udostępniane przez co najmniej kilka firm. W projekcie zastosowano profesjonalną aplikację CivilStorm CONNECT Edition firmy Bentley, z wykorzystaniem silnika SWMM, wywodząca się z całej rodziny oprogramowania dedykowanego projektowaniu i modelowaniu systemów kanalizacyjnych, stworzonej oryginalnie przez Haestad Methods.

### 1.5.1. Budowa szkieletu modelu hydrodynamicznego kanalizacji deszczowej

Do budowy modelu hydrodynamicznego lokalnego systemu odwodnienia wykorzystano m.in. mapę zasadniczą (stan: XI 2018) w formacie dxf. Została ona uzupełniona na podstawie dodatkowych wizji w terenie, ortofotomap oraz numerycznego modelu terenu.

Tworzenie szkieletu sieci rozpoczęto od podczytania plików dxf do interfejsu graficznego. Kolejnym etapem prac było wyznaczenie zlewni w programie CivilStorm. W oparciu o powyższe dane rozpoczęto budowę modelu hydrodynamicznego zlewni ul. Swojskiej w Gdańsku. W numerycznym odwzorowaniu sieci KD założono, że studnie są wykonane z betonu, a ich głębokość i rzędne zostały odczytane z mapy. Następnie studnie połączono kanałami. Średnice przewodów wahały się 0,2 do 1,0 m.



Przy budowie modelu nie uwzględniano wpustów ulicznych, gdyż znacznie skomplikowałoby one model. Takie uproszczenie jest powszechną praktyką w modelowaniu dużych systemów odwodnienia. Jednocześnie praca hydrauliczna przyłączy na odcinku wpusty - studnie zbiorcze nie ma istotnego wpływu na całościowy obraz działania systemu odwodnienia.

### 1.5.2. Wydzielenie zlewni częściowych

Ważnym etapem podczas budowy modelu hydrodynamicznego jest wydzielenie elementarnych (częstkowych) zlewni spływu powierzchniowego. Zlewnie te wydzielono tak, aby obejmowały homogeniczne pod względem hydrologicznym obszary, by jak najlepiej odwzorować rzeczywiste warunki spływu powierzchniowego. Najczęściej pojedynczą elementarną zlewnią spływu był obszar zajmowany przez pojedynczą działkę. Każdą z wydzielonych zlewni przypisywano do pobliskiej studni lub najbliższej zlewni, do której trafiał spływ powierzchniowy ze zlewni.

Podział zlewni przeprowadzono na odcinkach poszczególnych kolektorów głównych oraz na pobliskich terenach, z których wody opadowe trafiają bezpośrednio do głównej sieci np. poprzez grawitacyjny spływ przez wpusty uliczne. Na obszarze opracowania znajduje się jedna specjalna zlewnia o powierzchni 2,6 ha, w obszarze której znajduje się istniejąca przepompownia, kierująca wody opadowe do kolektora na ul. Twardej. W skład pompowni wchodzi 3 pomy. Do obliczeń przyjęto wariant najbardziej niekorzystny, w którym wszystkie pompy pracują jednocześnie.

Dodatkowo, osobno wyznaczono zlewnie elementarne dla dróg kierując się kilkoma wytycznymi:

- w przypadku braku wpustów ulicznych granice zlewni ustalano pomiędzy studzienkami kanalizacyjnymi,
- w przypadku mniejszej ilości wpustów w odniesieniu do ilości studzienek, granice zlewni wyznaczano pomiędzy wpustami,
- w przypadku większej ilości wpustów w odniesieniu do ilości studzienek, granice zlewni przyjęto pomiędzy studzienkami.

Przykład opisanego powyżej przykładu przedstawia poniższy rysunek.



Rysunek 10. Przykład wyznaczania granic zlewni częściowych na terenie dróg

### 1.5.3. Parametryzacja elementarnych zlewni spływu

Zlewnie częściowe zostały wydzielone na podstawie szczegółowych studiów podkładów mapowych, numerycznego modelu terenu, wizji terenowych oraz ogólnodostępnych ortofotomap. Są one zdefiniowane w aplikacji jako obszary poligonów, dla których program sam zlicza powierzchnię. Przy wykonywaniu symulacji korzystano z zaimplementowanego w programie CivilStorm modułu obliczeniowego odpływu EPA SWMM, którego szczegółową charakterystykę można znaleźć np. w podręcznikach: Haestad Methods i Durrans (2007), Rossman (2000). W modelu tym całkowity odpływ z pojedynczej zlewni częściowej jest sumą odpływów z powierzchni:

- przepuszczalnej, posiadającej retencję terenową,
- nieprzepuszczalnej, posiadającej retencję terenową,
- nieprzepuszczalnej i nieposiadającej retencji terenowej.

Na obszarze opracowania przy ul. Swojskiej w Gdańsku wydzielono elementarne zlewnie spływu. Zlewnie sklasyfikowano wg 5 kategorii zagospodarowania (ciągi piesze, rowerowe, torowiska, tramwajowe i parkingi; drogi i ulice; tereny zielone; usługi; zabudowa mieszkaniowa). W tabelach 2-6 przedstawiono parametry spływu dla wspomnianych 5 kategorii zlewni, które zostały przyjęte przy budowie modelu. Stosowanie kategoryzacji elementarnych zlewni spływu jest powszechnym rozwiązaniem przy tworzeniu dużych modeli systemów odwodnienia. Technika ta może prowadzić do niewielkich błędów w przypadku konkretnych elementarnych zlewni o powierzchniach rzędu tysięcy m<sup>2</sup>, niemniej błędy te znoszą się wzajemnie w skali całego modelu.

Tabela 2. Parametry zlewni dla ciągów pieszych, rowerowych, torowisk, tramwajowych i parkingów

<b>Ciągi piesze, rowerowe, torowiska, tramwajowe, parkingi</b>	
Szerokość charakterystyczna, m	Odczytana z mapy
Retencja powierzchniowa na terenie nieprzepuszczalnym, mm	2.0
Retencja powierzchniowa na terenie przepuszczalnym, mm	5.0
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni nieprzepuszczalnej), -	0.013
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni przepuszczalnej), -	0.150
Procent powierzchni uszczelnionej	Odczytany z mapy
Spadek obliczeniowy zlewni, %	Odczytany z mapy
Procent powierzchni uszczelnionej (posiadającej retencję), %	0.0
Procent odprowadzanego spływu powierzchniowego, %	100
Odptyw z powierzchni	Odptyw z dwóch powierzchni (przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej) do odptywu
Współczynnik CN -	Odczytany indywidualnie

Tabela 3. Parametry zlewni dla dróg i ulic

<b>Drogi i ulice</b>	
Szerokość charakterystyczna, m	Odczytana z mapy
Retencja powierzchniowa na terenie nieprzepuszczalnym, mm	2.0
Retencja powierzchniowa na terenie przepuszczalnym, mm	5.0
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni nieprzepuszczalnej), -	0.013
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni przepuszczalnej), -	0.150
Procent powierzchni uszczelnionej	Odczytany z mapy
Spadek obliczeniowy zlewni, %	Odczytany z mapy
Procent powierzchni uszczelnionej (posiadającej retencję), %	0.0
Procent odprowadzonego spływu powierzchniowego, %	100
Odptyw z powierzchni	Odptyw z dwóch powierzchni (przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej) do odptywu
Współczynnik CN -	Odczytany indywidualnie



Tabela 4. Parametry zlewni terenów zielonych

Treny zielone	
Szerokość charakterystyczna, m	Odczytana z mapy
Retencja powierzchniowa na terenie nieprzepuszczalnym, mm	2.0
Retencja powierzchniowa na terenie przepuszczalnym, mm	5.0
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni nieprzepuszczalnej), -	0.013
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni przepuszczalnej), -	0.150
Procent powierzchni uszczelnionej	Odczytany z mapy
Spadek obliczeniowy zlewni, %	Odczytany z mapy
Procent powierzchni uszczelnionej (posiadającej retencję), %	0,0
Procent odprowadzonego spływu powierzchn., %	100
Odptyw z powierzchni	Odptyw z dwóch powierzchni (przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej) do odpływu
Współczynnik CN -	Odczytany indywidualnie

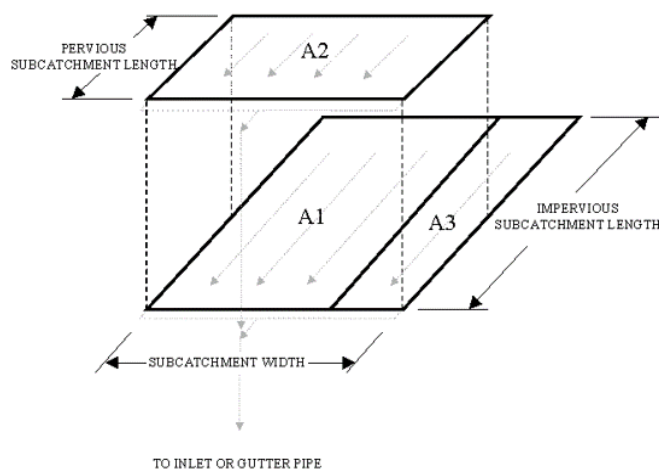
Tabela 5. Parametry zlewni usług

Usługi	
Szerokość charakterystyczna, m	Odczytana z mapy
Retencja powierzchniowa na terenie nieprzepuszczalnym, mm	2.0
Retencja powierzchniowa na terenie przepuszczalnym, mm	5.0
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni nieprzepuszczalnej), -	0.013
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni przepuszczalnej), -	0.150
Procent powierzchni uszczelnionej	Odczytany z mapy
Spadek obliczeniowy zlewni, %	Odczytany z mapy
Procent powierzchni uszczelnionej (posiadającej retencję), %	0.0
Procent odprowadzonego spływu powierzchn., %	100
Odptyw z powierzchni	Odptyw z dwóch powierzchni (przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej) do odpływu
Współczynnik CN -	Odczytany indywidualnie

Tabela 6. Parametry zlewni zabudowy mieszkaniowej

Zabudowa mieszkaniowa	
Szerokość charakterystyczna, m	Odczytana z mapy
Retencja powierzchniowa na terenie nieprzepuszczalnym, mm	2.0
Retencja powierzchniowa na terenie przepuszczalnym, mm	5.0
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni nieprzepuszczalnej), -	0.013
Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga (powierzchni przepuszczalnej), -	0.150
Procent powierzchni uszczelnionej	Odczytany z mapy
Spadek obliczeniowy zlewni, %	Odczytany z mapy
Procent powierzchni uszczelnionej (posiadającej retencję), %	0.0
Procent odprowadzonego spływu powierzchni, %	100
Odptyw z powierzchni	Odptyw z dwóch powierzchni (przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej) do odptywu
Współczynnik CN -	Odczytany indywidualnie

Bardzo ważnym elementem definiowania parametrów modelu spływu powierzchniowego jest prawidłowe oszacowanie szerokości charakterystycznej spływu. Jest to szerokość wzdłuż której dochodzi do powierzchniowego spływu wód opadowych ze zlewni do pobliskiej rynny przykrawężnikowej lub kanału. Parametr ten jest połączony nieodłącznie z długością drogi spływu powierzchniowego, gdyż w modelu EPA SWMM w sposób uproszczony każda zlewnia elementarna jest traktowana jako prostokątna (czego idea jest przedstawiona na rysunku 11). Jak to zaznaczono w tabelach 2-6 wartości szerokości hydraulicznej odczytano w sposób przybliżony z dostępnych podkładów mapowych.



Rysunek 11. Schemat ideowy drogi spływu powierzchniowego w modelu EPA SWMM

W celu określenia procentowego udziału powierzchni uszczelnionych, sumowano całkowitą powierzchnię zajmowaną przez dachy oraz powierzchnie pokryte asfaltem, betonem lub utwardzone w inny sposób. Po czym powierzchnię tę odnoszono do całkowitej powierzchni zlewni cząstkowej. Na podstawie tablic inżynierskich (Chow 1959) dla wszystkich powierzchni nieprzepuszczalnych przyjęto współczynnik szorstkości  $n$  do wzoru Manninga za równy 0,013 (jak dla betonu niewygładzonego). Natomiast ten sam parametr w przypadku powierzchni przepuszczalnych przyjęto za równy 0,150 tak, jak jest to zalecane dla powierzchni trawników.

Po dokładnej analizie dostępnych podkładów mapowych i numerycznego modelu terenu (źródło: PZGiK, 2016) wyznaczono średnie spadki terenów dla każdej zlewni.

W celu zamodelowania strat opadu wynikających z infiltracji wody do gruntu postanowiono zastosować dla wszystkich zlewni model CN opracowany przez SCS (ang. Soil Conservation Service). Szczegółowy opis tego modelu można znaleźć w bogatej literaturze zarówno w języku angielskim jak i polskim (patrz np. NEH Part 630, TR-55 1986, Licznar 2006). Za stosowaniem tego modelu przemawia możliwość scharakteryzowania infiltracji przy pomocy jednego tylko parametru, czyli numeru krzywej CN. Wartość parametru CN odczytywano dla każdej z wydzielonych elementarnych zlewni spływu na podstawie tabeli 7, z uwzględnieniem hydrologicznej klasy gleby według tabeli 8.



Tabela 7. Wybrane wartości współczynnika CN w zależności od hydrologicznej kategorii gleb i rodzaju zabudowy (na podstawie TR-55 1986)

Rodzaj pokrycia terenu (użytkowania zlewni)	Opis Warunki hydrologiczne	Wartości CN dla grup glebowych			
		A	B	C	D
Tereny otwarte: trawniki, parki, pola golfowe, cmentarze itp.	złe warunki hydrologiczne (trawa pokrywa do 50% powierzchni)	68	79	86	89
	średnie warunki hydrologiczne (pokrycie trawą 50-75%)	49	69	79	84
	dobre warunki hydrologiczne (pokrycie trawą >75%)	39	61	74	80
Tereny nieprzepuszczalne: utwardzone parkingi, dachy, jezdnie	—	98	98	98	98
Ulice i drogi	nieprzepuszczalne z pobocznymi i rowami otwartymi	83	89	92	93
	żwirowe	76	85	89	91
	gruntowe	72	82	87	89
Tereny handlowe i przemysłowe	ok. 85% pow. nieprzepuszczalnej	89	92	94	95
	ok. 72% pow. nieprzepuszczalnej	81	88	91	93
Tereny zamieszkałe – przy przeciętnej powierzchni działki	<500 m <sup>2</sup> lub 65% powierzchni nieprzepuszczalnej	77	85	90	92
	1000 m <sup>2</sup> , 38%	61	75	83	87
	1700 m <sup>2</sup> , 30%	57	72	81	86
	2000 m <sup>2</sup> , 25%	54	70	80	85
	4000 m <sup>2</sup> , 20%	51	68	79	84
	zagrody	59	74	82	86
Ugór		77	86	91	94
Rośliny okopowe	warunki przeciętne	67	77	83	87
Rośliny zbożowe	warunki przeciętne	62	73	81	85
Rośliny motylkowe	warunki przeciętne	60	72	80	83
Pastwiska	warunki przeciętne	49	69	78	84
Łąki	warunki przeciętne	30	58	71	78
Lasy	gęste	25	55	70	77
	średniogęste	36	60	73	79
	rzadkie	45	66	77	83

Tabela 8. Hydrologiczne klasy gleby (na podstawie TR-55 1986)

Grupa	Charakterystyka	Współczynnik filtracji $k$ ,
A	Gleby o małej możliwości powstania odpływu powierzchniowego. Charakteryzują się dobrą przepuszczalnością, wysokimi wartościami współczynników filtracji. Do grupy tej zalicza się głębokie piaski, piaski z niewielką domieszką gliny, żwiry, głębokie lessy.	$k > 7,6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$
B	Gleby o przepuszczalności powyżej średniej, średni współczynnik filtracji. Należą tu: gleby piaszczyste średnio głębokie, płytkie lessy oraz ły piaszczyste.	$3,8 < k \leq 7,6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$
C	Gleby o przepuszczalności poniżej średniej. Należą tu: gleby uwarstwione, posiadające wkładki słabo przepuszczalne oraz ły gliniaste, płytkie ły piaszczyste, gleby o niskiej zawartości części organicznych, gliny o dużej zawartości części ilastych.	$1,3 < k \leq 3,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$
D	Gleby o dużej możliwości powstawania odpływu powierzchniowego. Przepuszczalność gleby bardzo mała i bardzo niska wartość współczynnika filtracji. Do grupy tej należą gleby gliniaste, gliny pylaste, gliny zasolone, gleby uwarstwione z warstewkami nieprzepuszczalnymi.	$k < 1,3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

#### 1.5.4. Ustalenie miarodajnego prawdopodobieństwa wystąpienia opadu

Ustalając prawdopodobieństwo wystąpienia opadu posłużono się wytycznymi „Gdańskich Melioracji”, zgodnie z którymi częstość deszczu obliczeniowego wyznacza się w zależności od zagospodarowania terenu.

Tabela 9. Zalecane częstotliwości projektowe deszczu miarodajnego

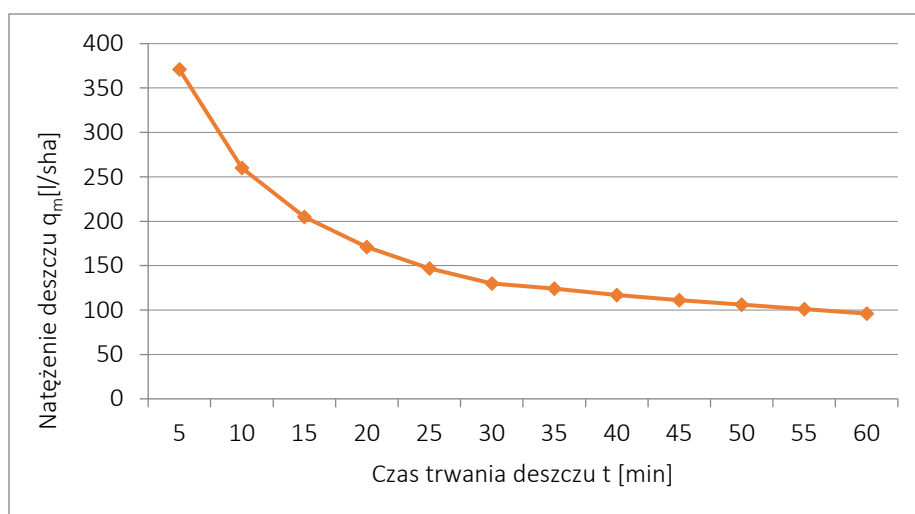
Lokalizacja (kategoria zagospodarowania terenu)	Częstość deszczu obliczeniowego wg PN-S-02204:1997 [1 raz na C lat]
Tereny wiejskie	1 na 1
Tereny mieszkaniowe	1 na 2
Centra miast, tereny usługowe i przemysłowe	1 na 5
Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp.	1 na 10

Mimo zagospodarowania zlewni jako centra miast, tereny usługowe i przemysłowe konieczne jest uwzględnienie pracy przepompowni, która znajduje się na obszarze opracowania. W związku z tym, na podstawie powyższej tabeli oraz po uzgodnieniach z Gdańskimi Wodami do modelowania jako podstawowe prawdopodobieństwa przyjęto  $p=10\%$  ( $C=10$  lat). W celu sprawdzenia pracy pompowni przyjęto dodatkowe prawdopodobieństwo na poziomie  $p=3\%$  ( $C=30$  lat).

### 1.5.5. Ustalenie czasu trwania opadu

Dla przyjętej określonej częstości występowania deszczu obliczeniowego  $C$  należy przyjąć odpowiednie miarodajne natężenie deszczu  $q_m$  zależne od miarodajnego czasu jego trwania  $t_{dm}$ . Uogólniając, związek między średnim natężeniem deszczu  $q_m$ , czasem jego trwania  $t_d$  i częstotliwością  $C$  jest taki, że wraz ze wzrostem czasu trwania deszczu, dla jednakowej statystycznej częstotliwości występowania, natężenie deszczu maleje (Kotowski, 2011).

Rysunek 12 przedstawia powyższą zależność dla prawdopodobieństwa  $C=10$  lat dla deszczu obliczonych wg formuły Bogdanowicz-Stachy.



Rysunek 12. Zależność (typu IDF) natężenia deszczu  $q$  od czasu trwania  $t_d$  dla częstości występowania  $C=10$  lat dla deszczu wg formuły Bogdanowicz-Stachy dla regionu R2

Każdemu przekrojowi pojedynczego kanału na jego trasie odpowiada inny czas spływu deszczu, a zatem inna wartość  $q_m(t_{dm})$  jest miarodajna do zwymiarowania kanału w danym przekroju. To oznacza, że im dalszy przekrój obliczeniowy jest rozpatrywany, tym dłuższy jest czas spływu i tym mniejsze  $q_m$  (dla danej częstości  $C$ ). Analizując jak w przedmiotowym przypadku duże zlewnie zakłada się, iż czas deszczu miarodajnego jest co najmniej równy czasowi przepływu wód w danym kanale (Kotowski, 2011).

Obszar objęty opracowaniem zawiera dwie zlewnie, każda z własnym wylotem do Potoku Strzyża. Do obliczeń przyjęto najdłuższy odcinek KD, po czym przy założeniu prędkości równej 1 m/s obliczono maksymalny czas przepływu w KD z poniższego wzoru, a następnie na tej podstawie przyjęto minimalny czas trwania opadu miarodajnego dla każdej ze zlewni:

$$t_p = \frac{l}{60 \cdot v}$$

gdzie:

$t_p$  – czas trwania opadu [min],

$l$  – najdłuższy odcinek kolektora KD [m],

$v$  – prędkość [m/s].

Podczas analizy stanu istniejącego zdecydowano się na przeprowadzenie serii symulacji hydrodynamicznych o czasie trwania 30 min, 60 min, 90 min oraz 120 min. Najbardziej niekorzystnym scenariuszem okazała się symulacja o czasie trwania 90 min, dlatego w dalszych rozdziałach przedstawiono rysunki dla tego stanu.

### 1.5.6. Baza opadowa

W celu przeprowadzenia szeregu symulacji hydrodynamicznych utworzono bazę danych opadowych w programie CivilStorm.

Dla zadań takich jak obliczenia sprawdzające istniejący system oraz weryfikacja częstotliwości nadpiętrzenia systemów odwodnienia zgodnie z wytycznymi Gdańskich Wód zastosowano metodykę DVWK. Według zaleceń DVWK (1984) (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau) jako rozkład natężenia deszczu należy przyjmować deszcz z maksymalnym natężeniem w połowie czasu jego trwania. W scenariuszu DVWK rozkład sumy opadu w czasie jego trwania rozkłada się następująco: w początkowym czasie, który wynosi 30% trwania opadu  $t$ , spada 20% całkowitej sumy opadu. W kolejnych 20% czasu  $t$  spada 50% deszczu, a w jego końcowym etapie, czyli 50% czasu  $t$  spada 30% całkowitej sumy opadu.

Wspomniane powyżej opady modelowe są sztucznymi hietogramami (scenariuszami zmienności czasowej) opadów. Opady modelowe konstruuje się przyjmując odpowiedni poziom prawdopodobieństwa wystąpienia opadu i czas jego trwania. Czas trwania takiego opadu modelowego dostosowuje się do wielkości modelowanej zlewni (zaleceniem jest, aby był on dłuższy od dwukrotności czasu przepływu ścieków kanałami). Podobnie prawdopodobieństwo wystąpienia opadu uzależnia się od zagospodarowania zlewni (rodzaju zagospodarowania zlewni). Na koniec wartości warstw deszczów dla poszczególnych elementów hietogramu wylicza się na podstawie znajomości lokalnych natężeń deszczów miarodajnych, co jest szczegółowo zdefiniowane w załączniku do Komentarza ATV-DVWK do ATV – A118P (Schmitt, 2000). Natomiast wartości lokalnych natężeń deszczów miarodajnych wyznacza się z modelu deszczów miarodajnych, zwanego też często krzywą natężenia deszczu (lub opadem blokowym). Zlecniodawca zaleca prowadzenie wszelkich obliczeń zgodnie z wytycznymi „Gdańskich Melioracji”, zawierających zbiór wymagań wykonawczych i eksploatacyjnych. Według wspomnianych wytycznych natężenie opadu obliczeniowego dla częstości  $C \geq 2$  zaleca się wyznaczać wg tzw. formuły IMiGW Bogdanowicz – Stachy.

#### Model Bogdanowicz i Stachy

Bogdanowicz i Stachy, na podstawie ogólnopolskich pomiarów deszczu w latach 1960÷1990 na 20 stacjach meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, opublikowali w 1998 roku tzw. „charakterystyki projektowe” opadów, w postaci modelu probabilistycznego maksymalnych wysokości:

$$h_{max} = 1,42 \cdot t^{0,33} + \alpha(R, t) \cdot (-\ln p)^{0,584} \quad (5.1.)$$

gdzie:

- $h_{max}$  – maksymalna wysokość opadu, mm,
- $t$  – czas trwania deszczu, min,
- $p$  – prawdopodobieństwo przewyższenia opadu:  $p \in (0; 1]$ ,



$\alpha$  – parametr (skali) zależny od regionu Polski (wg rysunek 1) i czasu  $t$ .

Do opracowania modelu przyjęto za podstawę 31 opadów maksymalnych, po jednym największym z każdego roku obserwacji (1960-1990), dla każdej z 20 stacji meteorologicznych IMGW.

Dla  $p = 1$  model ten upraszcza się do postaci:

$$h_{max}(p = 1) = 1,42 \cdot t^{0,33} \quad (5.2.)$$

Dla prawdopodobieństw przewyższenia  $p < 1$  (czyli dla  $C > 1$ ) w regionie północno – zachodnim Polski (R2), w którym leży Gdańsk, przy rozpatrywaniu opadów o czasie trwania  $t \in [5, 60]$  min parametr  $\alpha$  oblicza się według wzorów:

$$\alpha(R,t)=3.92 \ln(t+1)-1.662 \quad - \text{ dla } t \in [5;30] \text{ min}, \quad (5.3.)$$

$$\alpha(R,t)=9.160 \ln(t+1)-19.60 \quad - \text{ dla } t \in (30;60) \text{ min}. \quad (5.4.)$$

Kiedy czas trwania opadów przewyższa 60 min, region R2 zanika przechodząc w R1.

$$\alpha(R,t)=4.693 \ln(t+1)-1.249 \quad - \text{ dla } t \in [5;120] \text{ min}. \quad (5.5.)$$



Rysunek 13. Regiony opadów maksymalnych dla czasów trwania deszczy  $t \in [5;120]$  min; R1 – region centralny, R2 – region północno – zachodni

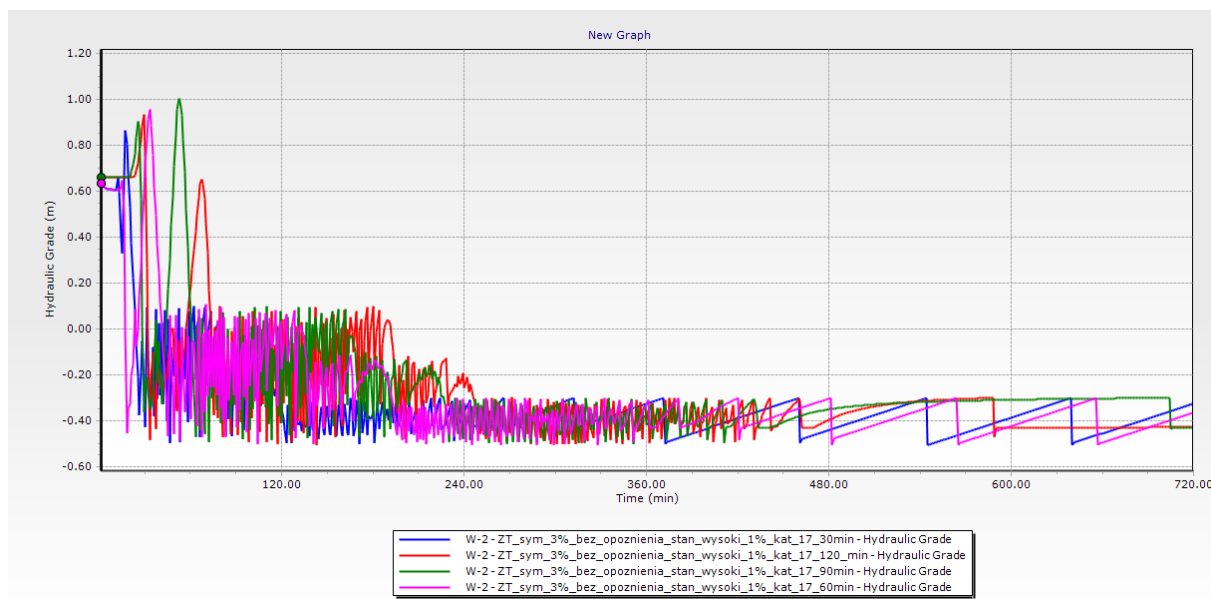
Model Bogdanowicz – Stachy został użyty w celu uzyskania wartości intensywności deszczu niezbędnych do budowy hietogramów nadających się do symulacji hydrodynamicznych systemach odwadniających – zgodnie z metodyką według DVWK 1984.

Konkretne wartości natężeń miarodajnych deszczów dla prawdopodobieństw  $p=3\%$ ,  $p=10\%$  (odpowiednio  $C=30$  lat,  $C=10$  lat,) i czasów trwania wyznaczono na podstawie równań (5.1 – 5.4) dla regionu R2. W celu przedstawienia danych w postaci hietogramów odczytane wartości natężeń deszczu przeliczono z  $\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$  na  $\text{mm/min}$ .

Na podstawie przyjętych intensywności opadów obliczono warstwy opadów miarodajnych, co przedstawia tabela 10 dla odpływu O1 oraz O2. Wartości te posłużyły docelowo do skonstruowania przedstawionych na rysunkach 15-20 hietogramów wzorcowych.

Po wykonaniu serii symulacji dla wariantu 5 zasilonego opadami o czasie trwania 30, 60, 90 oraz 120min wybrano opad o  $t = 90$  min. Na rysunku poniżej przedstawiono rzędną zwierciadła wody w

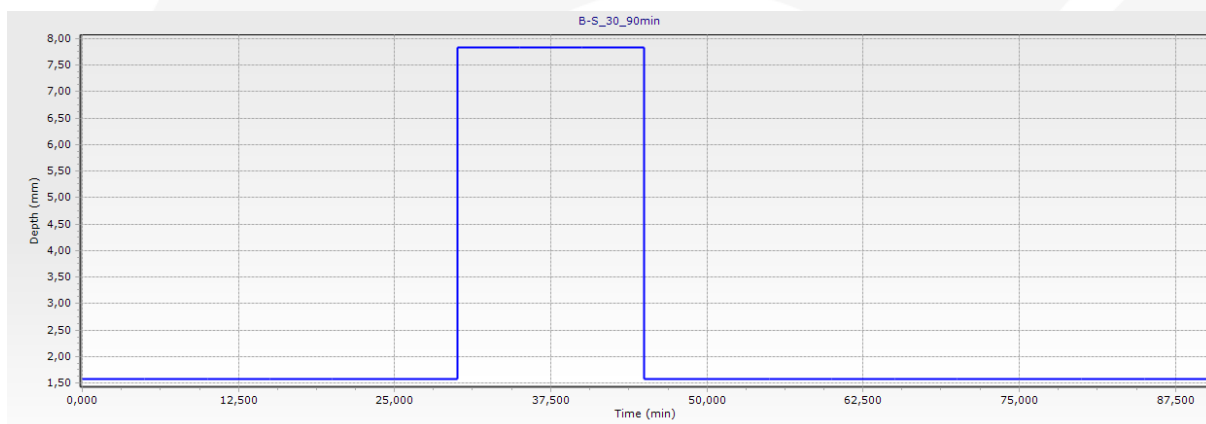
zbiorniku przepompowni dla 4 scenariuszy. Maksymalne napętnienie zbiornika pompowni występuje dla opadu o  $t = 90$  min, zbiornik napętnia się do 1 m n. p. m. Przyjęto stan wysoki w odbiorniku dla prawdopodobieństwa przewyższenia 1% i czasu trwania opadu 60 min zgodnie z załącznikiem SWO-KP-S-Z102-1 *Obliczenia hydrologiczne i hydrauliczne w zlewni potoku Strzyża w Gdańsku na potrzeby przedsięwzięcia: Budowa pompowni wspomagającej przy ul. Swojskiej* autorstwa dr hab. Inż. Piotra Zimy, styczeń 2019 r.



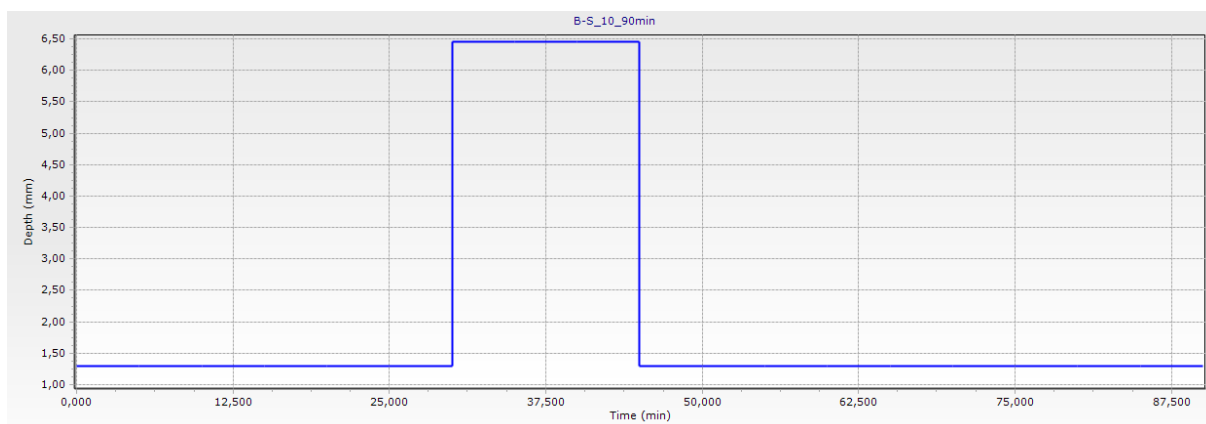
Dlatego też do wykonania symulacji hydrodynamicznych w modelu zlewni O1 i O2 przyjęto opad o czasie trwania  $t=90$ min, jako najbardziej obciążający dla pompowni.

Tabela 10. Wysokości opadów deszczów miarodajnych przyjmowanych do skonstruowania opadu według metodyki DVWK 1984 dla odpływu O1 oraz O2

O1 i O2		
Model	Opad 30-letni	Opad 10-letni
min	mm	mm
5	1,57	1,29
10	1,57	1,29
15	1,57	1,29
20	1,57	1,29
25	1,57	1,29
30	1,57	1,29
35	7,83	6,45
40	7,83	6,45
45	7,83	6,45
50	1,57	1,29
55	1,57	1,29
60	1,57	1,29
65	1,57	1,29
70	1,57	1,29
75	1,57	1,29
80	1,57	1,29
85	1,57	1,29
90	1,57	1,29
<b>Suma</b>	<b>47,04</b>	<b>38,70</b>



Rysunek 14. Hietogram opadu modelowego według metodyki DVWK 1984 dla deszczu 30-letniego, oparty o model natężeń deszczów Bogdanowicz – Stachy

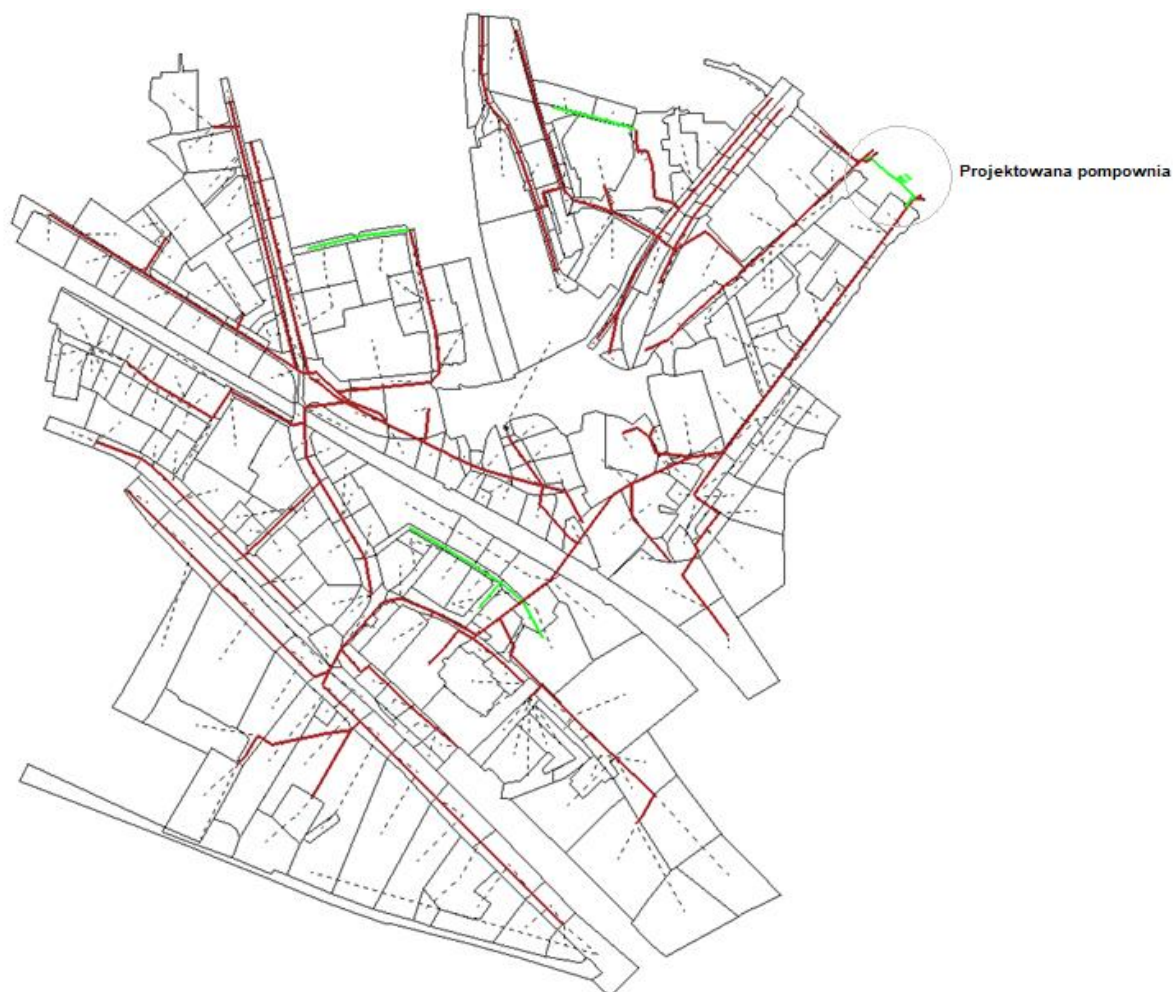


Rysunek 15. Hietogram opadu modelowego według metodyki DVWK 1984, dla deszczu 10-letniego, oparty o model natężeń deszczów Bogdanowicz – Stachy

### 1.5.7. Model hydrodynamiczny obszaru przy ul. Swojskiej w Gdańsku

Dla istniejącej sieci KD przy ul. Swojskiej w Gdańsku stworzono wspólny model dotyczący zarówno zlewni ul. Okrąg, jak i ul. Twardej (Rysunek 16). Stworzono 2 scenariusze obliczeniowe różniące się prawdopodobieństwem wystąpienia opadu.





Rysunek 16. Schemat modelu hydrodynamicznego opracowanego w programie CivilStorm dla obszaru opracowania przy ul. Swojskiej w Gdańsku dla stanu istniejącego. Kolorem jasnozielonym zaznaczono kanały sieci kanalizacji deszczowej, które zostały dodane do stanu projektowanego.

W tabeli 11 zestawiono długości oraz średnice przewodów wchodzących w skład zlewni O1 i O2, a w tabeli 12 liczebność poszczególnych elementów składowych modelu. Zbudowany model składał się w sumie z 272 kanałów podziemnych o łącznej długości 9,3 km. Wspomniane kanały były połączone wzajemnie 269 studzienkami kanalizacyjnymi i odprowadzały ścieki deszczowej do 2 odrębnych wylotów.

System o scharakteryzowanej powyżej topologii odprowadzał spływy powierzchniowe wód opadowych ze zlewni o łącznym obszarze 91,4 ha, na którym wydzielono łącznie 365 elementarnych zlewni spływu. Średni obszar pojedynczej elementarnej zlewni spływu wynosił 0,250 ha, co pozwoliło na precyzyjne odwzorowanie na modelu dynamiki zjawiska spływu powierzchniowego i jego koncentracji w sieci kanalizacji deszczowej.

Tabela 11. Zestawienie długości przewodów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania w stanie istniejącym

Zlewnia O1			Zlewnia O2		
Średnica przewodu	Ilość	Całkowita długość [m]	Średnica przewodu	Ilość	Całkowita długość [m]
0,200 m	3	86,5	0,200 m	5	105,9
0,250 m	1	48,5	0,250 m	1	37,2
0,300 m	28	887,3	0,300 m	80	2 624,9
0,400 m	20	646,5	0,400 m	36	1 567,8
0,500 m	11	361,0	0,500 m	23	704,6
0,600 m	3	26,3	0,600 m	20	688,4
0,800 m	4	123,1	0,700 m	4	187,3
1,000 m	6	238,0	0,800 m	5	165,8
-			1,000 m	22	815,9
<b>Suma</b>	<b>76</b>	<b>2 417,2</b>	<b>Suma</b>	<b>196</b>	<b>6 897,8</b>

Tabela 12. Zestawienie liczby elementów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania w stanie istniejącym

Elementy	Zlewnia O1	Zlewnia O2
Kanały podziemne	76	196
Studzienki	75	194
Zlewnie	82	283
Odpływ	1	1

#### a) Stan prognozowany

Podobne zestawienie przedstawiono dla stanu prognozowanego, gdzie w tabeli 13 zestawiono długości oraz średnice przewodów, a w tabeli 14 liczebność poszczególnych elementów składowych modelu.

Stan prognozowany uwzględnia dodatkowe odcinki sieci KD, których budowa pozwala uwzględnić rozwój systemów odwodnienia na przedmiotowym terenie w przyszłości. Ponadto na terenach zabudowanych przeanalizowano obecny stopień zabudowy oraz prognozowany według MPZP, po czym do obliczeń przyjęto wariant mniej korzystny.

Zbudowany model składał się w sumie z 296 kanałów podziemnych o łącznej długości 10,2 km. Wspomniane kanały były połączone wzajemnie 281 studzienkami kanalizacyjnymi i odprowadzały ścieki deszczowej do 2 odrębnych wylotów.

System o scharakteryzowanej powyżej topologii odprowadzał spływy powierzchniowe wód opadowych ze zlewni o łącznym obszarze 91,4 ha, na którym wydzielono łącznie 365 elementarnych zlewni spływu. Średni obszar pojedynczej elementarnej zlewni spływu wynosił 0,250 ha, co pozwoliło na precyzyjne odwzorowanie na modelu dynamiki zjawiska spływu powierzchniowego i jego koncentracji w sieci kanalizacji deszczowej.

**W sumie długość systemu KD została powiększona o 925,2 m.**

Tabela 13. Zestawienie długości przewodów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania na stan prognozowany

Zlewnia O1			Zlewnia O2		
Średnica przewodu	Ilość	Całkowita długość [m]	Średnica przewodu	Ilość	Całkowita długość [m]
0,200 m	3	86,5	0,200 m	5	105,9
0,250 m	1	48,5	0,250 m	3	138,7
0,300 m	31	1 005,8	0,300 m	93	3 160,1
0,400 m	20	646,5	0,400 m	36	1 567,8
0,500 m	11	361,0	0,500 m	25	845,1
0,600 m	4	26,3	0,600 m	20	688,4
0,800 m	4	123,1	0,700 m	4	187,3
1,000 m	7	238,1	0,800 m	5	165,8
-			1,000 m	24	827,4
<b>Suma</b>	<b>81</b>	<b>2 553,8</b>	<b>Suma</b>	<b>215</b>	<b>7 686,4</b>

Tabela 14. Zestawienie liczby elementów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania na stan prognozowany

Elementy	Zlewnia O1	Zlewnia O2
Kanały podziemne	80	213
Studzienki	80	212
Zlewnie	82	283
Odływ	1	1

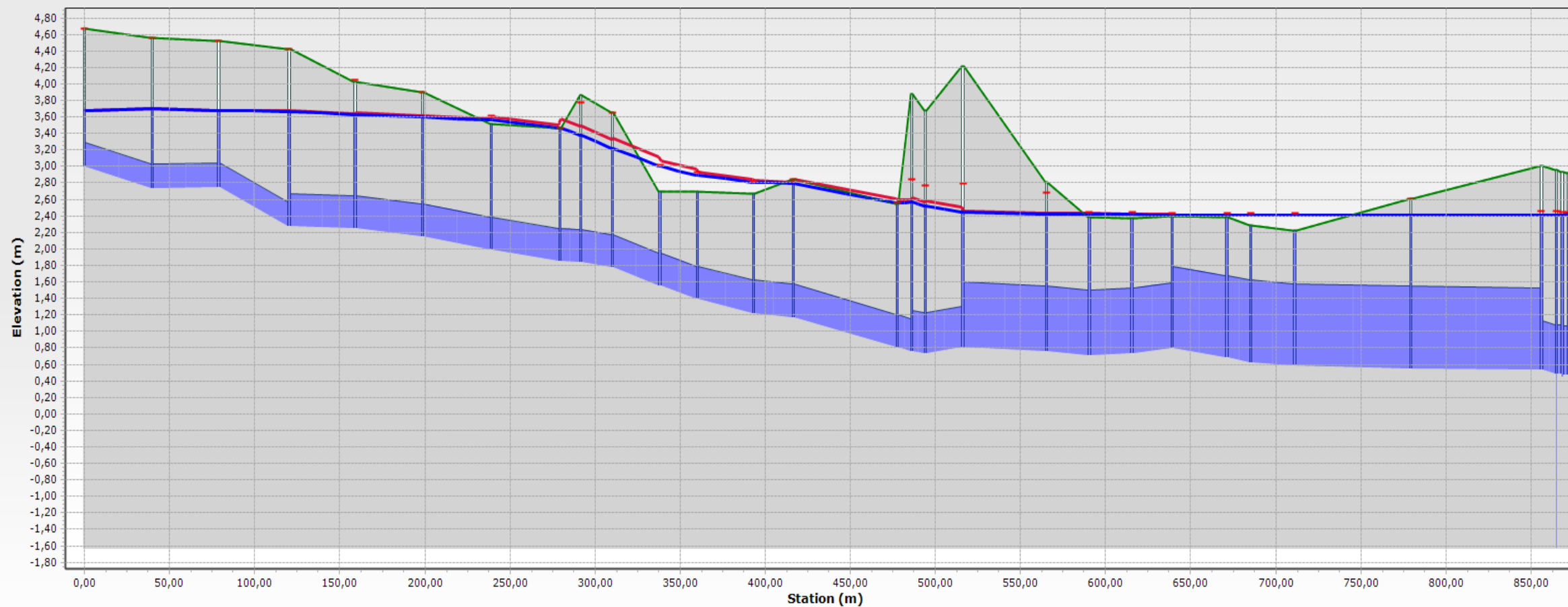
### 1.5.8. Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej zlewni ul. Okrąg dla stanu istniejącego

Kolektor przebiegający w ulicy Okrąg w Gdańsku kończy się wylotem do Potoku Strzyża. Po wprowadzeniu danych do modelu przeprowadzono symulacje dla 2 scenariuszy wynikających z przyjętych 2 różnych prawdopodobieństw dla czasu 90 min. Na serii rysunków 22-24 przedstawiono wyniki symulacji w postaci profili podłużnych głównego kolektora przebiegającego pod ulicą Okrąg z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień oraz energii towarzyszących maksymalnym przepływom w sieci.

W wyniku przeprowadzonych symulacji i ich wyników stwierdzono, że kolektor kanalizacji deszczowej nie działa prawidłowo w żadnym z analizowanych wariantów. We wszystkich wariantach dochodzi do nadpiętrzeń wód opadowych w studzienkach kanalizacyjnych. Zdiagnozowane nadpiętrzenia występują zbyt często w stosunku do przyjmowanych w wytycznych technicznych wartości dopuszczalnych.

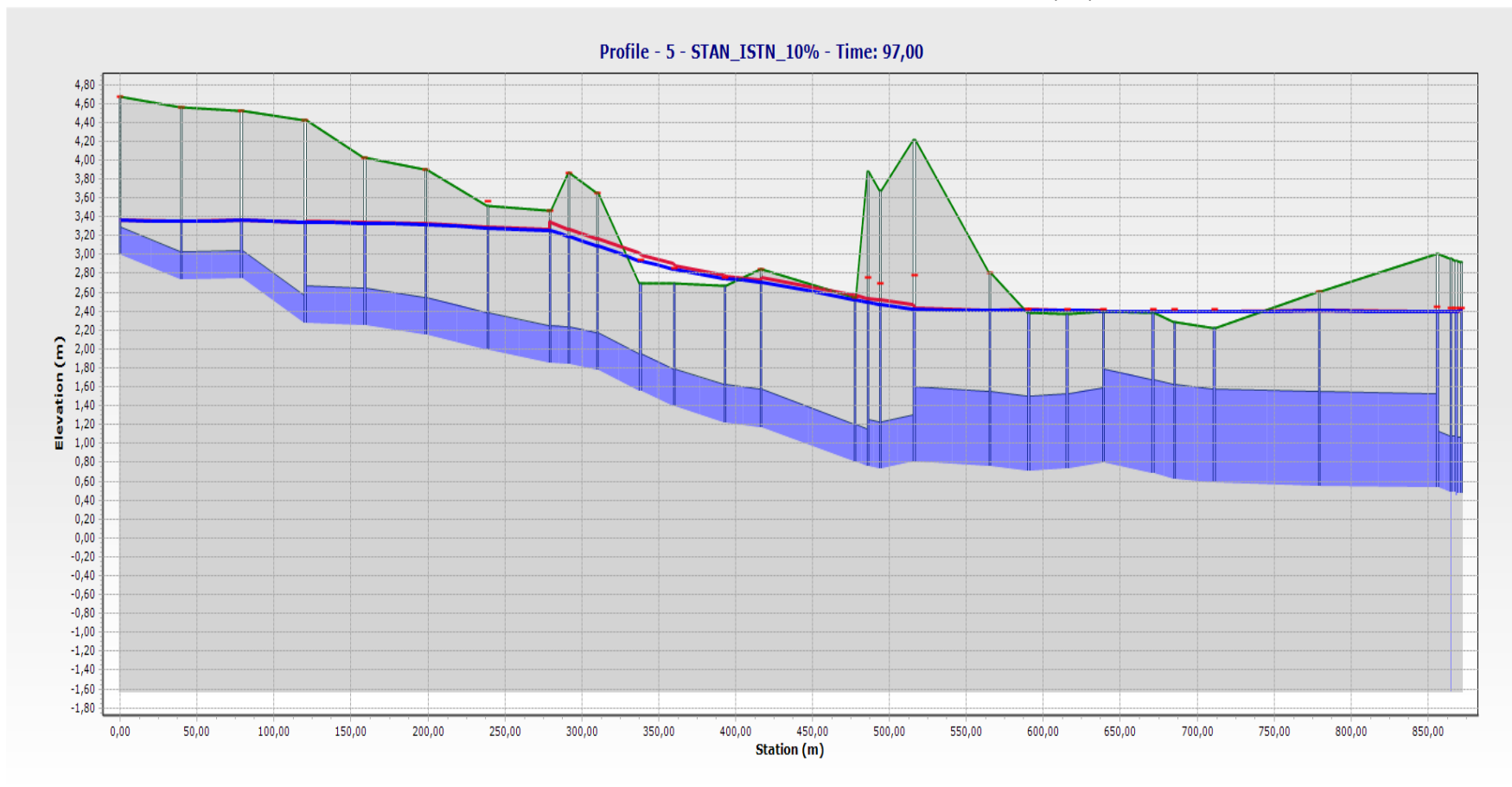
W tabeli 17 zestawiono ogólną informację o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Okrąg w Gdańsku. W tabeli zawarto informacje o liczbie studzienek, w których dochodzi do spiętrzenia lub wręcz nawet nadpiętrzenia ścieków (przez nadpiętrzenie rozumie się spiętrzenie poziomu ścieków powyżej powierzchni terenu w studniach kanalizacyjnych), ponadto podano informację o liczbie kanałów pracujących ciśnieniowo dla różnych przyjętych do symulacji opadów modelowych.

Profile - 5 - stan\_Istn\_30% - Time: 97,00



Rysunek 17. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnemu przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa  $p=3\%$  dla zlewni ul. Okrąg oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.





Rysunek 18. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnemu przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa  $p=10\%$  dla zlewni ul. Okrąg oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

Tabela 15. Informacje o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Okrąg w Gdańsku

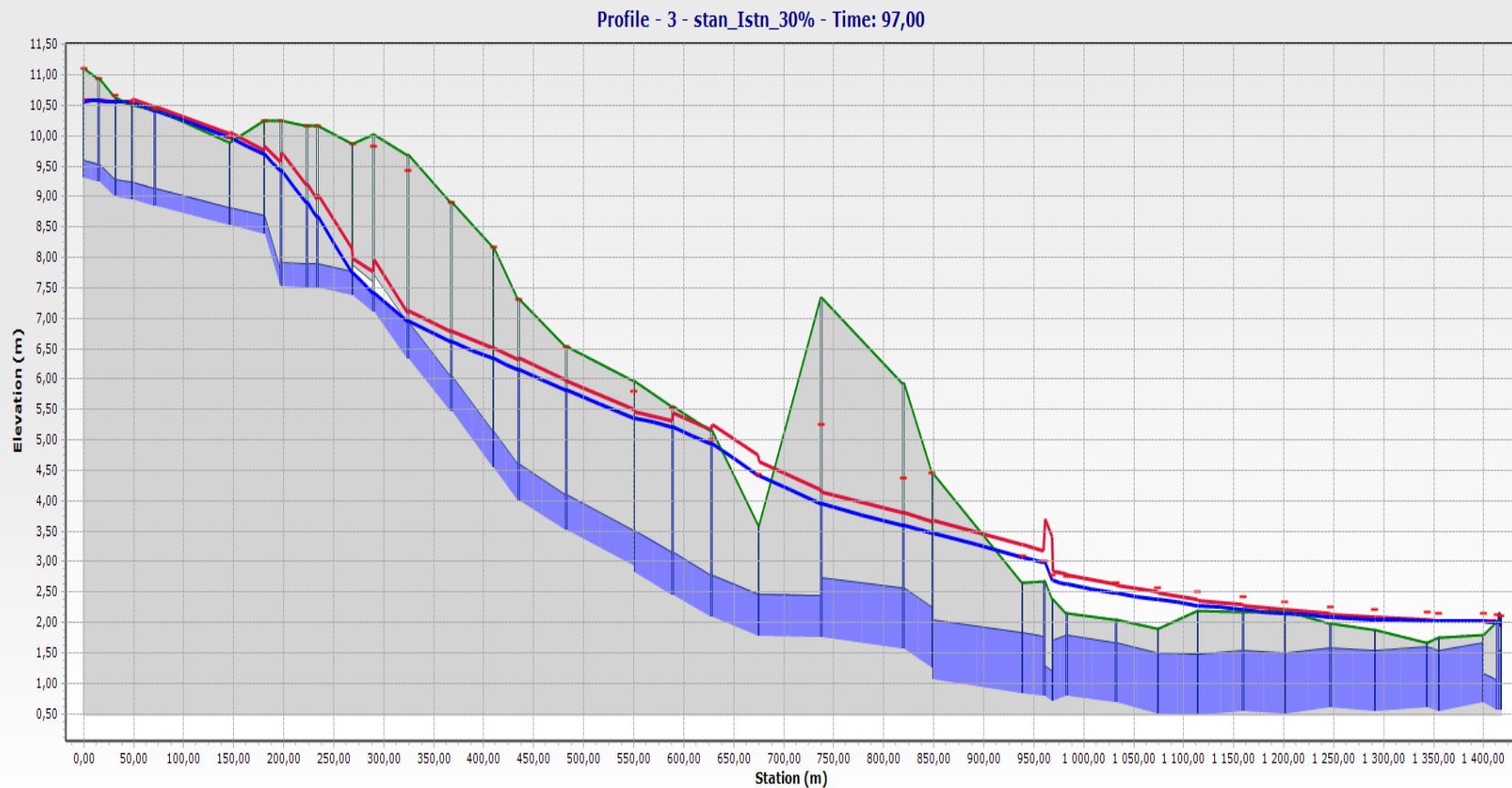
Zlewnia ul. Okrąg	Model opadowy/częstość deszczu		Liczba studni ze spiętrzeniami	Liczba studni z nadpiętrzeniami	Liczba kanałów pracujących ciśnieniowo
	C=30 lat	p=3%			
	C=10 lat	p=10%			
			79	32	80
			79	29	80

### 1.5.9. Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej zlewni ul. Twardej dla stanu istniejącego

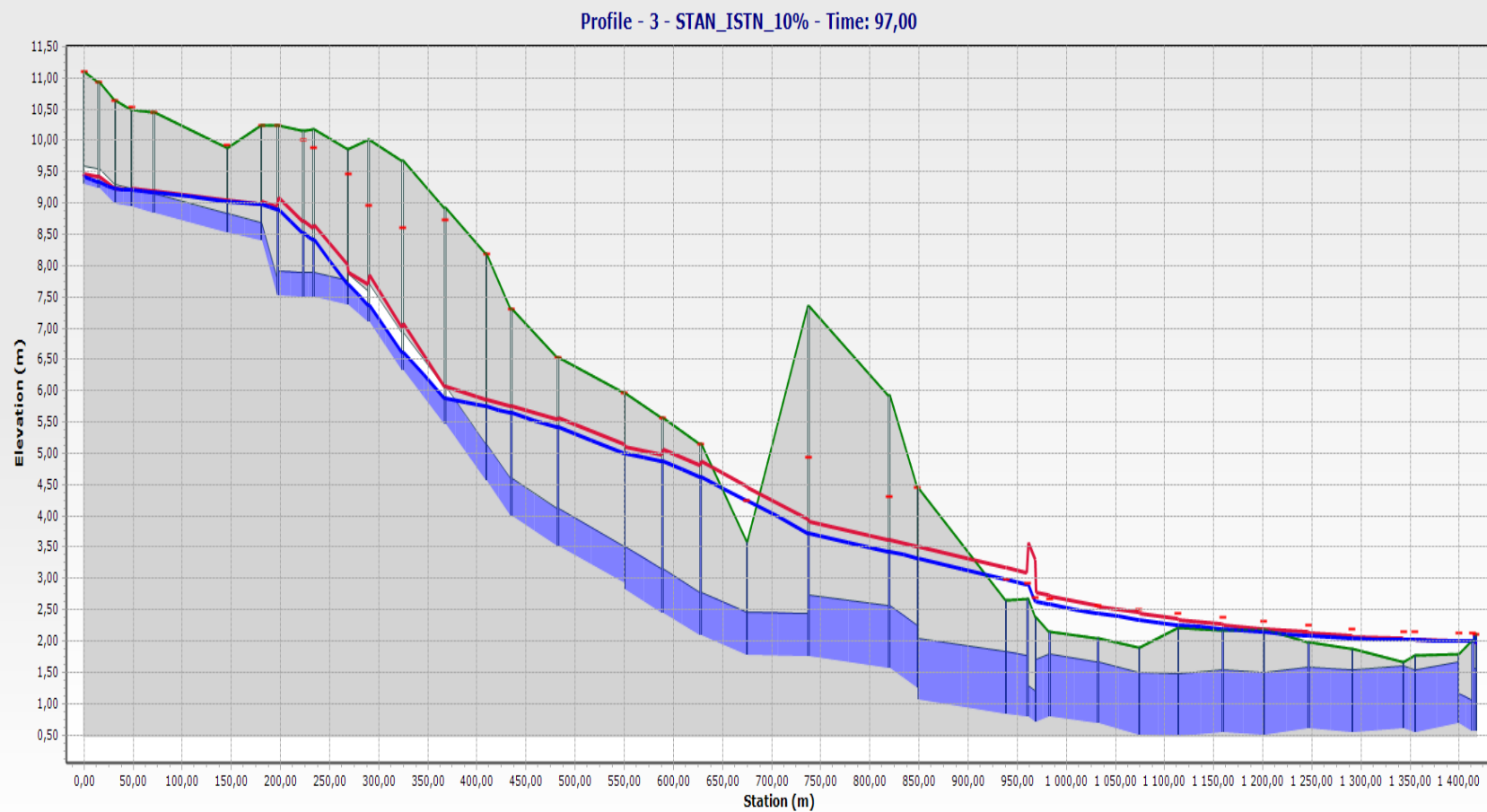
Kolektor przebiegający w ul. Twardej w Gdańsku również kończy się wylotem do Potoku Strzyża. Symulacje przeprowadzono dla 2 różnych prawdopodobieństw dla czasu trwania 90 min. Na serii rysunków 25-26 przedstawiono wyniki symulacji w postaci profili podłużnych głównego kolektora przebiegającego pod ulicą Twardą z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień oraz energii towarzyszących maksymalnym przepływowi w sieci.

W wyniku przeprowadzonych symulacji i ich wyników stwierdzono, że kolektor kanalizacji deszczowej nie działa prawidłowo w żadnym z analizowanych wariantów. We wszystkich wariantach dochodzi do nadpiętrzeń wód opadowych w studzienkach kanalizacyjnych. Zdiagnozowane nadpiętrzenia występują zbyt często w stosunku do przyjmowanych w wytycznych technicznych wartości dopuszczalnych.

W tabeli 16 zestawiono ogólną informację o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Twardej w Gdańsku. W tabeli zawarto informacje o liczbie studzienek, w których dochodzi do spiętrzenia lub wręcz nawet nadpiętrzenia, ponadto podano informację o liczbie kanałów pracujących ciśnieniowo dla różnych przyjętych do symulacji opadów modelowych.



Rysunek 19 Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływom w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa  $p=3\%$  dla zlewni ul. Twardej oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża



Rysunek 20. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływom w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa  $p=10\%$  dla zlewni ul. Twardej oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

Tabela 16. Informacje o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Twardej w Gdańsku

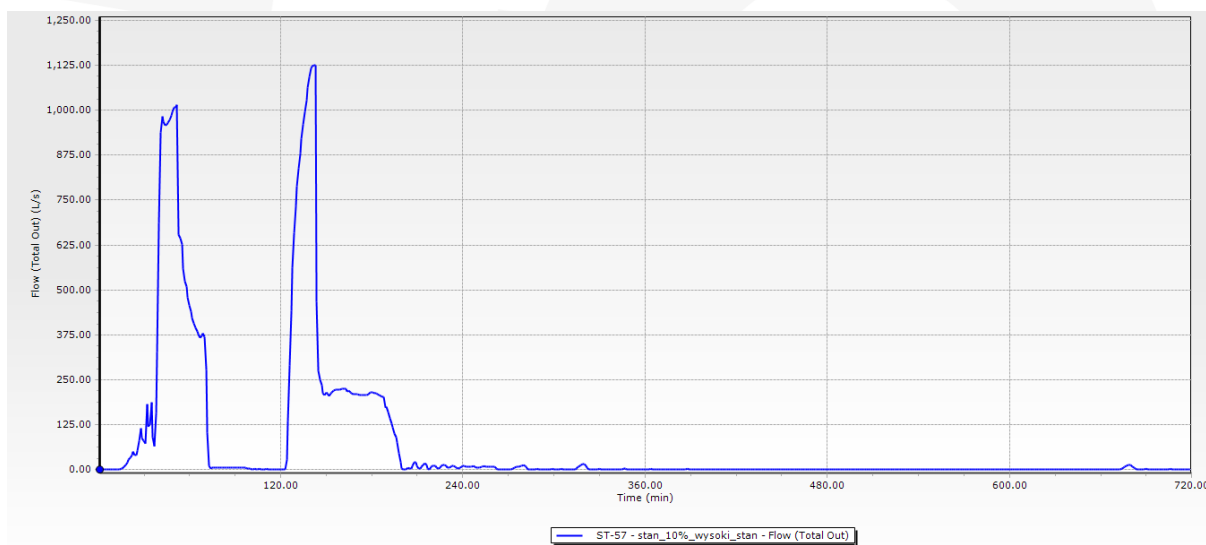
Zlewnia ul. Twardej	Model opadowy/częstość deszczu		Liczba studni ze spiętrzeniami	Liczba studni z nadpiętrzeniami	Liczba kanałów pracujących ciśnieniowo
	C=30 lat	p=3%			
	C=10 lat	p=10%			
			208	104	211
			204	87	209

Graficzne przedstawienie nadpiętrzeń w sieci kanalizacji deszczowej wraz z kanałami pracującymi ciśnieniowo dla zlewni ul. Okrąg i ul. Twardej dla stanu istniejącego przedstawia rysunek SWO-KP-S-R101-1.

### 1.5.10. Chwilowy odpływ ze zlewni ul. Okrąg i ul. Twardej

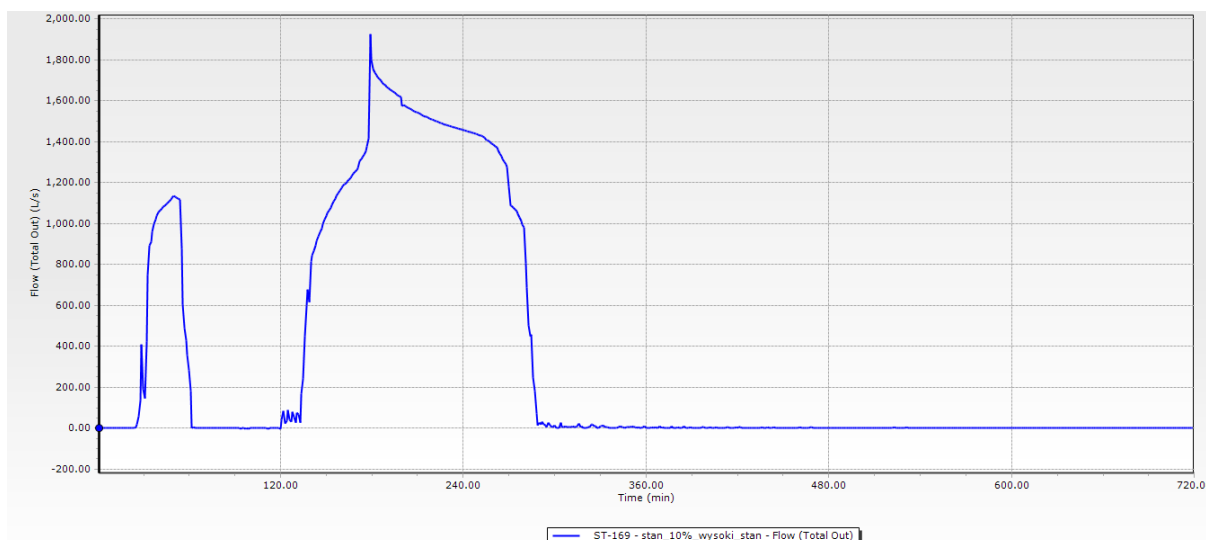
W wyniku przeprowadzenia symulacji komputerowych zdobyto wiedzę na temat przepustowości i przepływu w kanałach zamkniętych. Jednym z wyników obliczeń są wartości chwilowe natężenia odpływu z obydwu zlewni.

Na rysunkach 34-35 przedstawiono hydrogramy odpływu dla komór (odpowiednio K1 i K2) położonych bezpośrednio przed wylotami O1 i O2 dla prawdopodobieństwa  $p=10\%$  dla stanu istniejącego



Rysunek 21. Hydrogram odpływu z komory K1 dla zlewni O1 o prawdopodobieństwie 10% i czasie trwania  $t=90$  min dla stanu istniejącego oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

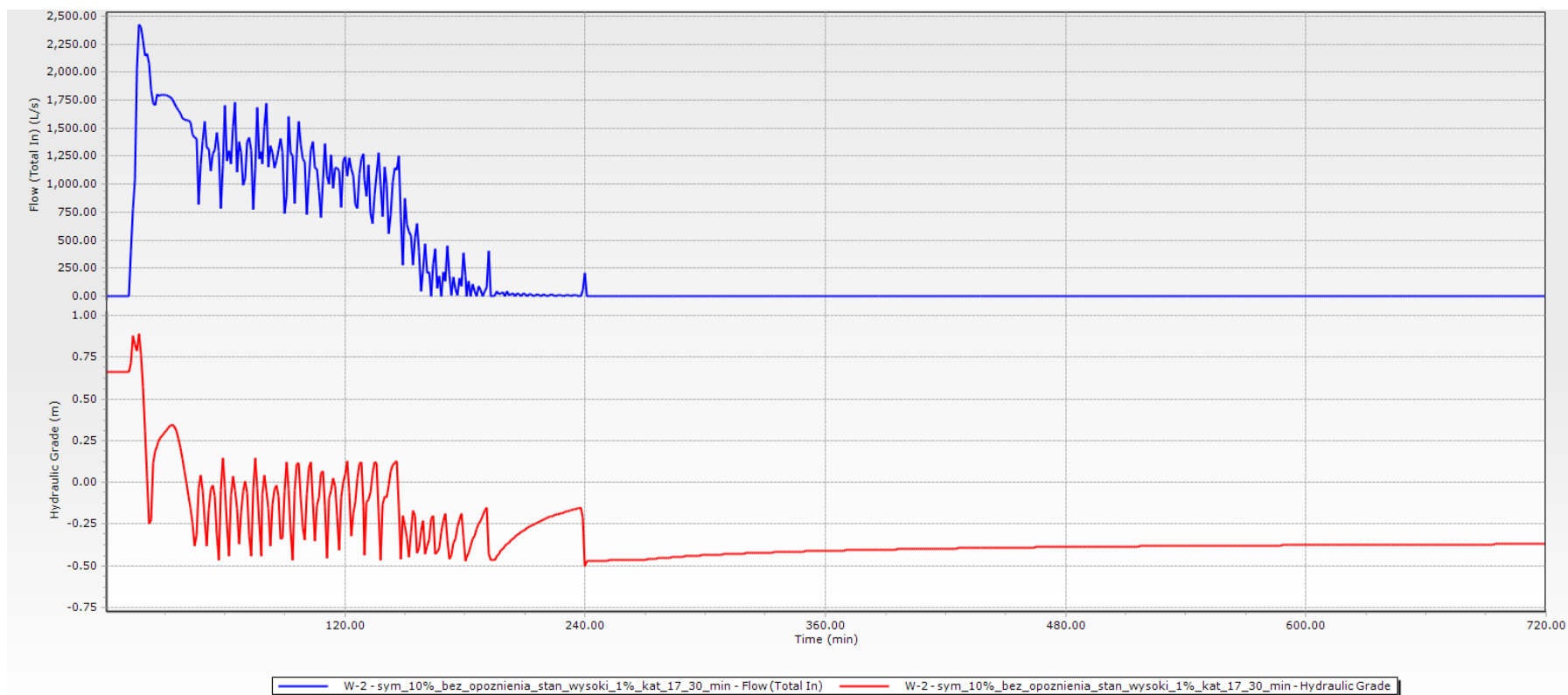




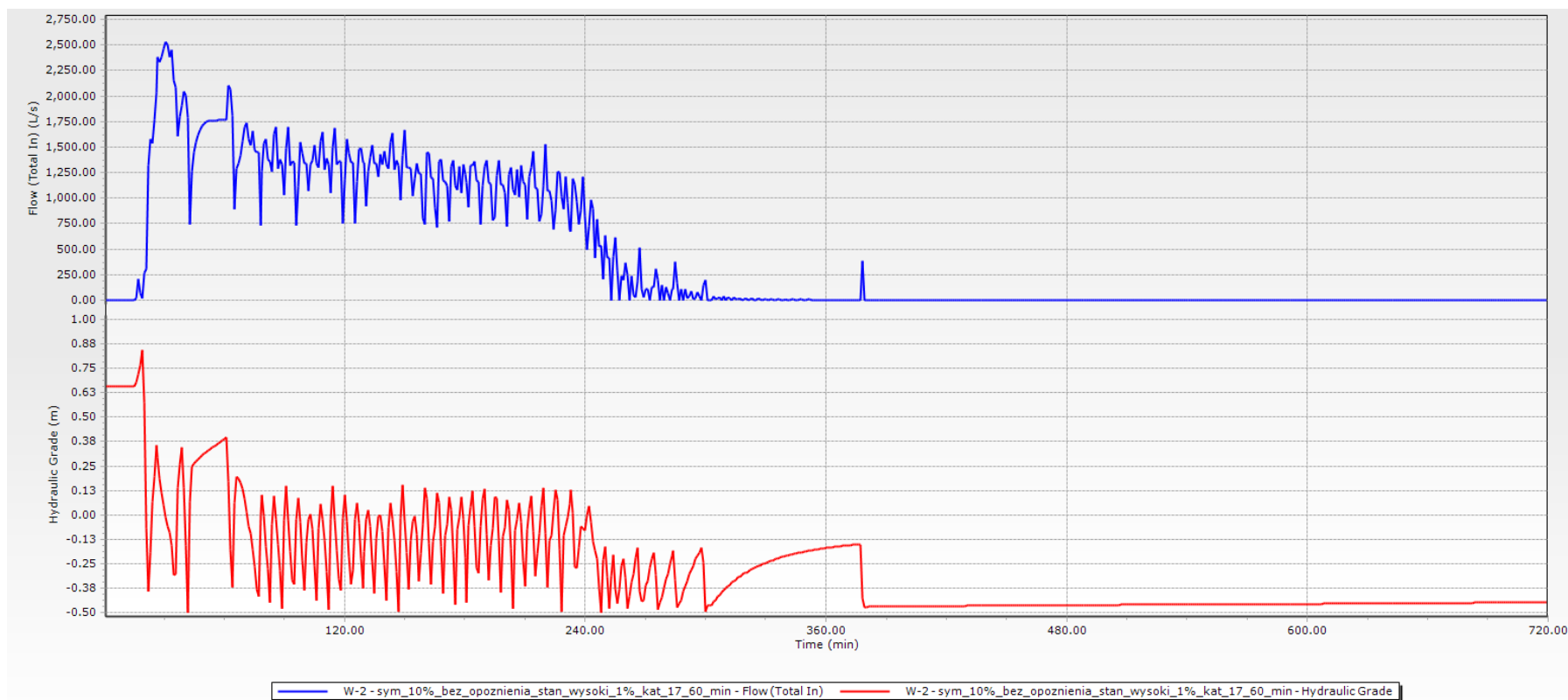
Rysunek 22. Hydrogram odpływu z komory K2 dla zlewni O2 o prawdopodobieństwie 10% i czasie trwania  $t=90$  min dla stanu istniejącego oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

### 1.5.11. Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej dla stanu projektowanego z budową pompowni przy ul. Swojskiej - Wariant 4

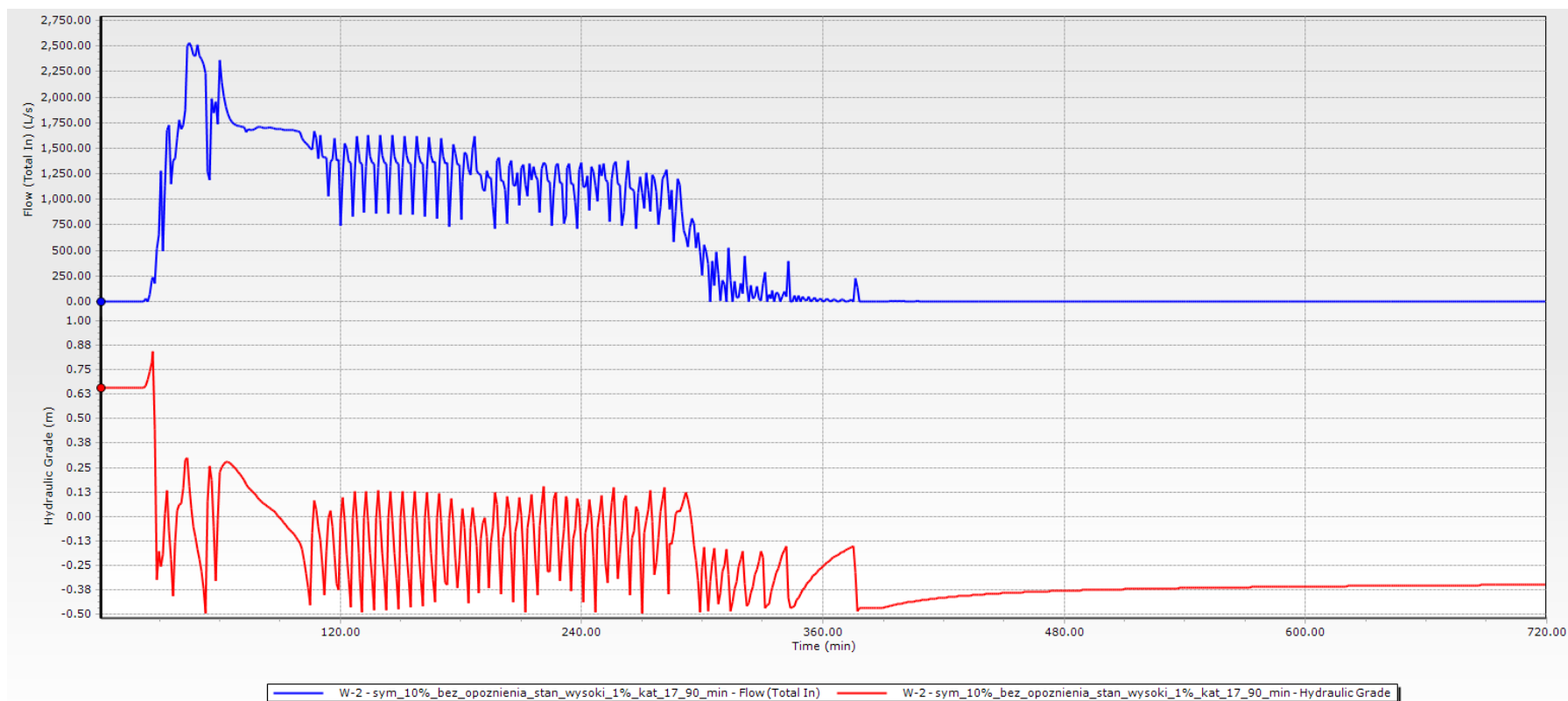
Planuje się budowę jednej przepompowni, do której dopływają nadmierne wody opadowe ze zlewni kolektora ul. Okrąg i ul. Twardej. Strumień wód opadowych, którego wielkość przekracza możliwości układu podczyszczania, będzie odprowadzany bypassami tych układów poprzez krawędzie przelewowe zlokalizowane w komorach K1 i K2. W przypomni zaprojektowano 3+1 pompa KSB Amacan PA4 700-470 kąt  $17^\circ$ . Szczegółowy opis przepompowni jest w dokumencie „SWO-KP-S-D301-1 Koncepcja obliczenia”. Przeprowadzono obliczenia dla czterech o czasie trwania  $t = 30, 60, 90$  oraz 120min. Poniżej na wykresach przedstawiono dopływy do przepompowni oraz napełnienie w zbiorniku. Do obliczeń przyjęto stan wysoki w odbiorniku.



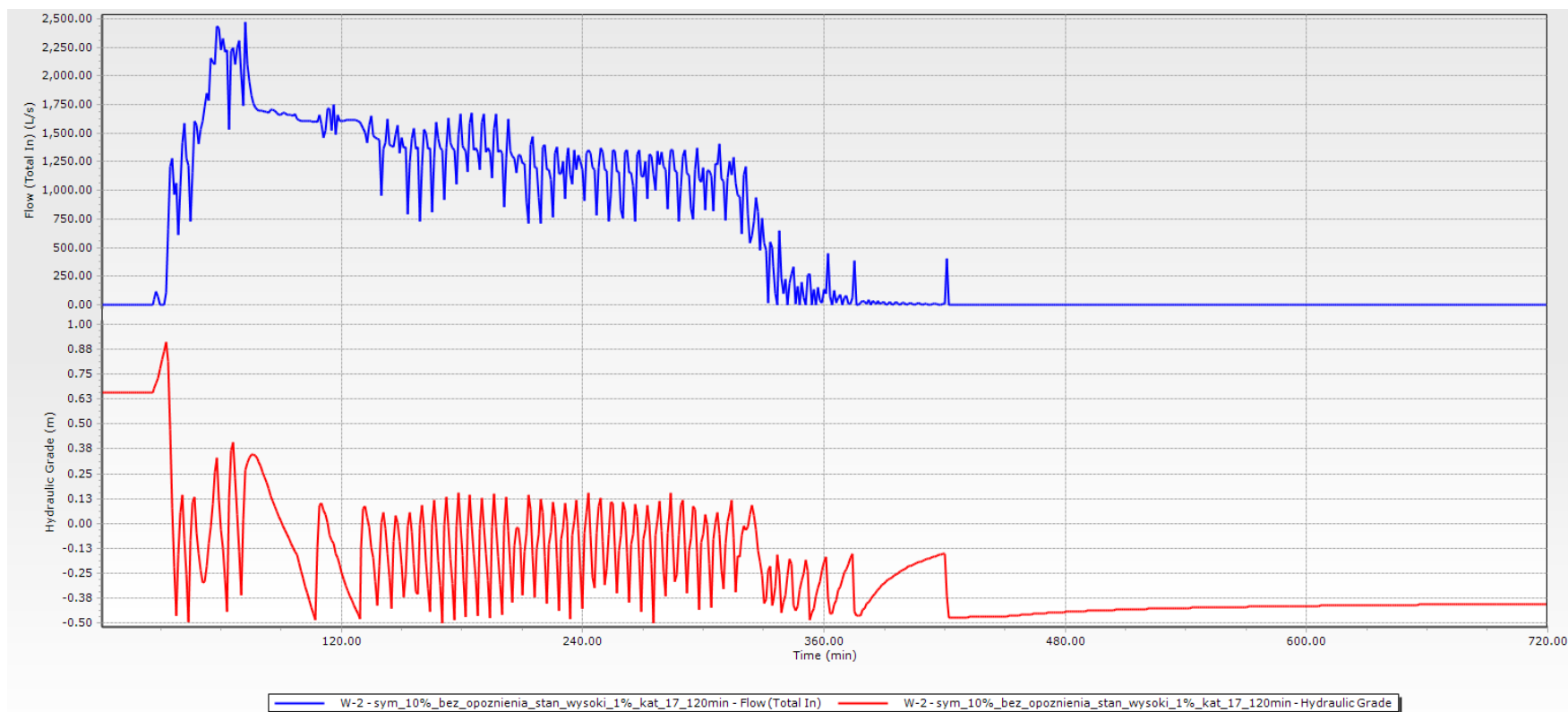
Rysunek 23 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 30$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



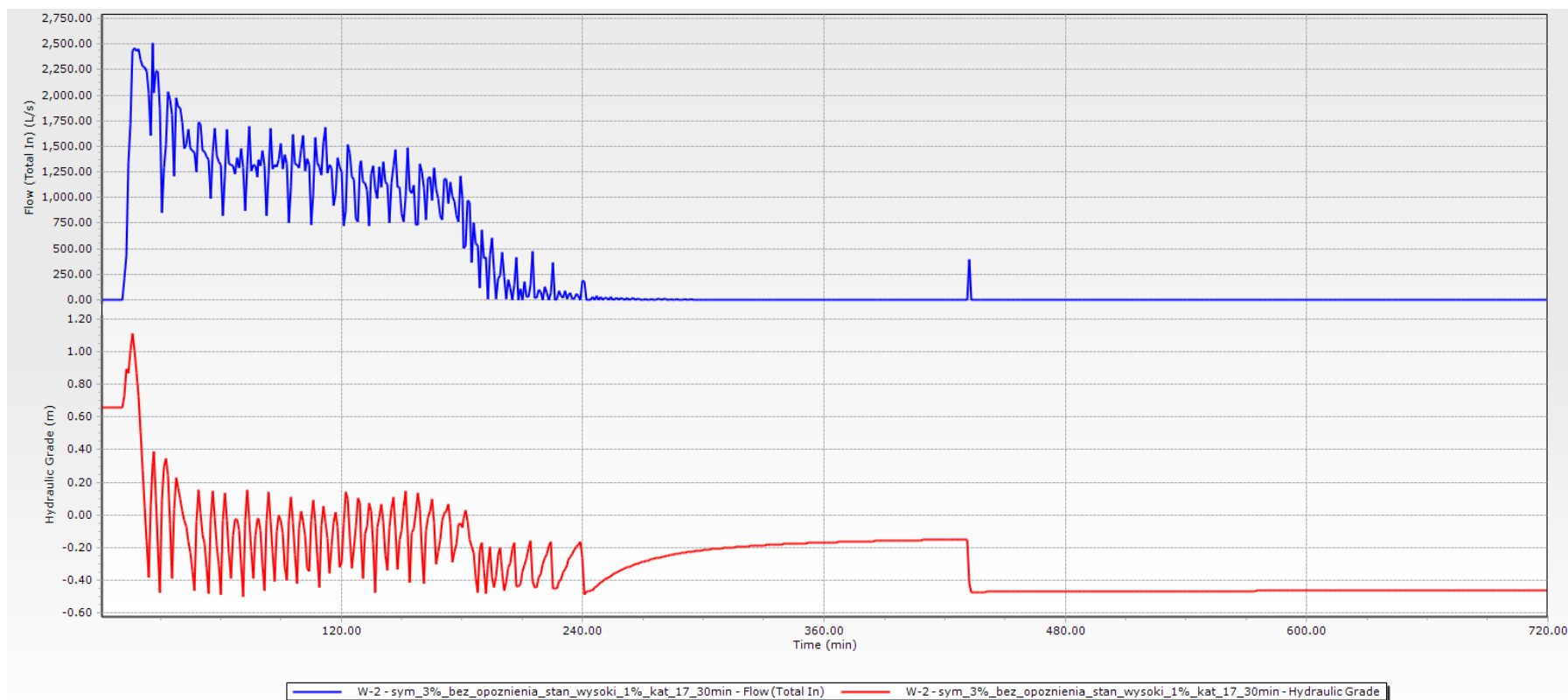
Rysunek 24 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 60$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



Rysunek 25 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

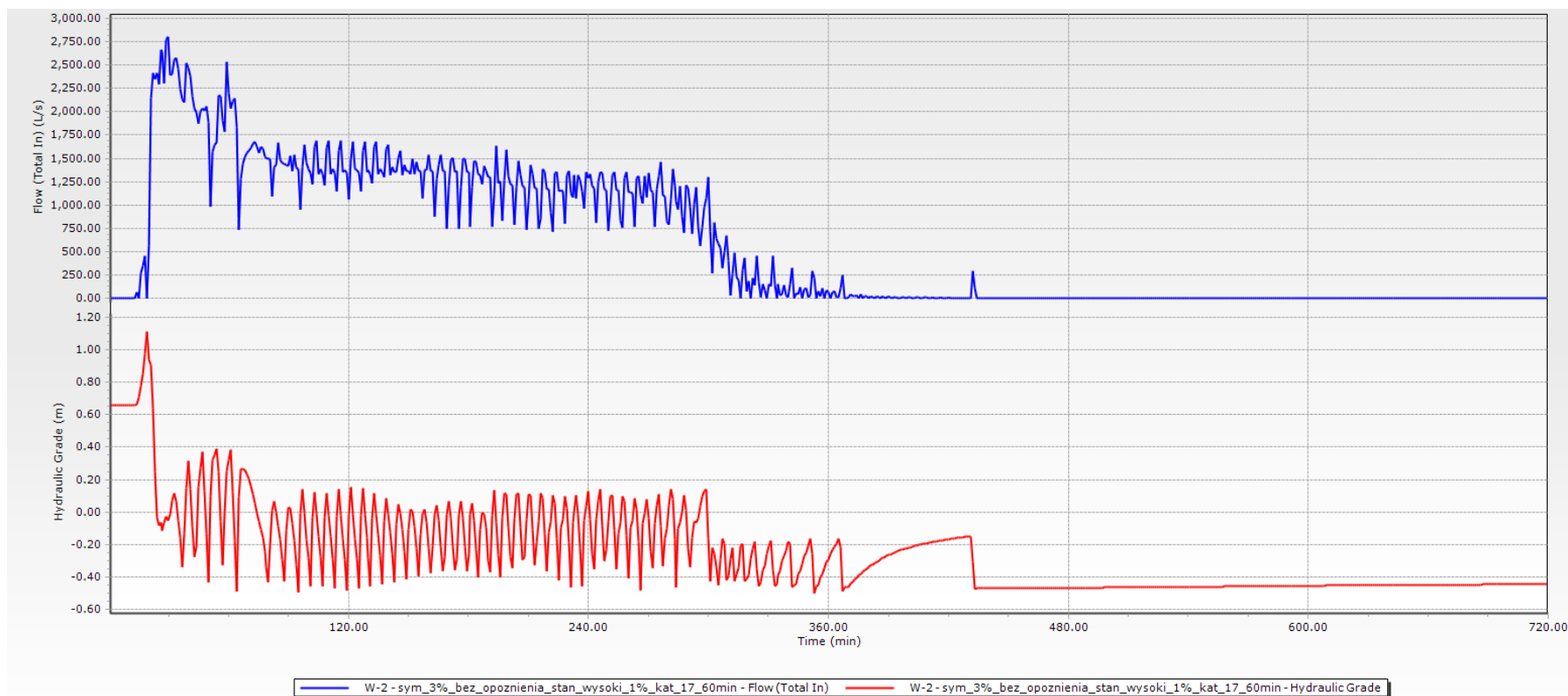


Rysunek 26 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 120$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

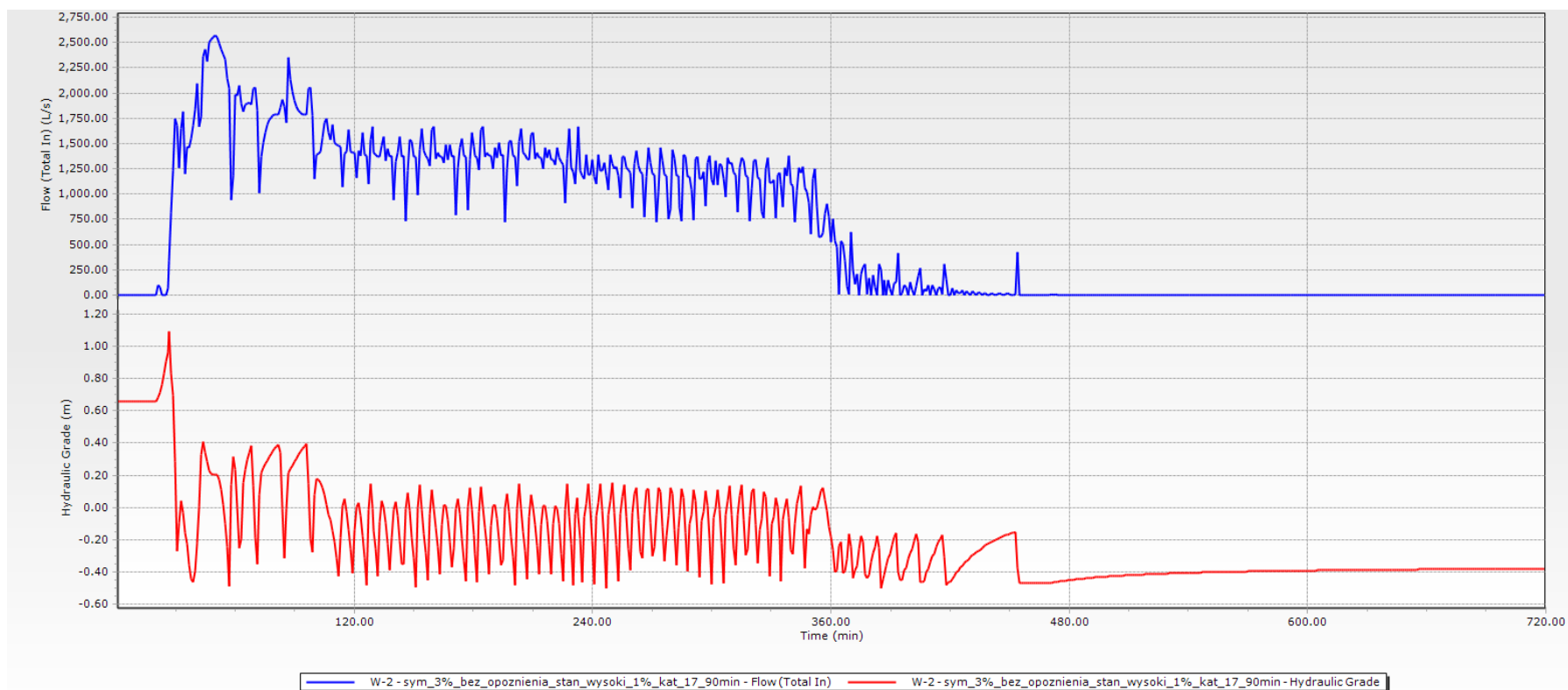


Rysunek 27 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 30$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

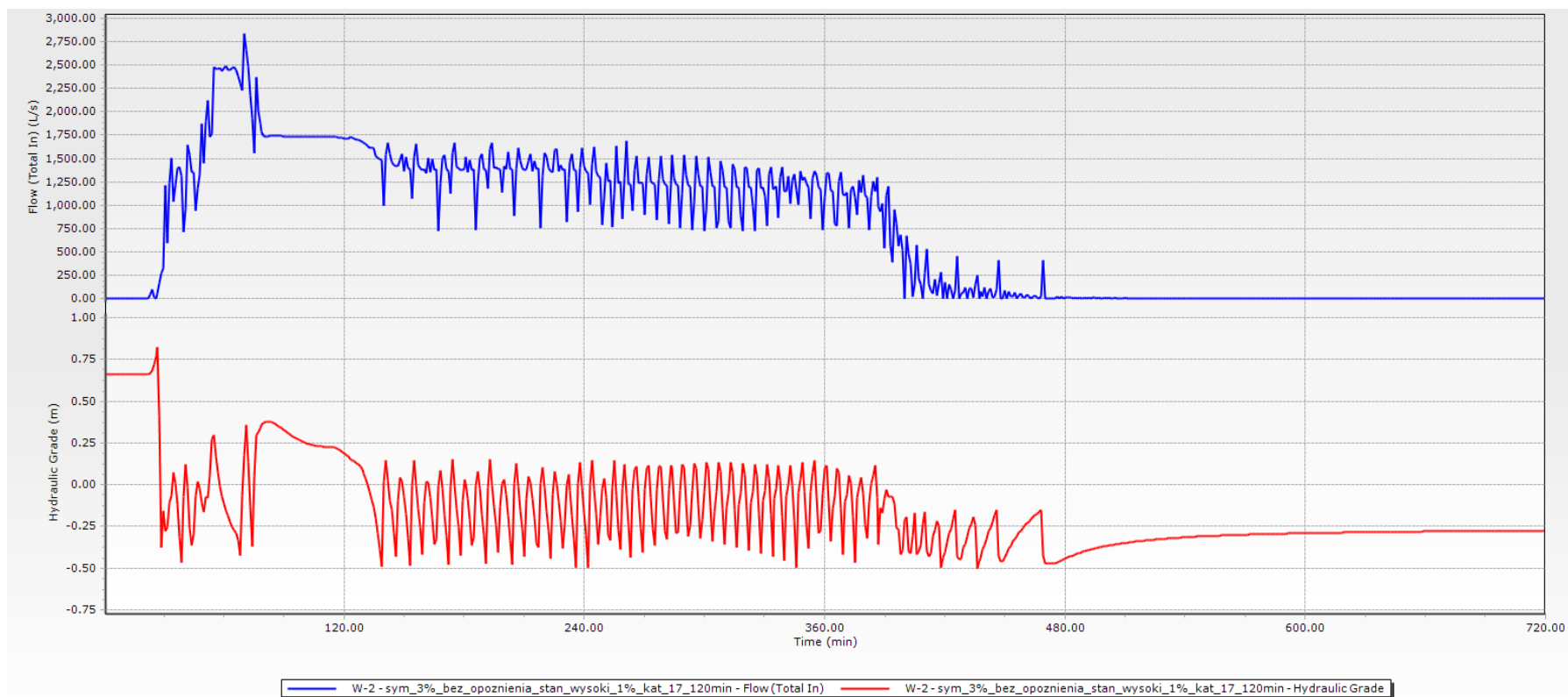




Rysunek 28 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 60$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



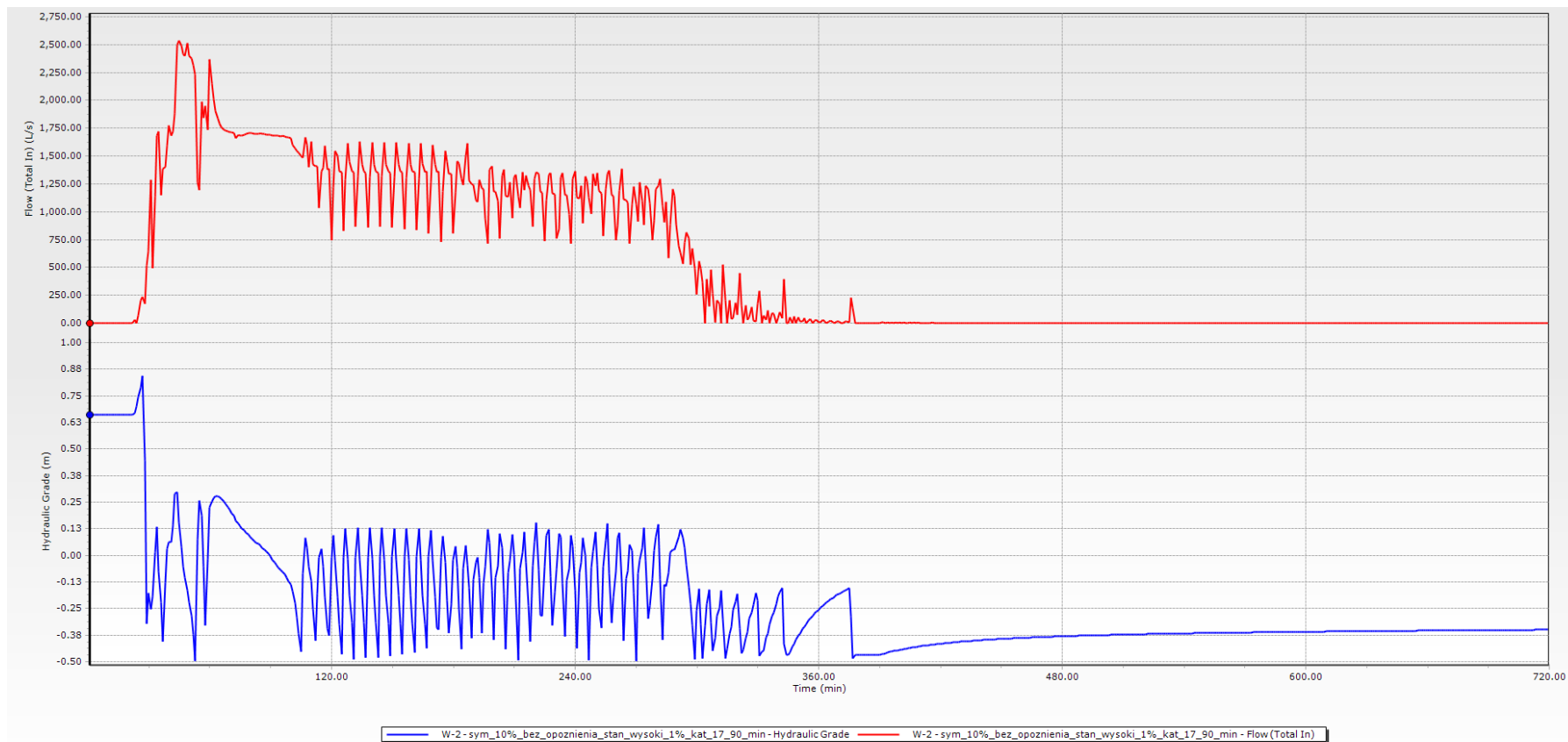
Rysunek 29 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



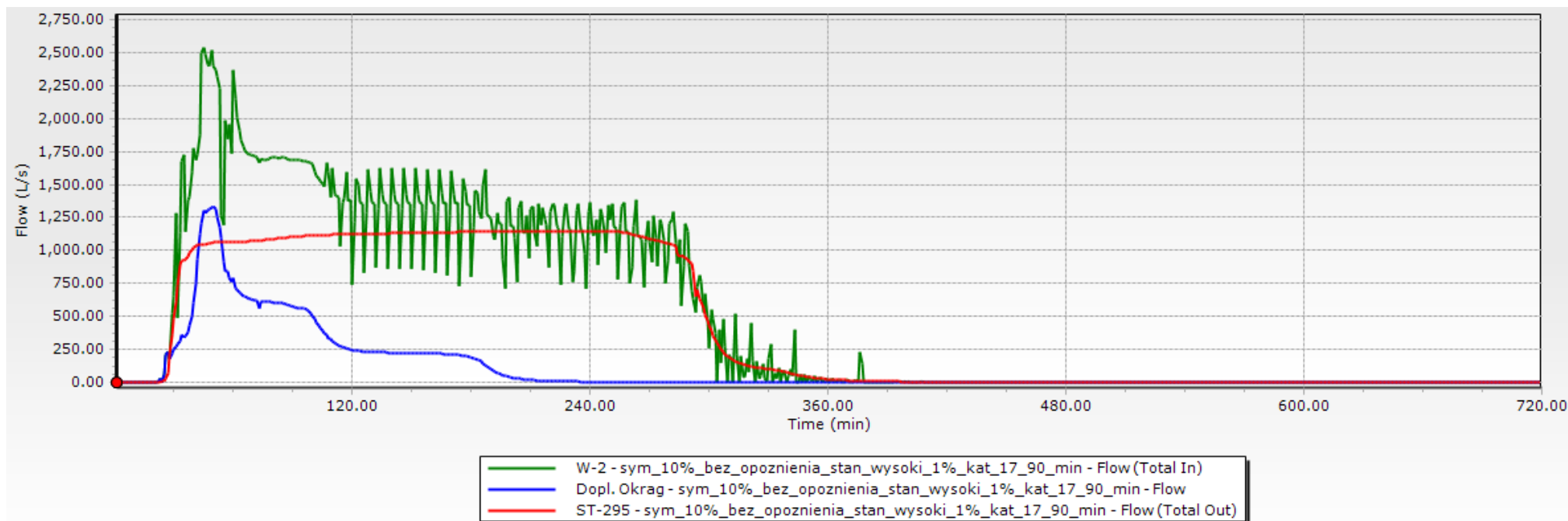
Rysunek 30 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 120$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

Dodatkowo dla scenariusza o czasie wystąpienia opadu  $C=10$  lat i  $C=30$  lat oraz czasie trwania  $t = 90$  min, jako dla scenariusza najbardziej niekorzystnego, przedstawiono profile podłużne kolektorów w ulicy Twardej, Okrąg oraz profil przez zbiornik w przepompowni.



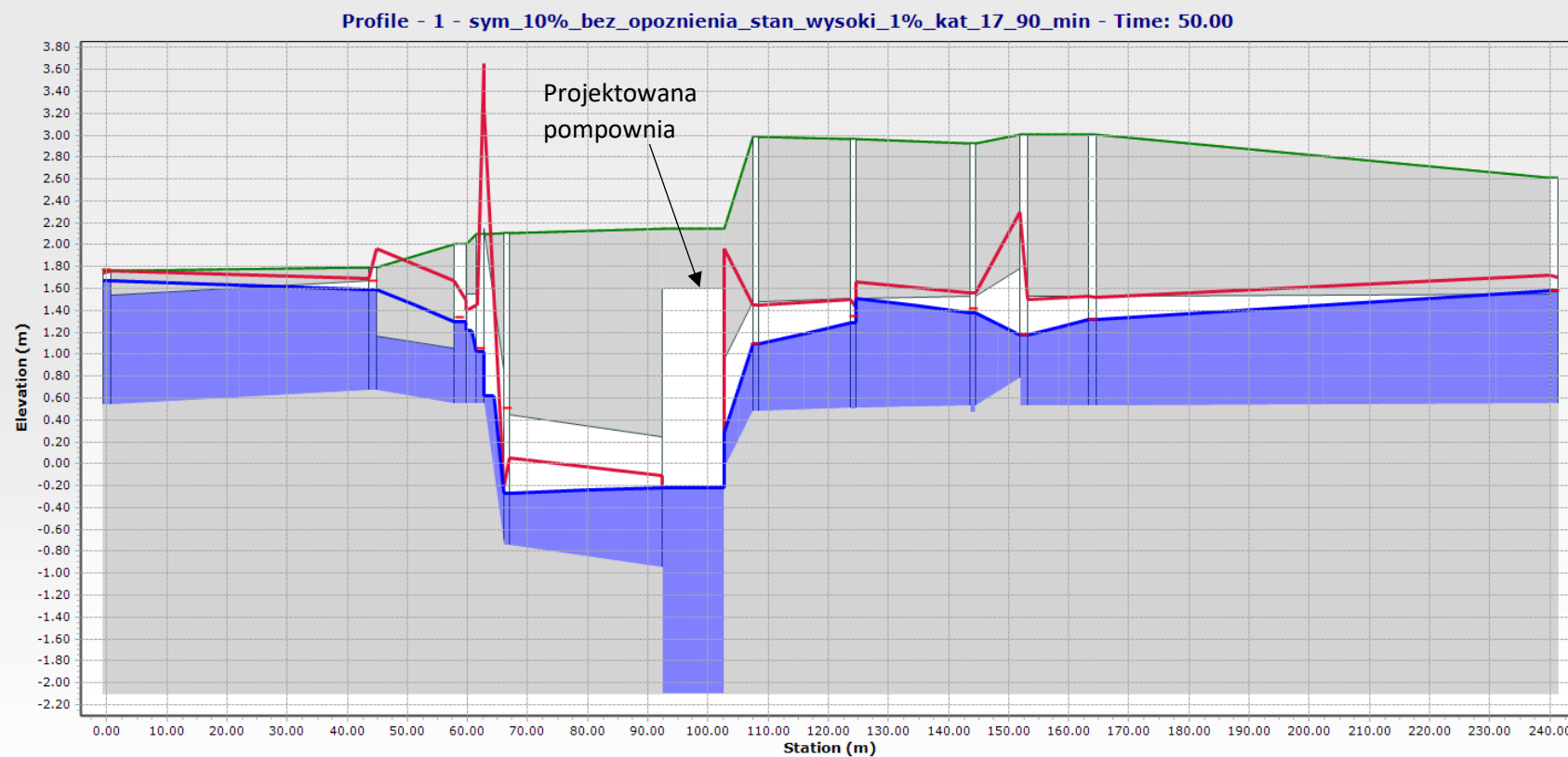


Rysunek 31 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

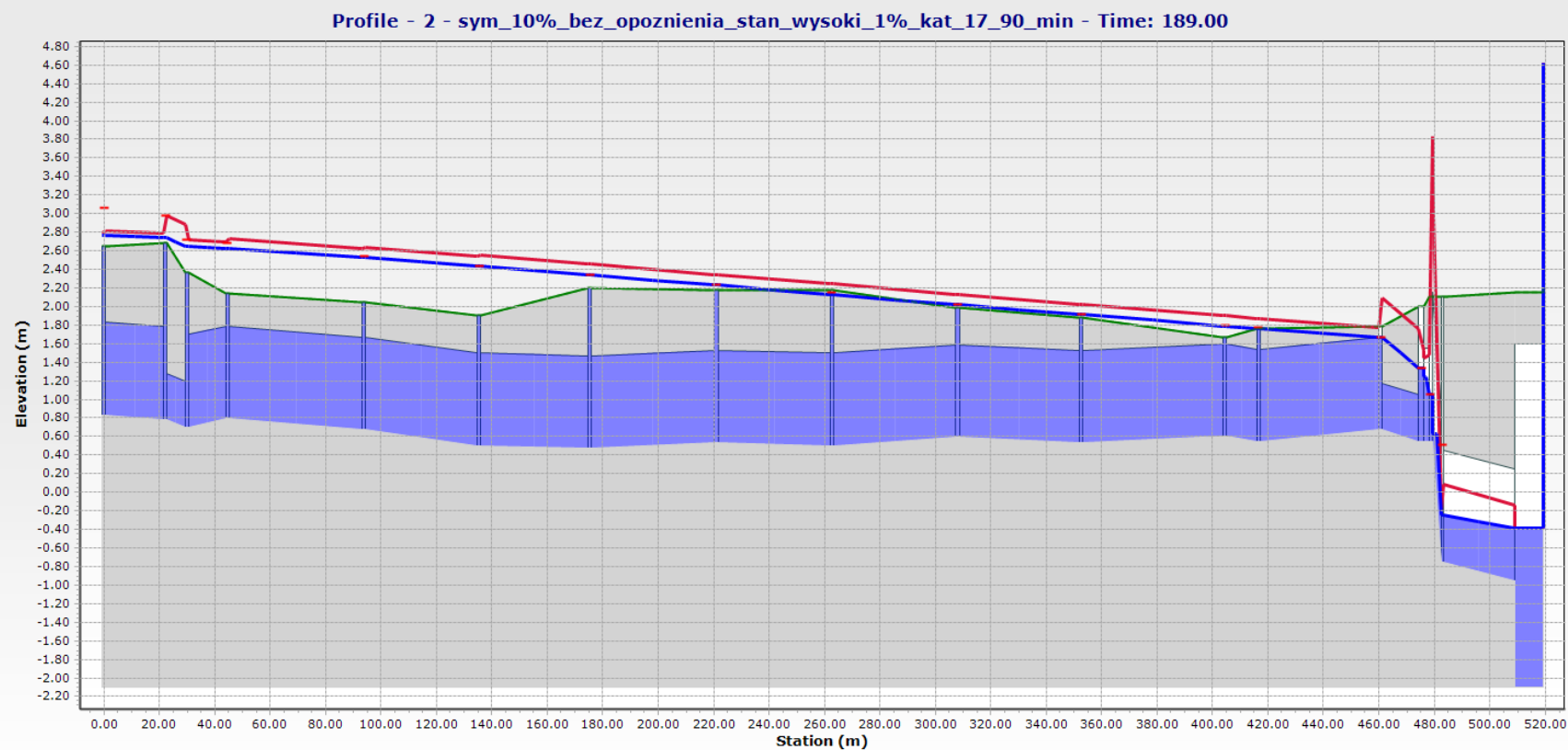


Rysunek 32 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz  $t = 90$  min

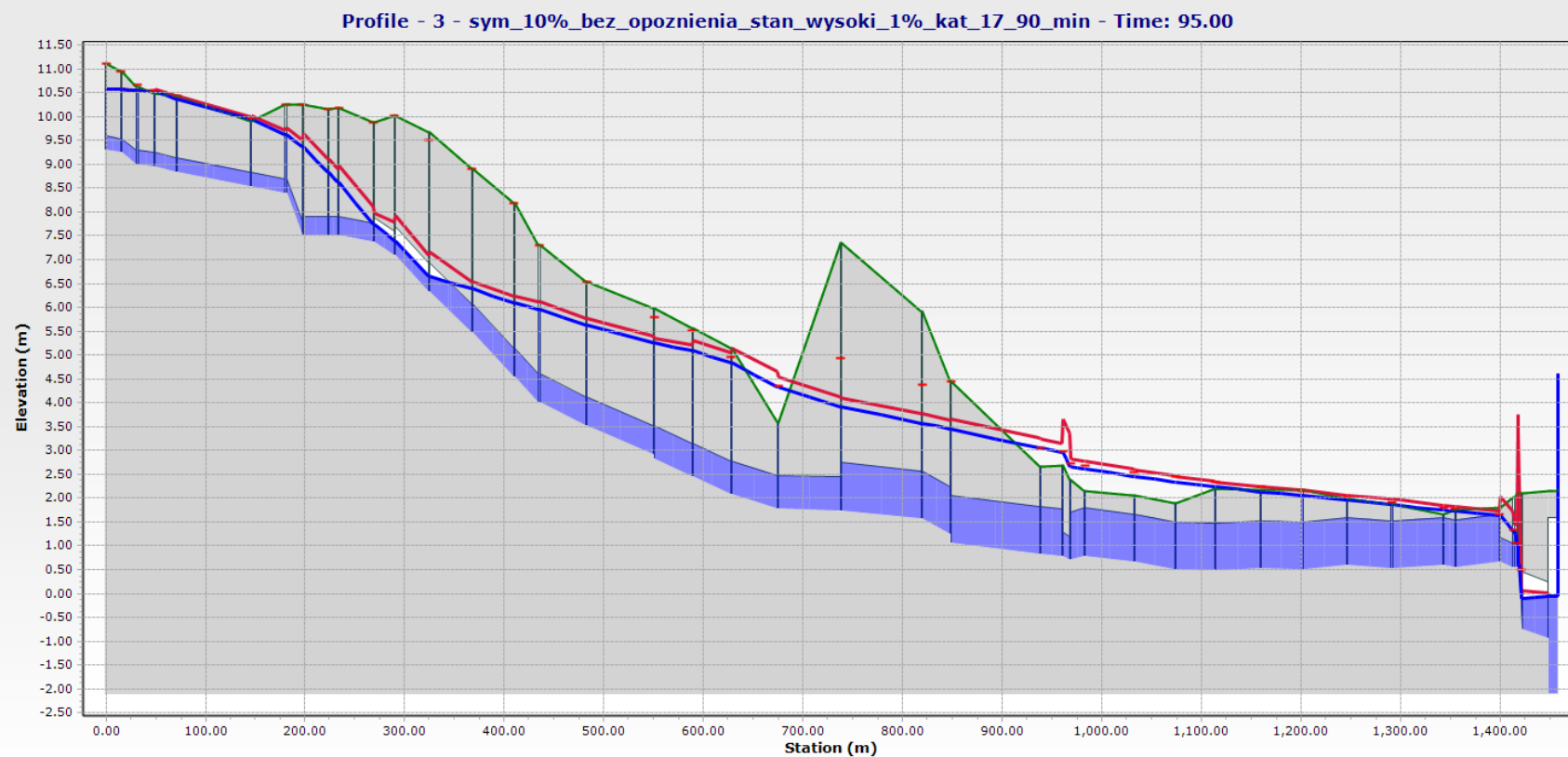




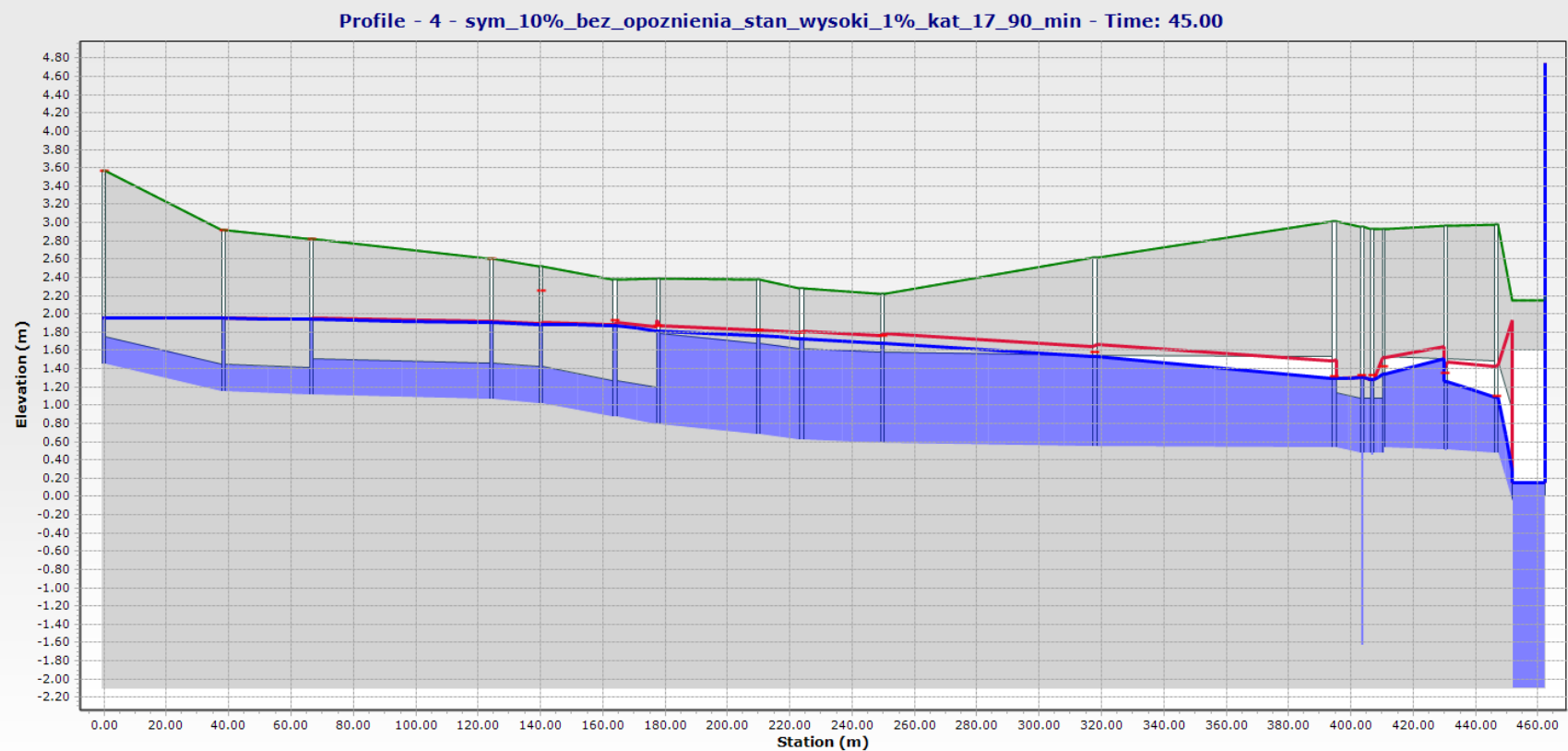
Rysunek 33 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



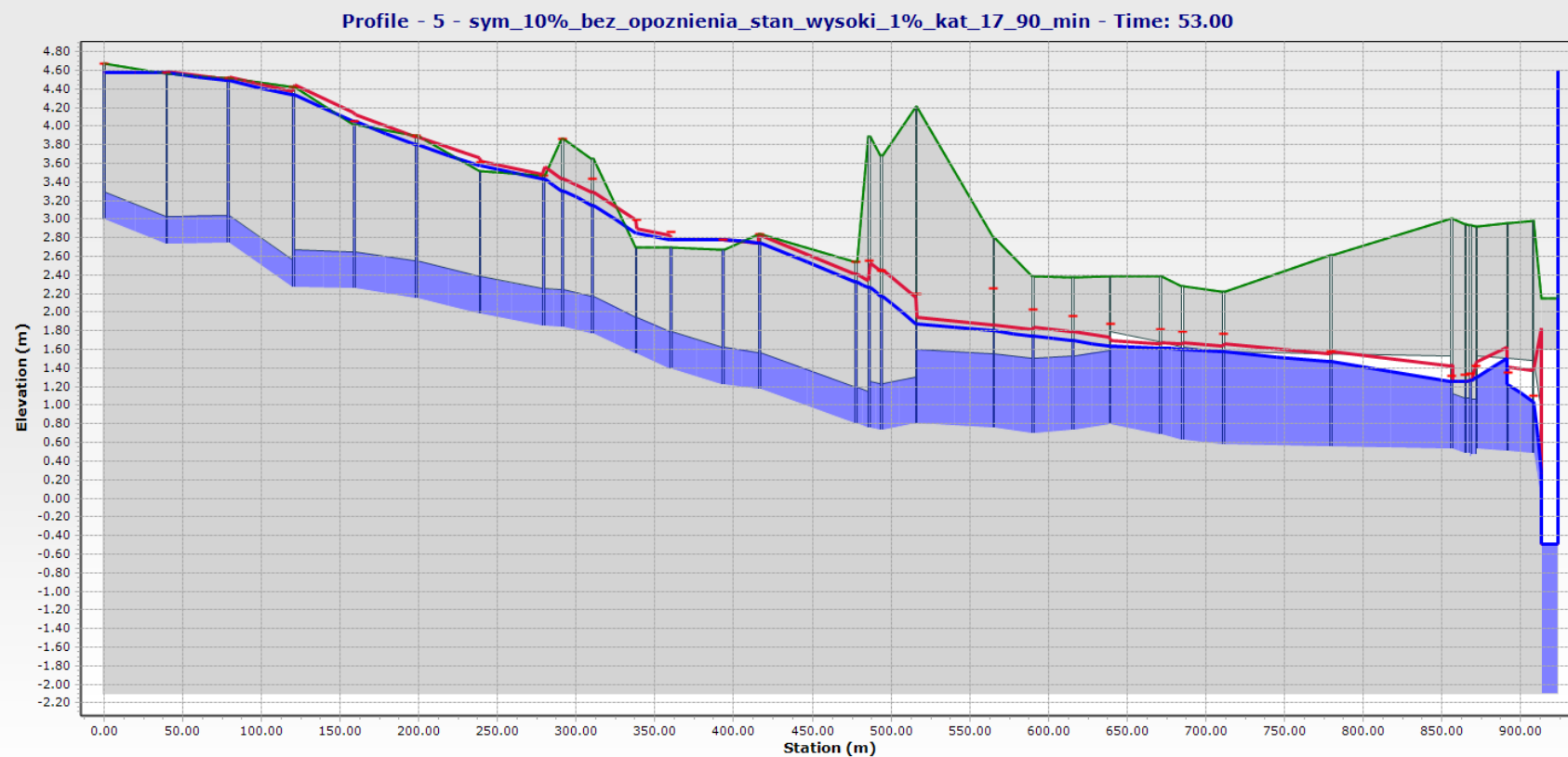
Rysunek 34 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia opadu  $C = 10$  lat oraz  $t = 90$  min oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



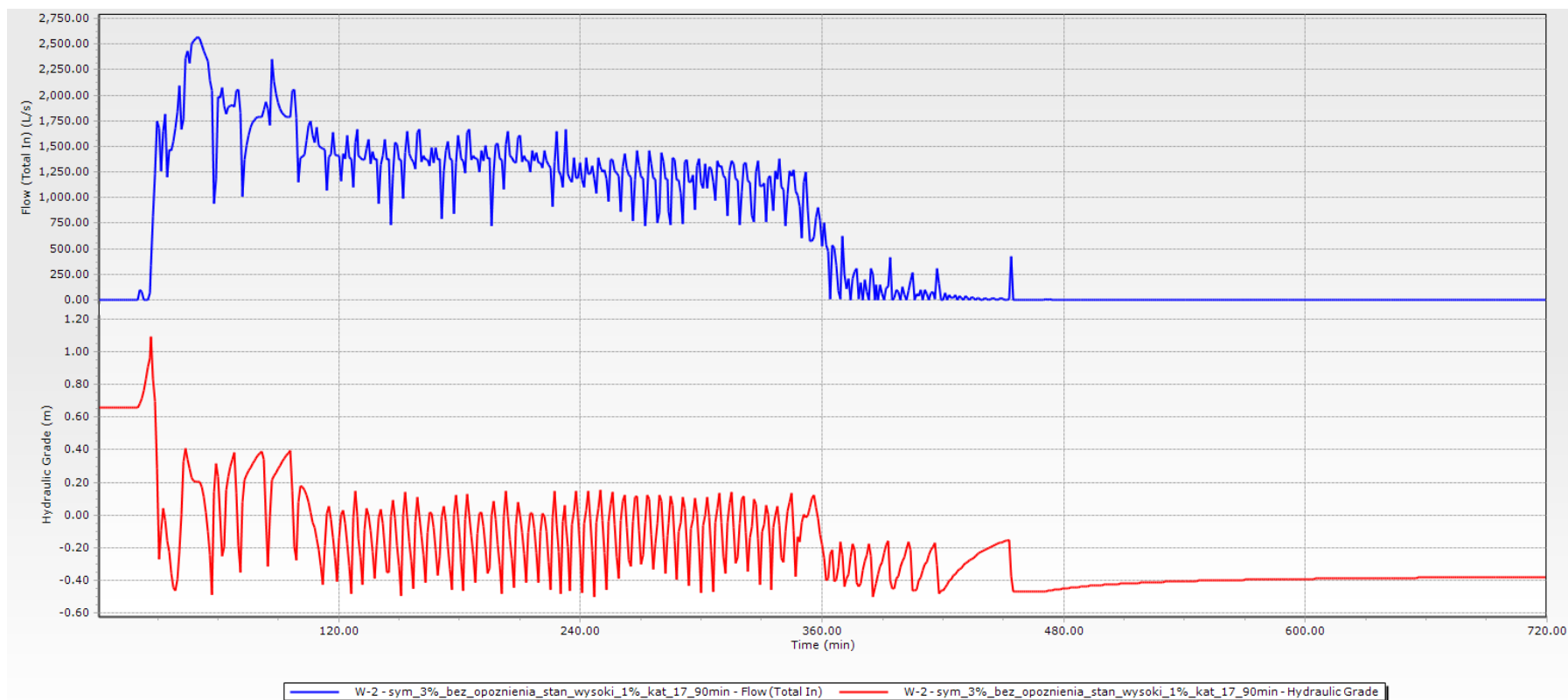
Rysunek 35 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyży.



Rysunek 36 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

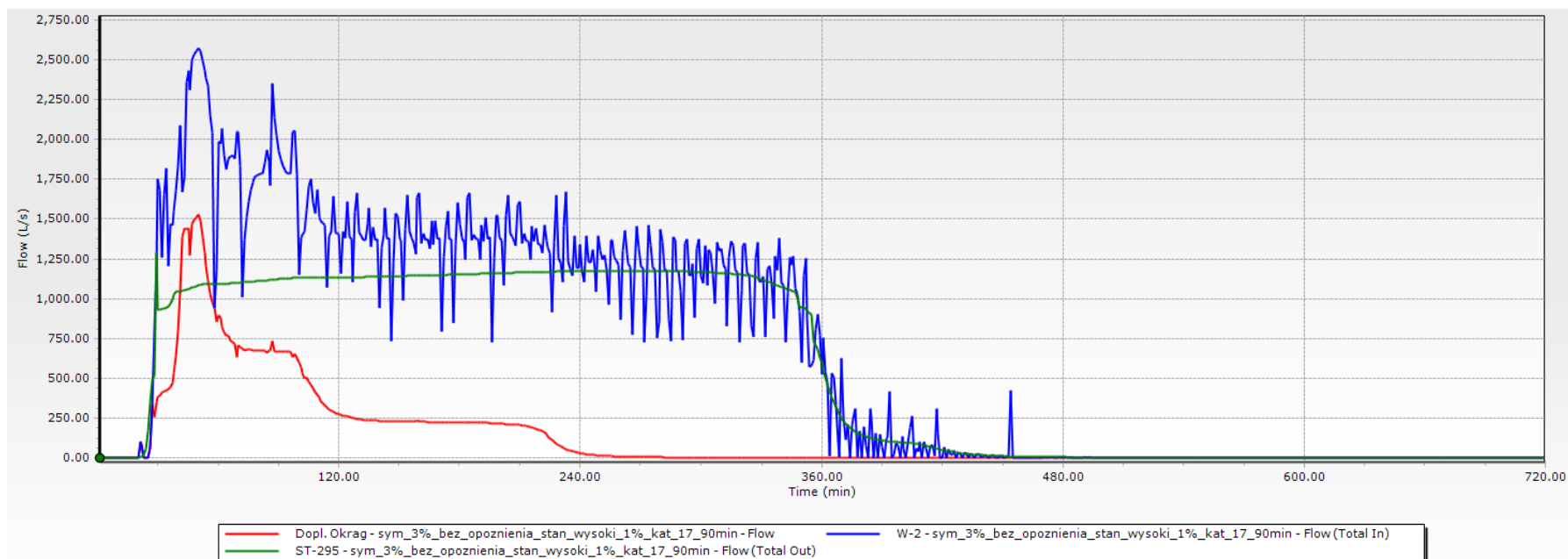


Rysunek 37 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyża. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

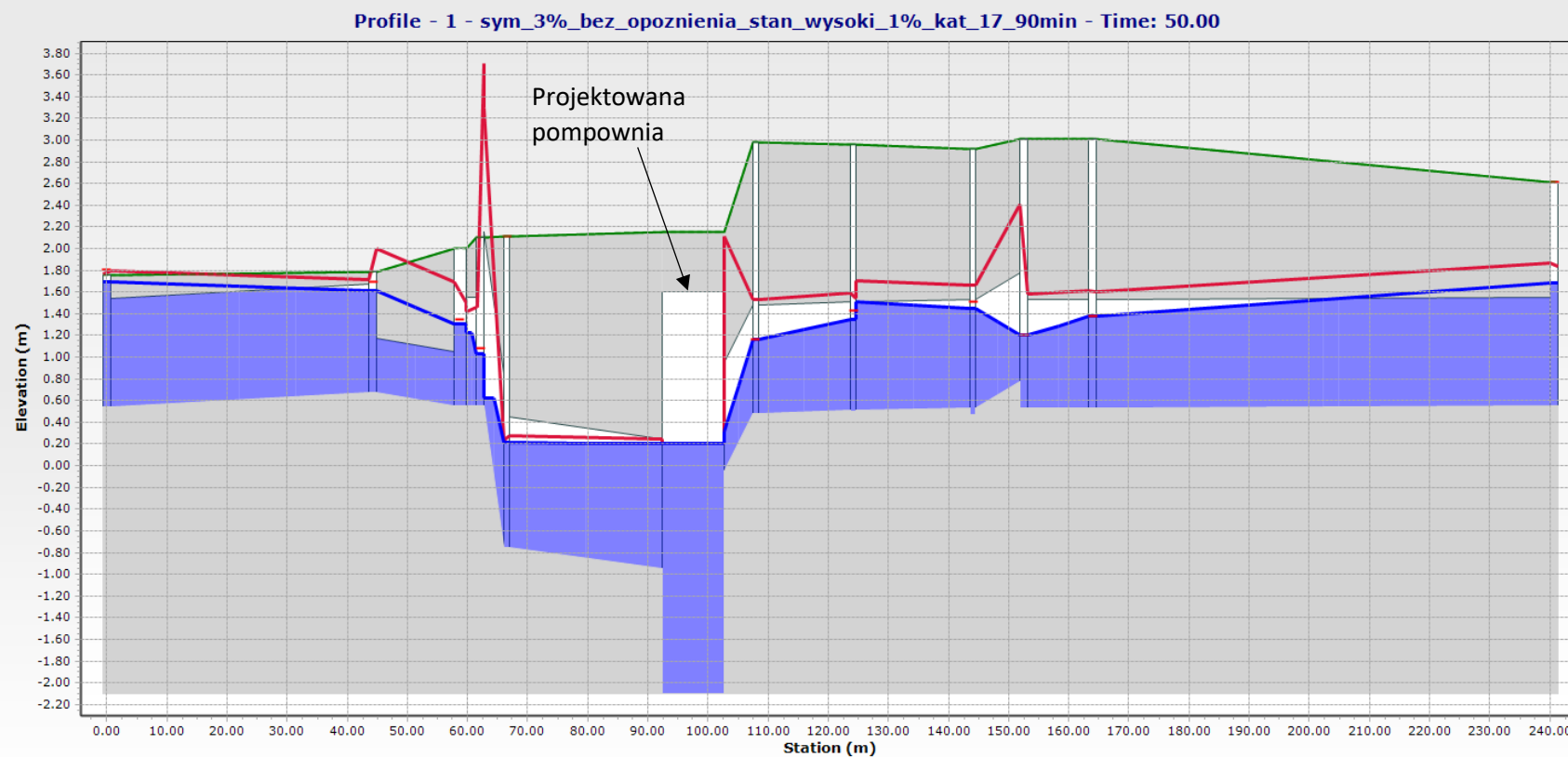


Rysunek 38 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

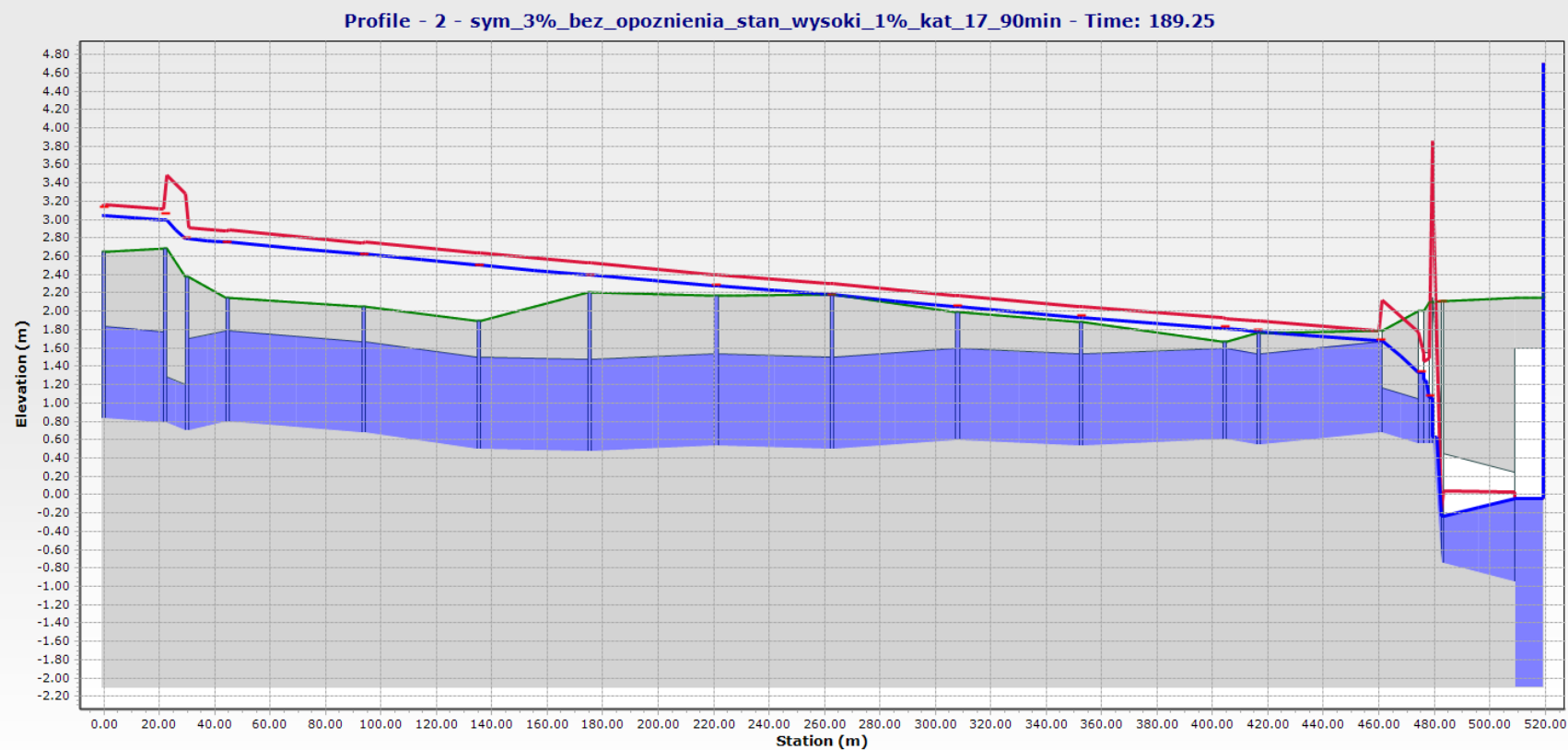




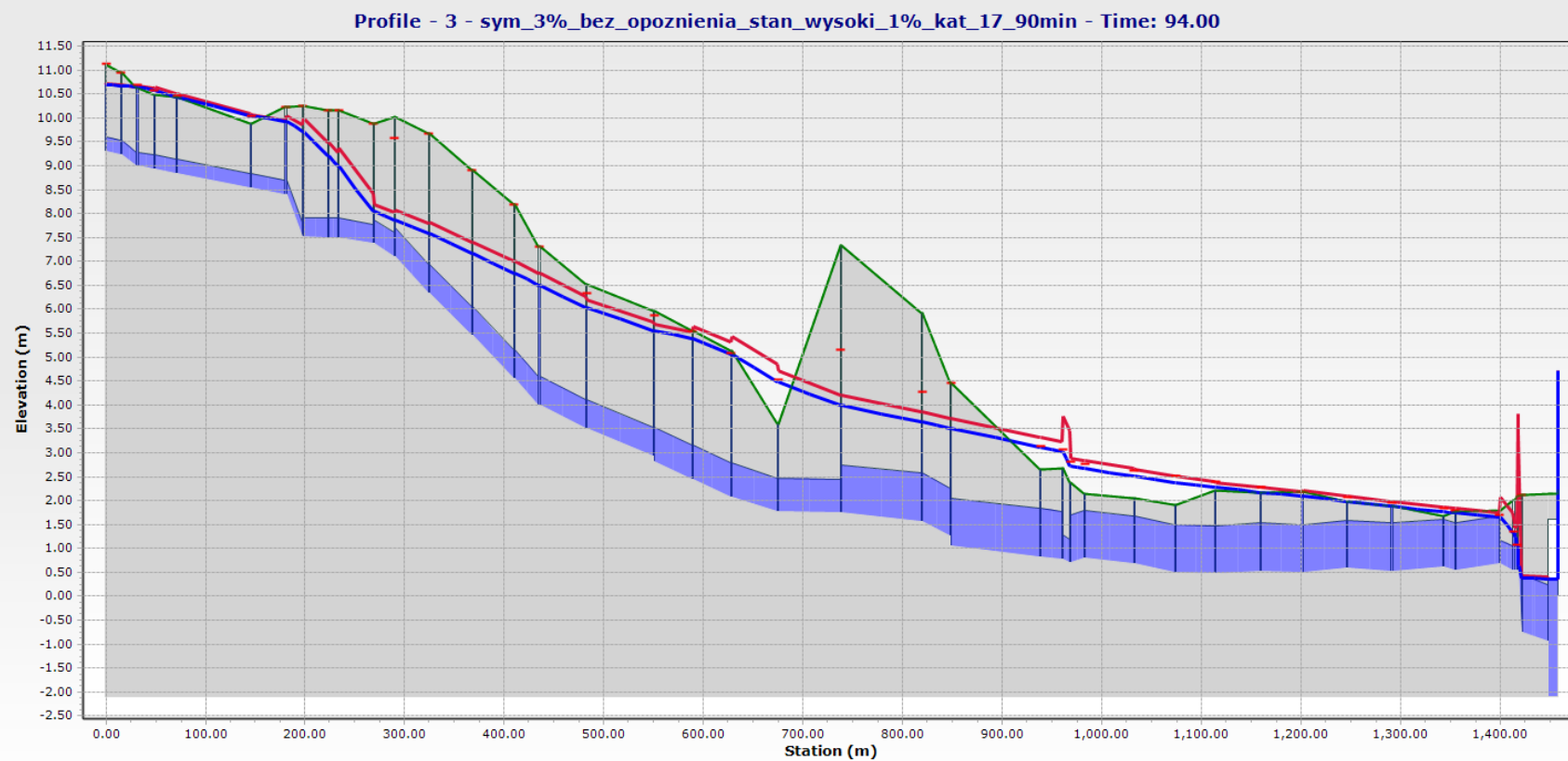
Rysunek 39 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz  $t = 90$  min



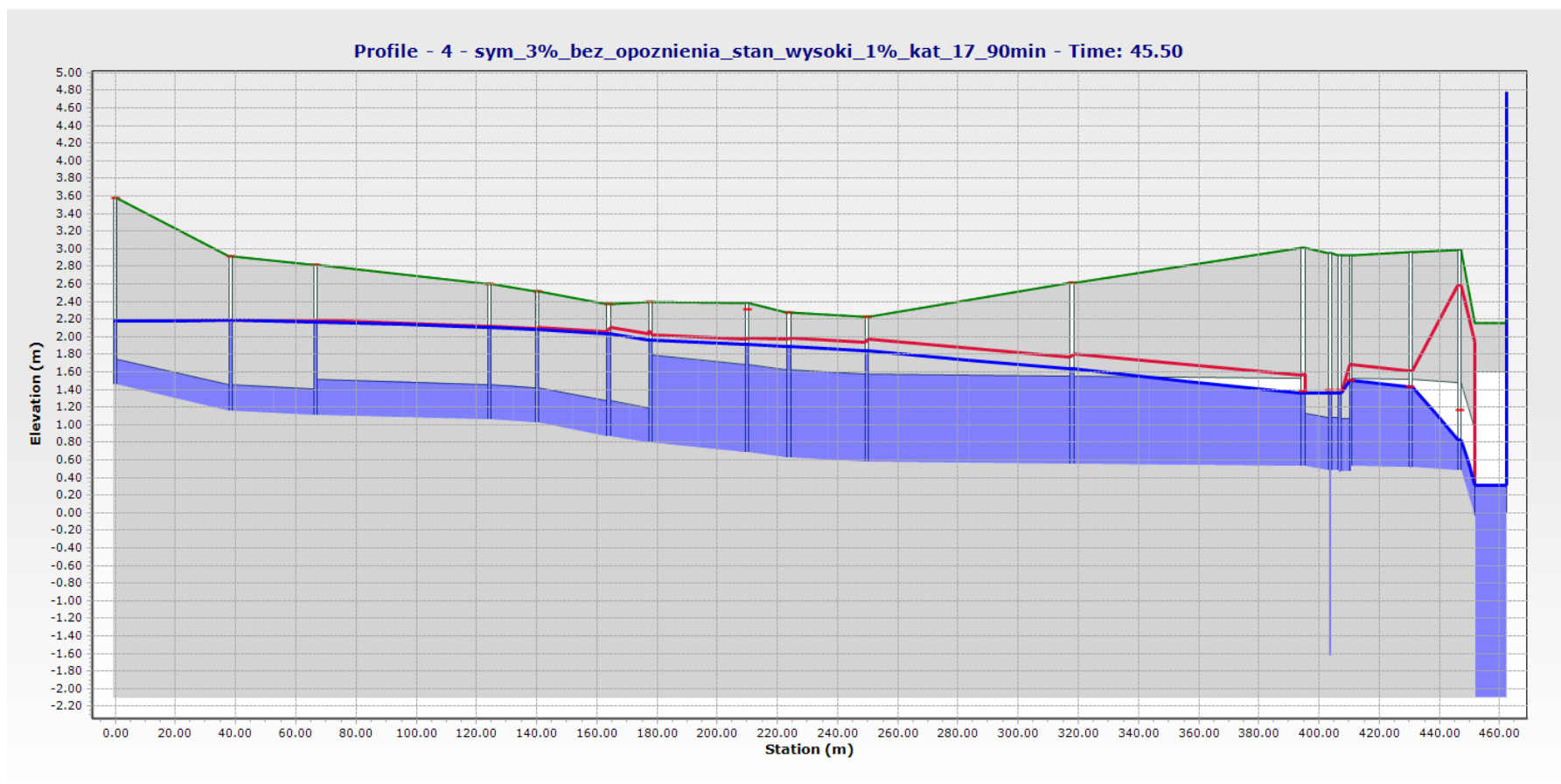
Rysunek 40 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



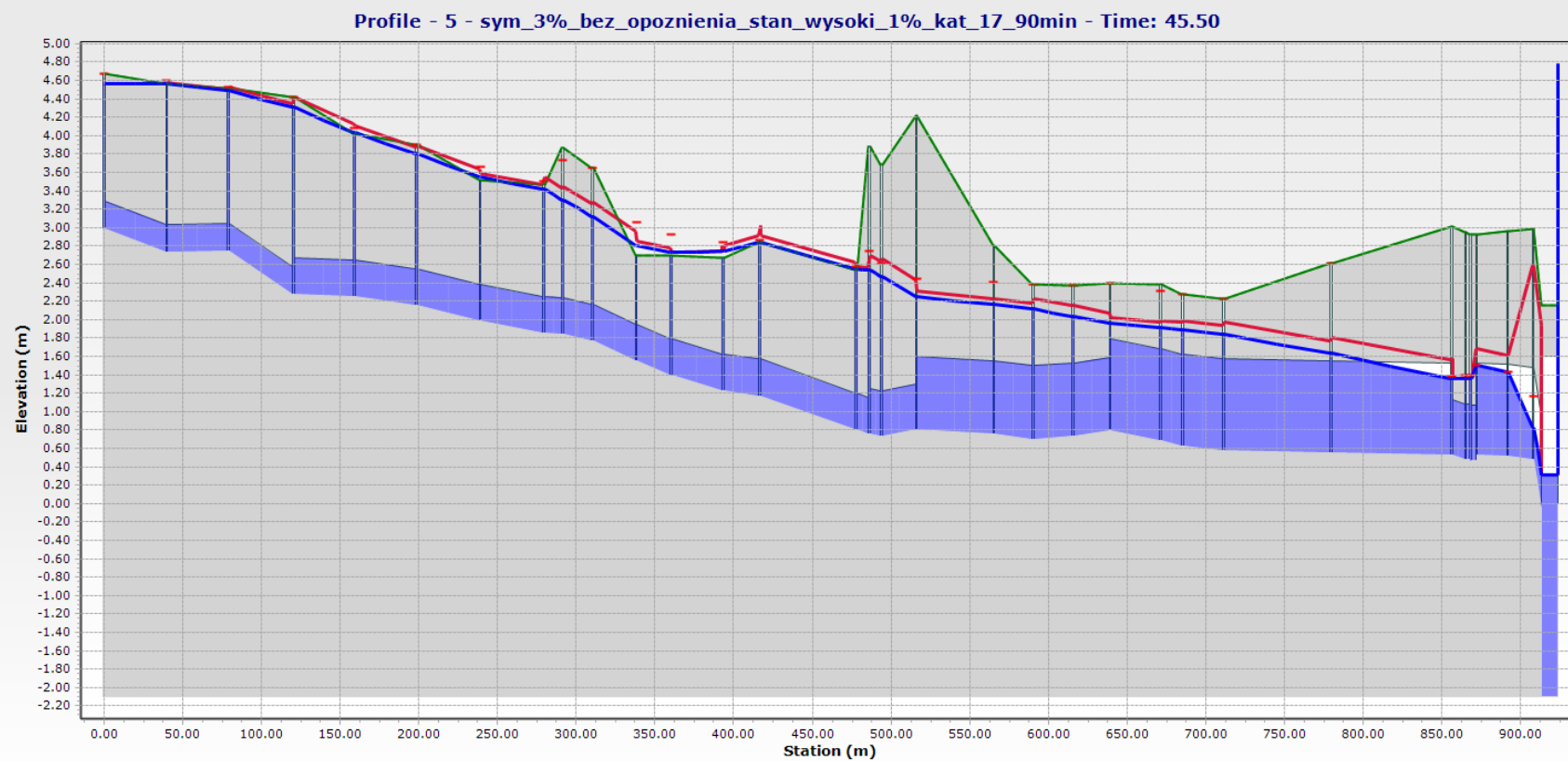
Rysunek 41 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



Rysunek 42 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



Rysunek 43 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



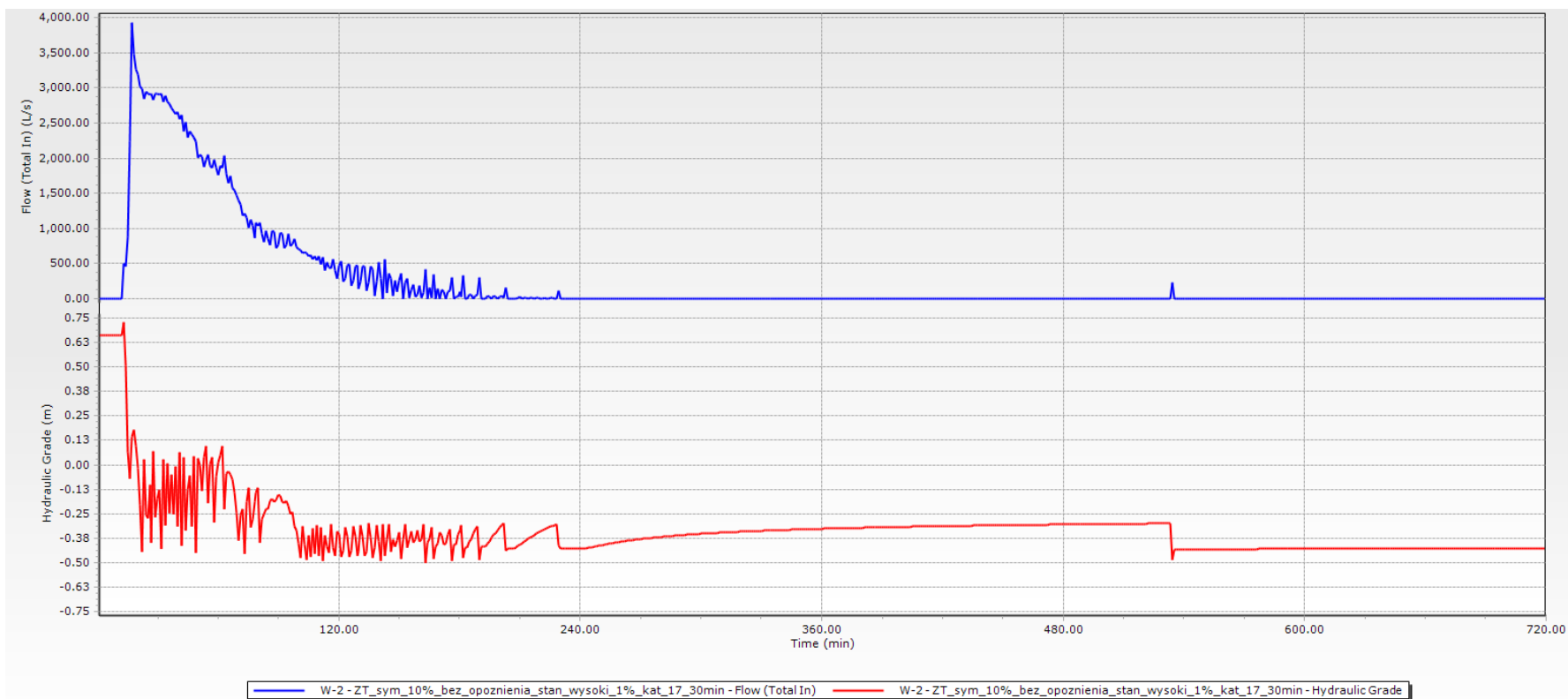
Rysunek 44 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyży.



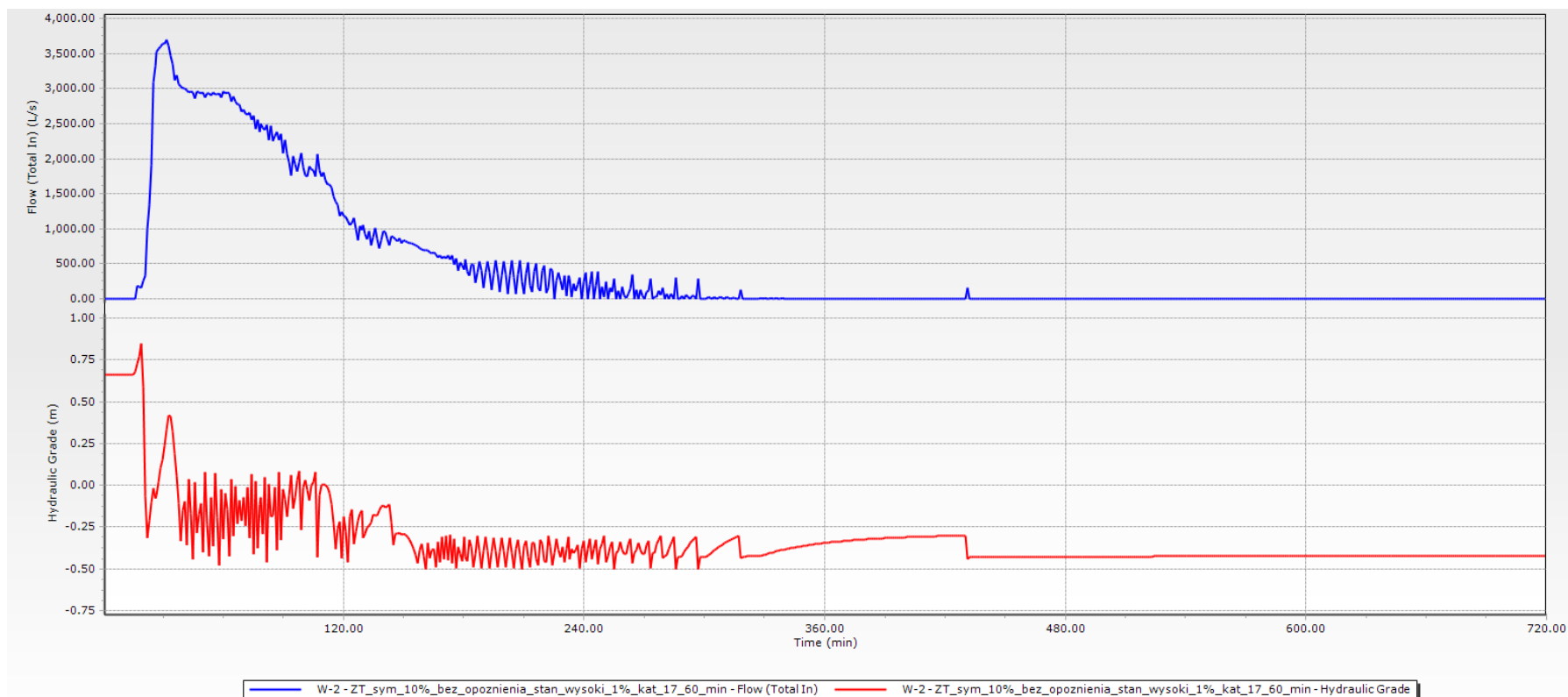
### 1.5.12. Analiza pracy systemu kanalizacji deszczowej dla stanu projektowanego z budową pompowni przy ul. Swojskiej - Wariant 5

Dla wariantu 5 przyjęto założenie jakim jest przebudowa kolektora w ul. Twardej. Z uwagi na niewystarczającą przepustowość istniejącej infrastruktury, ww. wariant zakłada budowę nowego kolektora położonego równolegle do istniejącego, o identycznej przepustowości (sumarycznie rozwiązanie podwaja przepustowość). Rozwiązanie ma w założeniu umożliwić dopływ większej ilości wód do pompowni przy ul. Swojskiej poprzez poprawienie warunków odpływu wód opadowych ze zlewni. Przedstawione rozwiązanie zakłada wykorzystanie pompowni jak dla wariantu 4 ze zmianą ilości pomp – tj. 4+1 pompa KSB Amacan PA4 700-470 kąt 17° lub równoważne. Szczegółowy opis przepompowni jest w dokumencie „SWO-KP-S-D301-1 Koncepcja obliczenia” Przeprowadzono obliczenia dla czterech o czasie trwania  $t = 30, 60, 90$  oraz  $120\text{min}$ . Poniżej na wykresach przedstawiono dopływy do przepompowni oraz napełnienie w zbiorniku. Do obliczeń przyjęto stan wysoki w odbiorniku.

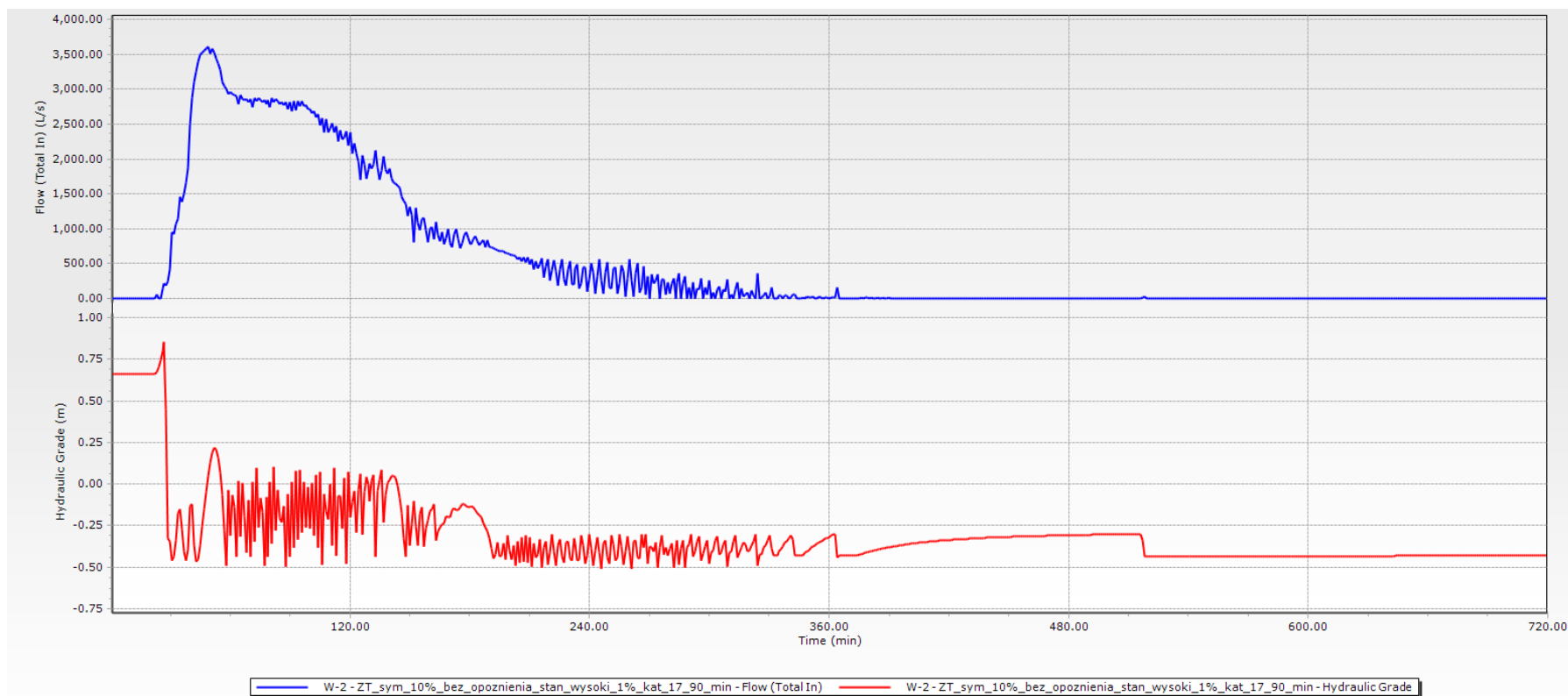




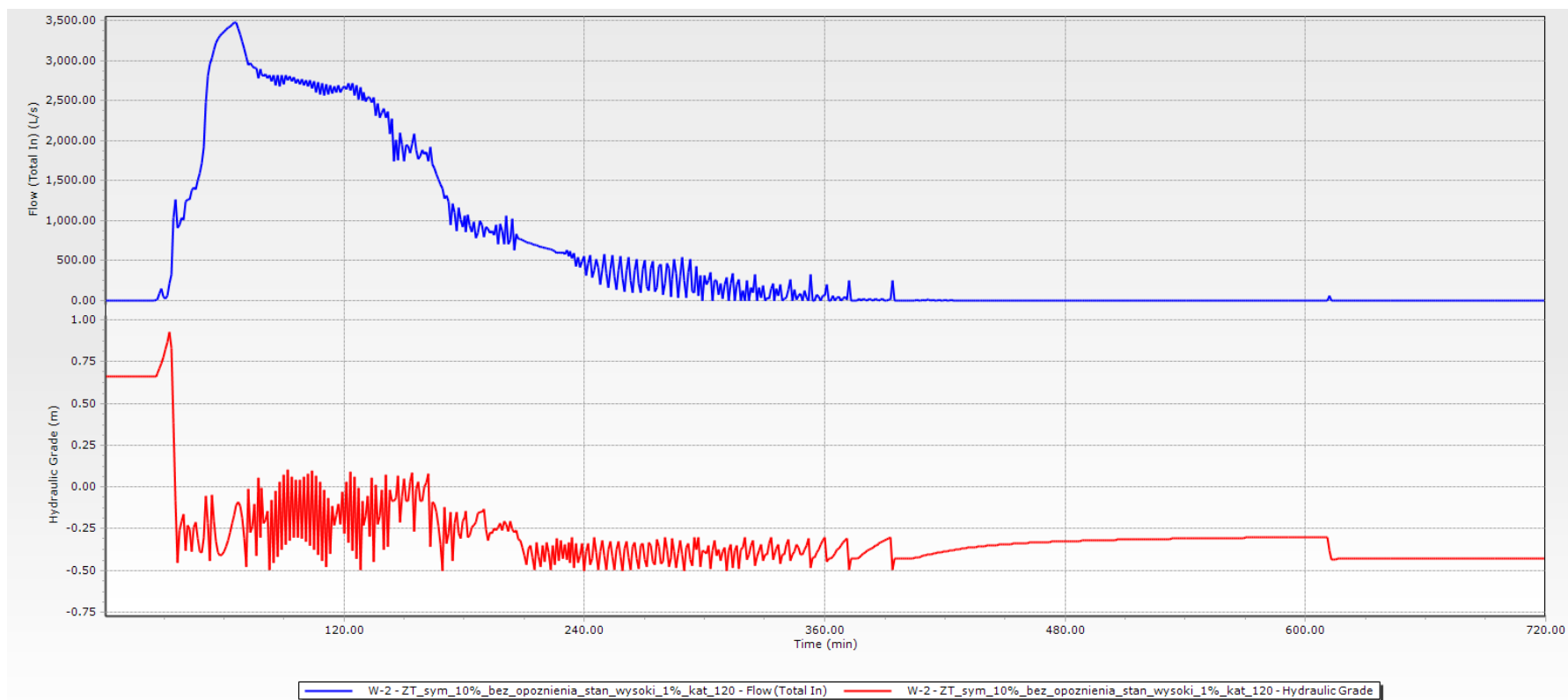
Rysunek 45 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 30$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



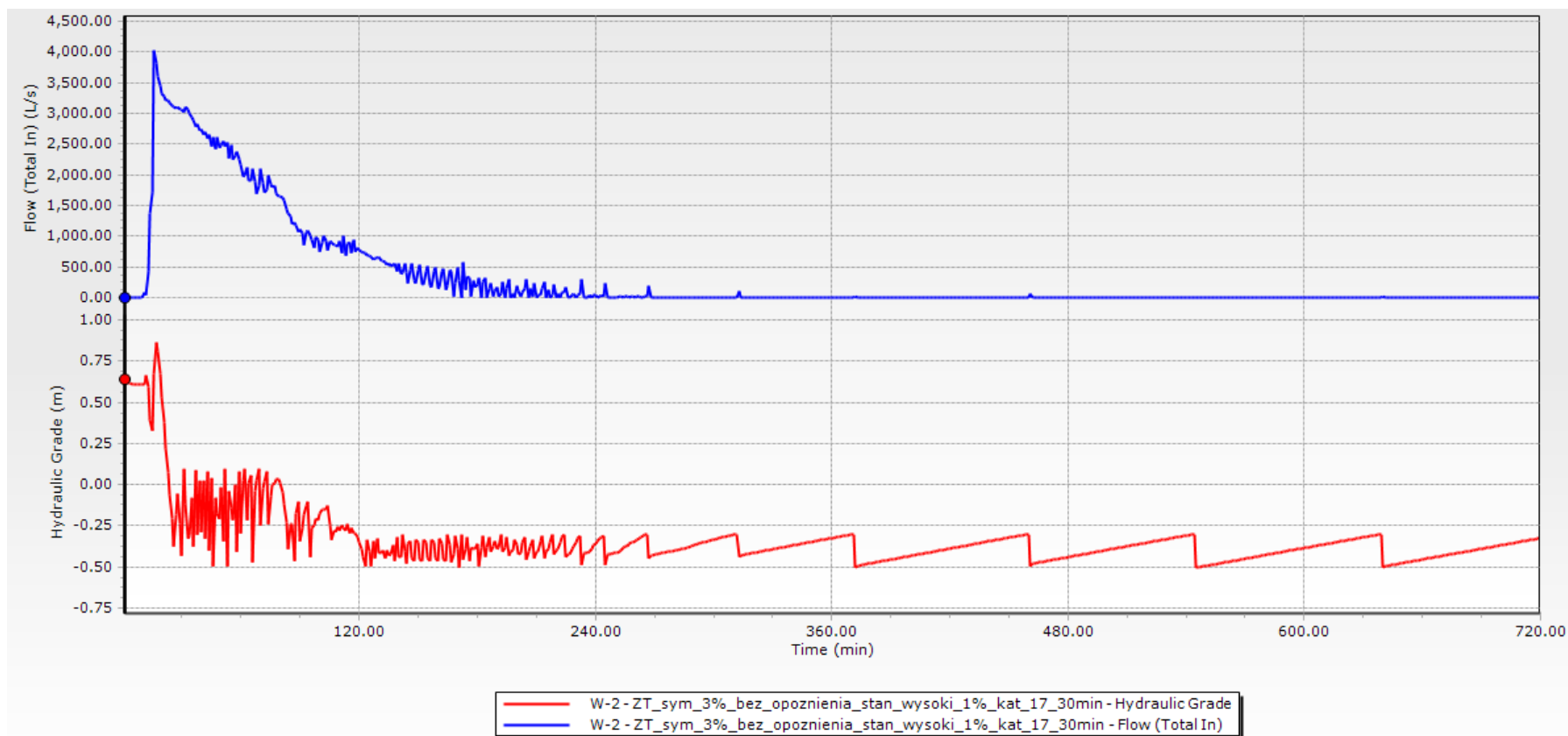
Rysunek 46 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 60$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



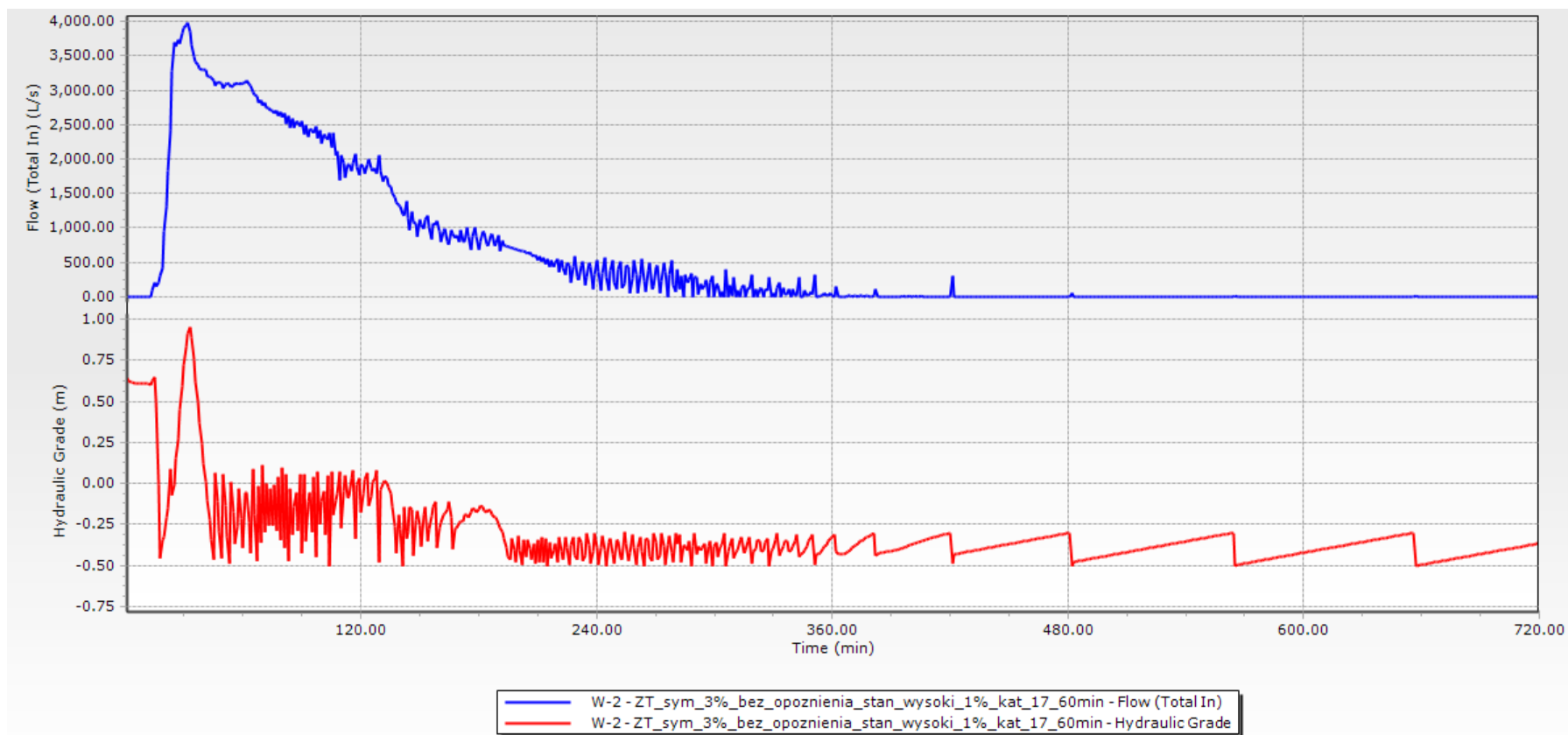
Rysunek 47 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



Rysunek 48 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 120$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

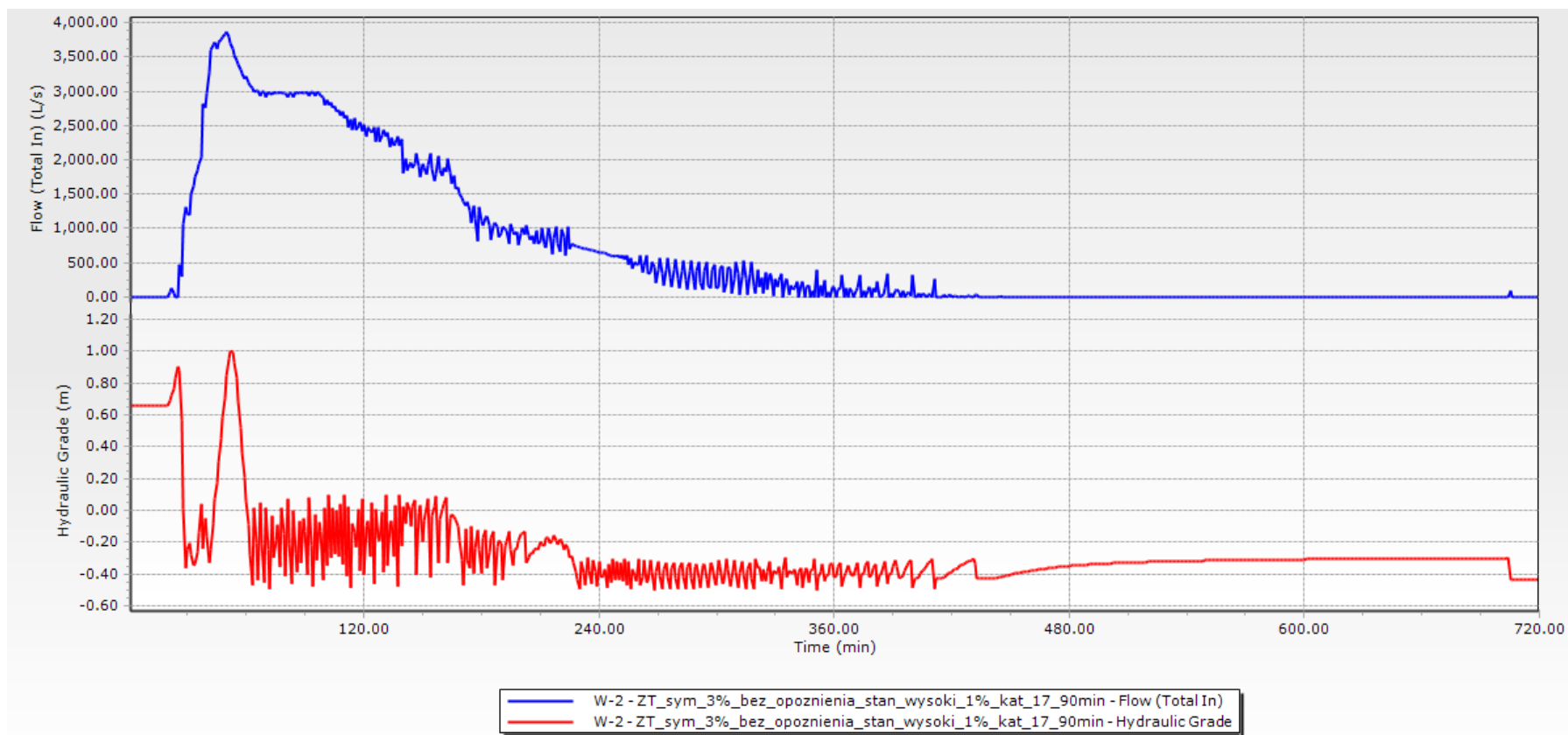


Rysunek 49 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 30$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

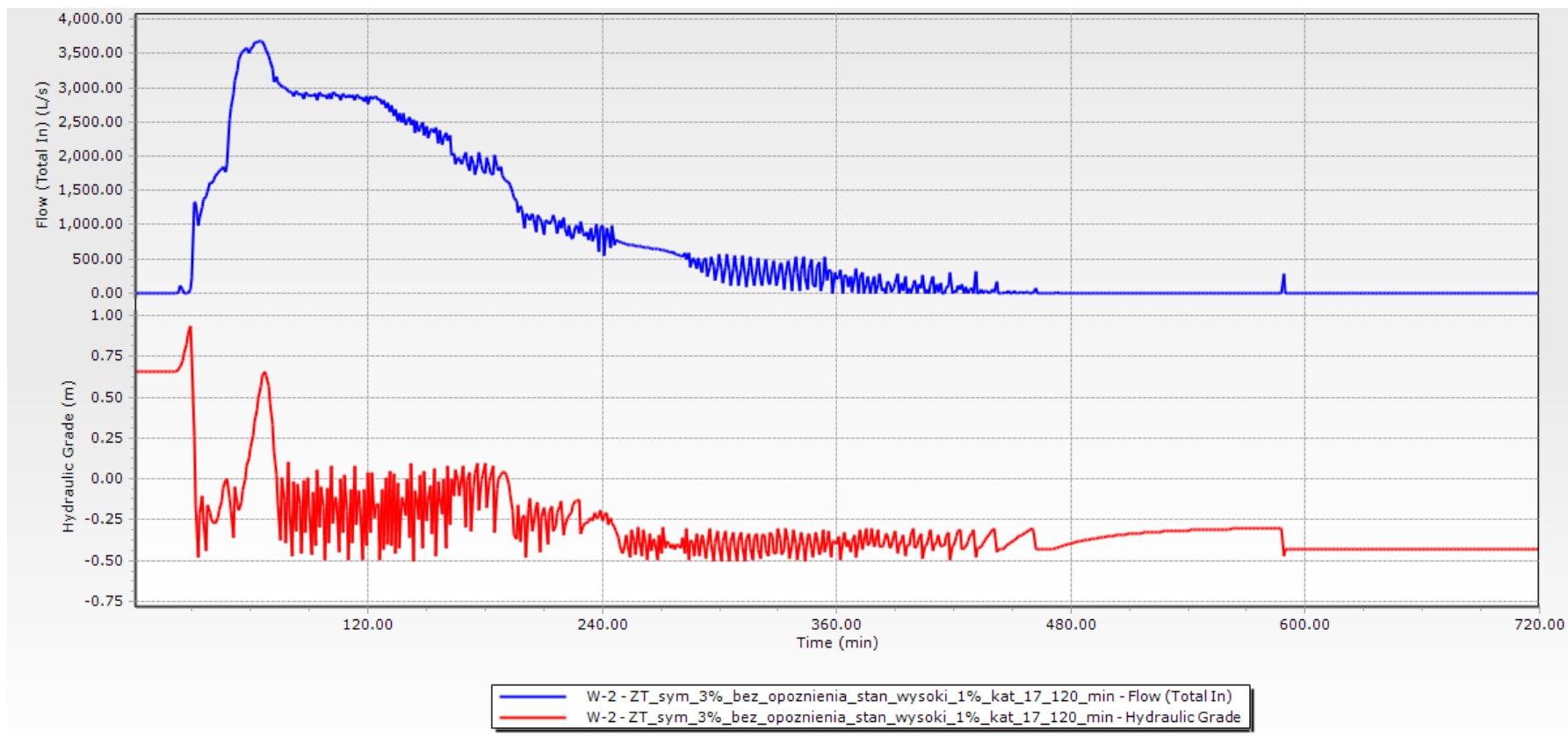


Rysunek 50 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 60$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.





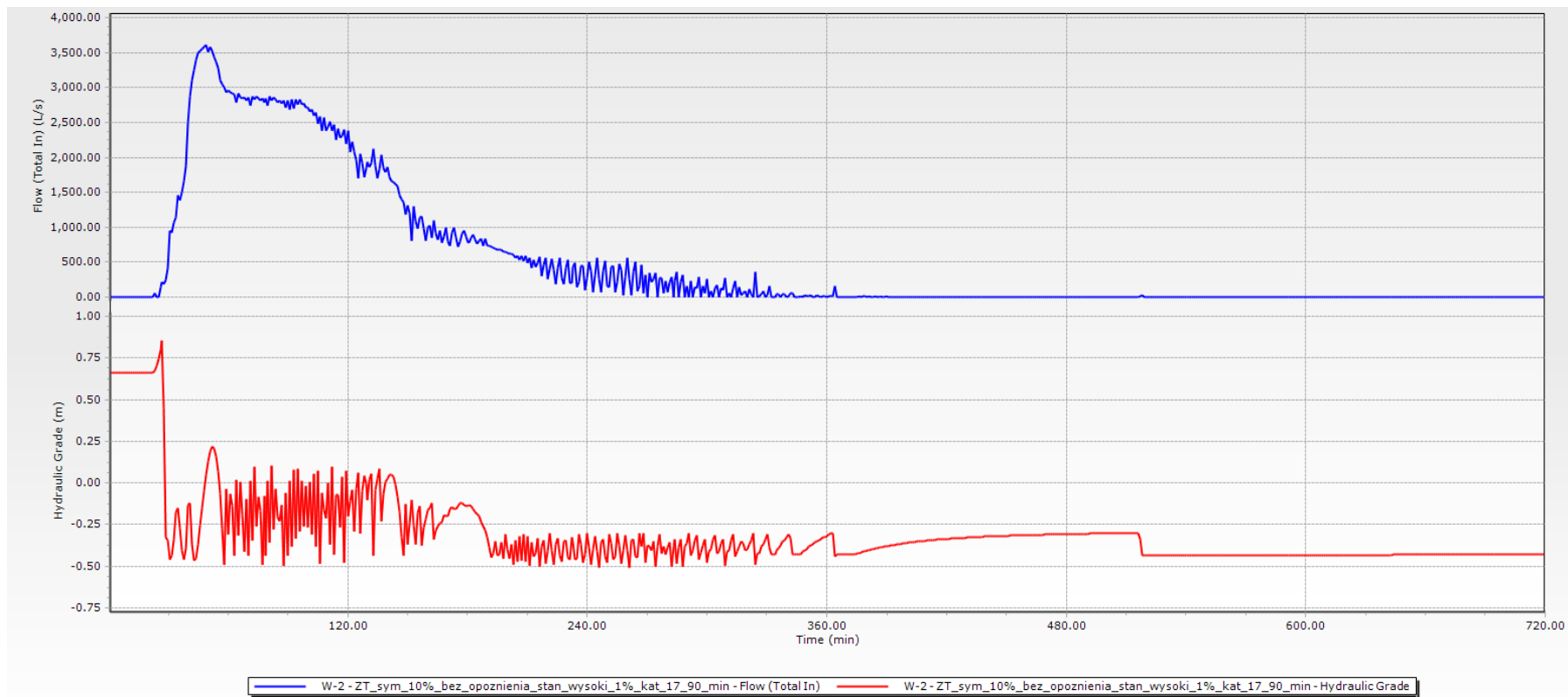
Rysunek 51 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



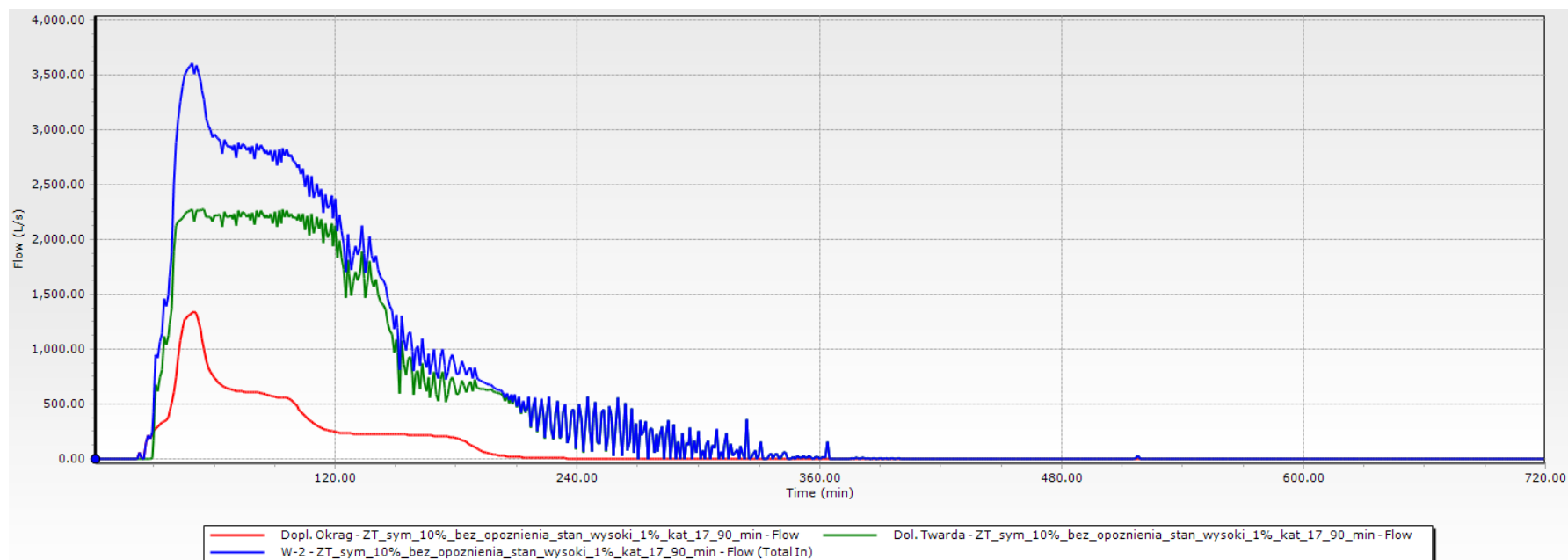
Rysunek 52 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 120$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.

Dodatkowo dla scenariusza o czasie wystąpienia opadu  $C=10$  lat i  $C=30$  lat oraz czasie trwania  $t = 90$  min przedstawiono profile podłużne kolektorów w ulicy Twardej, Okrąg oraz profil przez zbiornik w przepompowni.

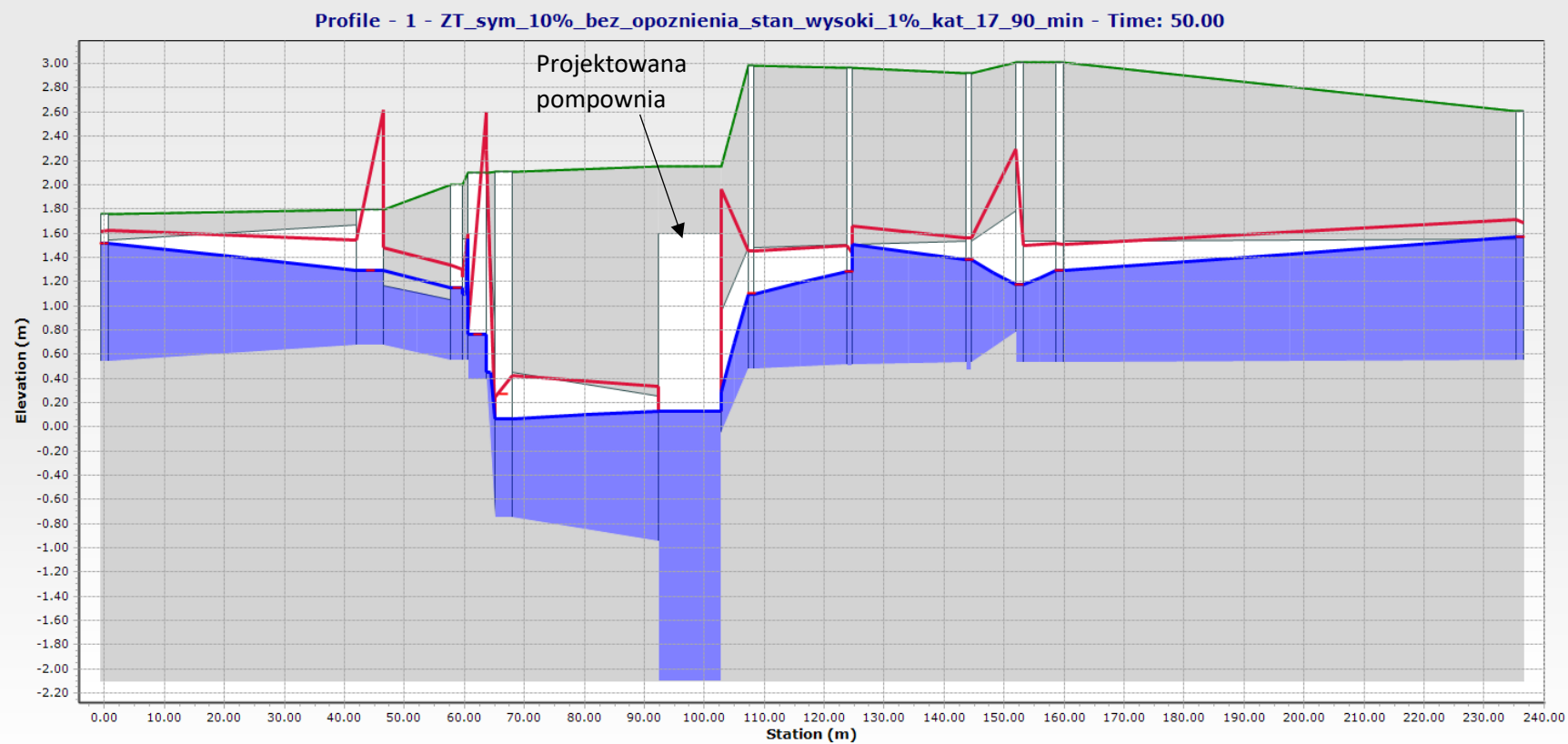




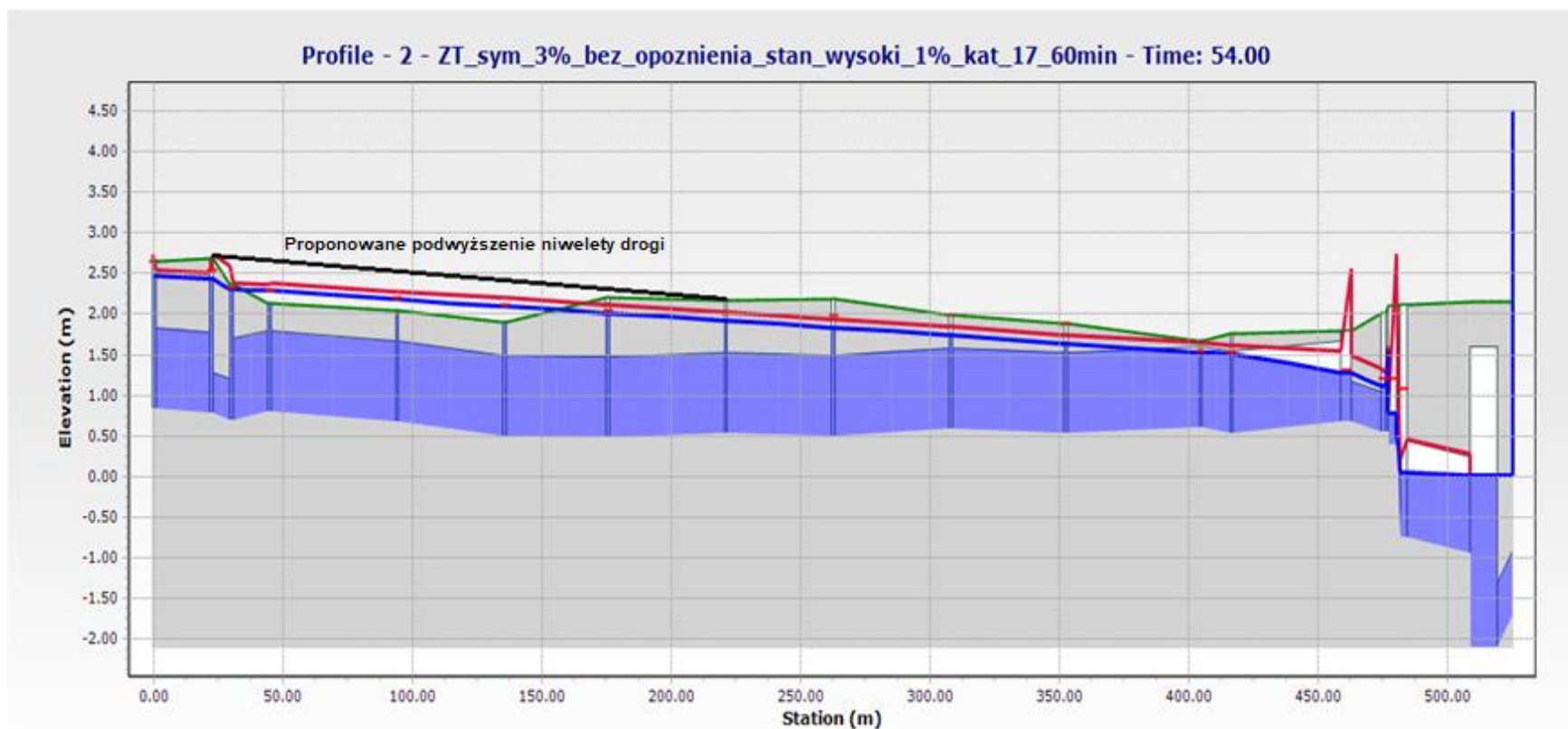
Rysunek 53 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



Rysunek 54 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz  $t = 90$  min oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

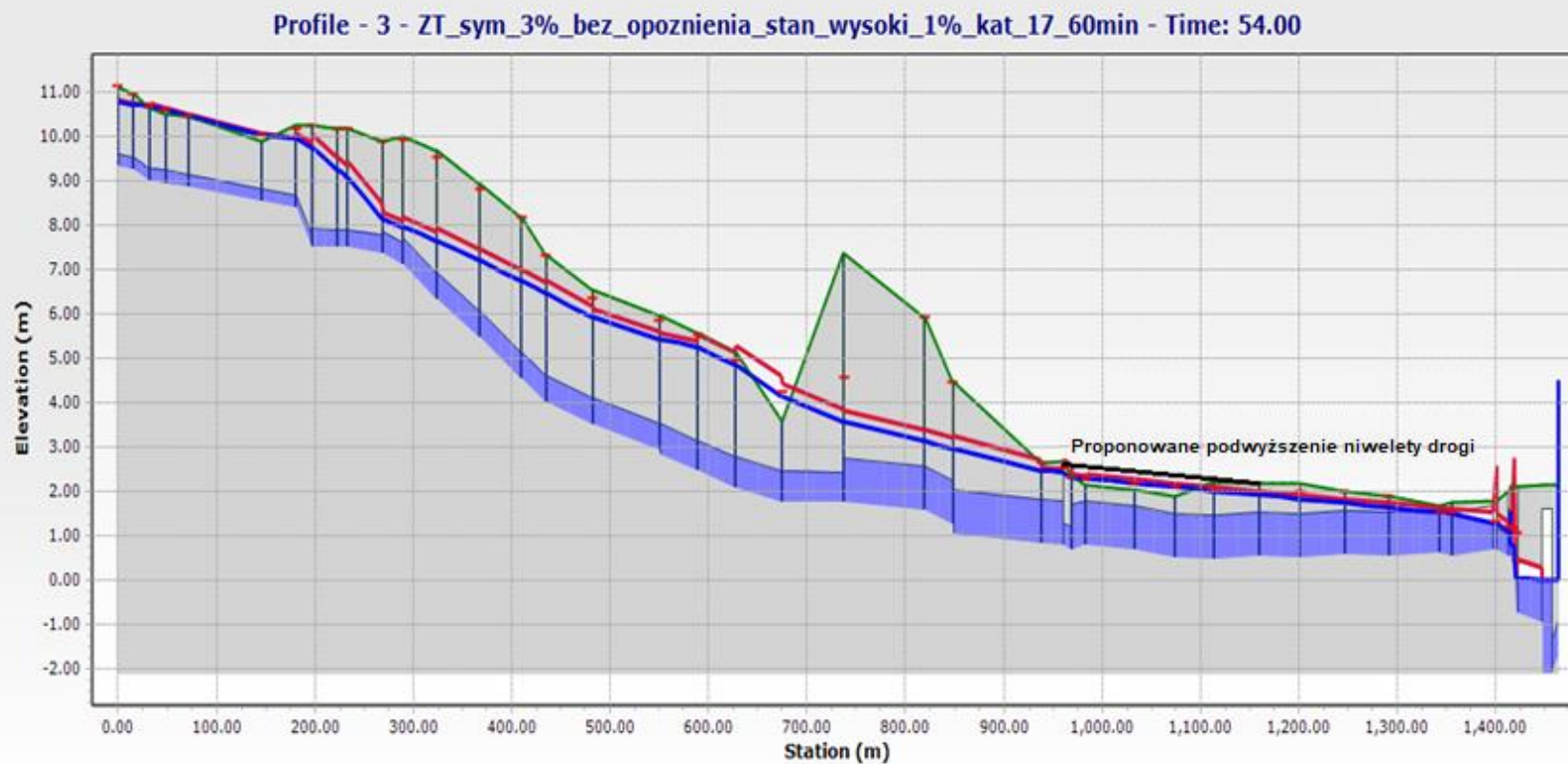


Rysunek 55 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

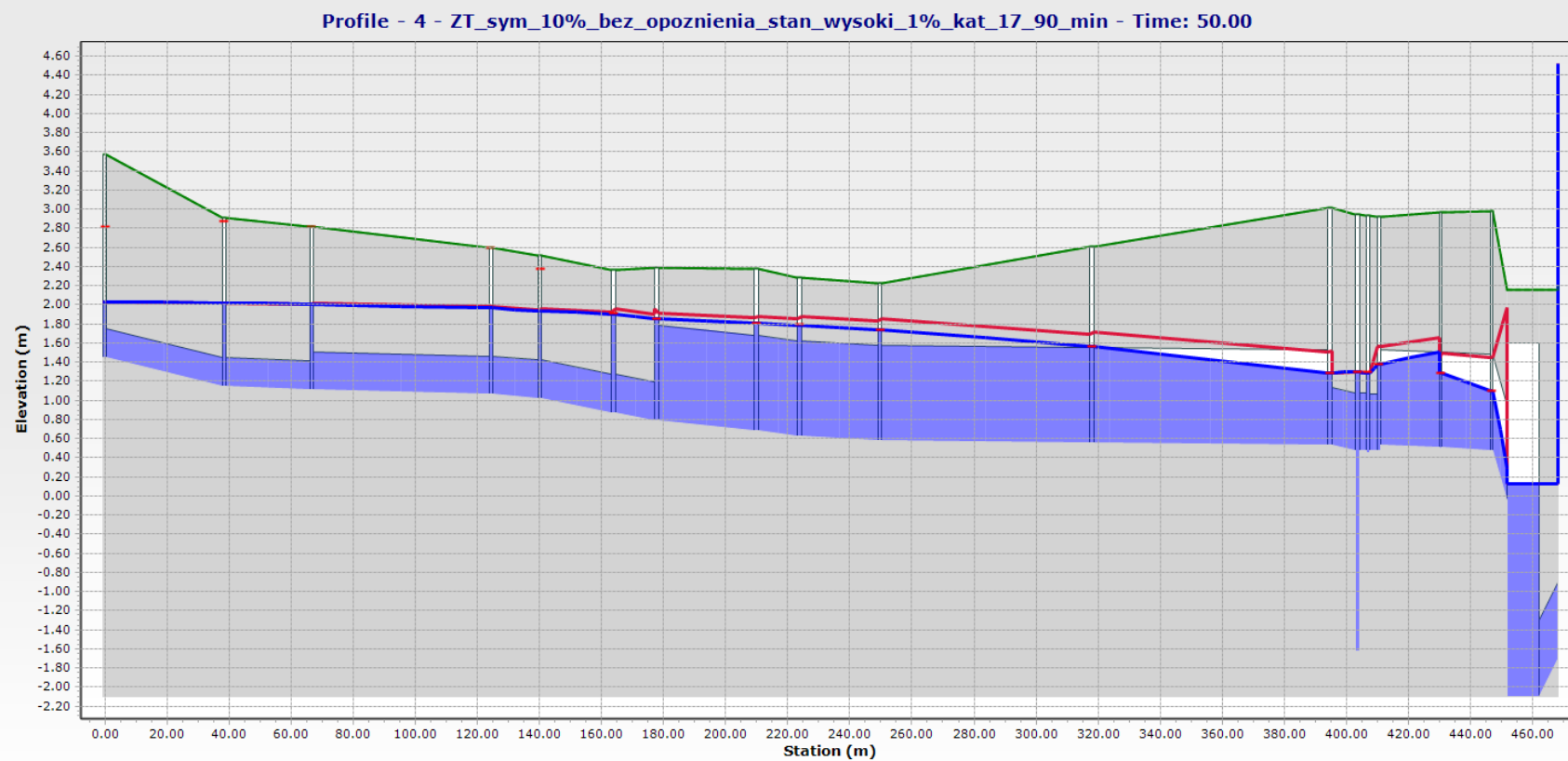


Rysunek 56 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

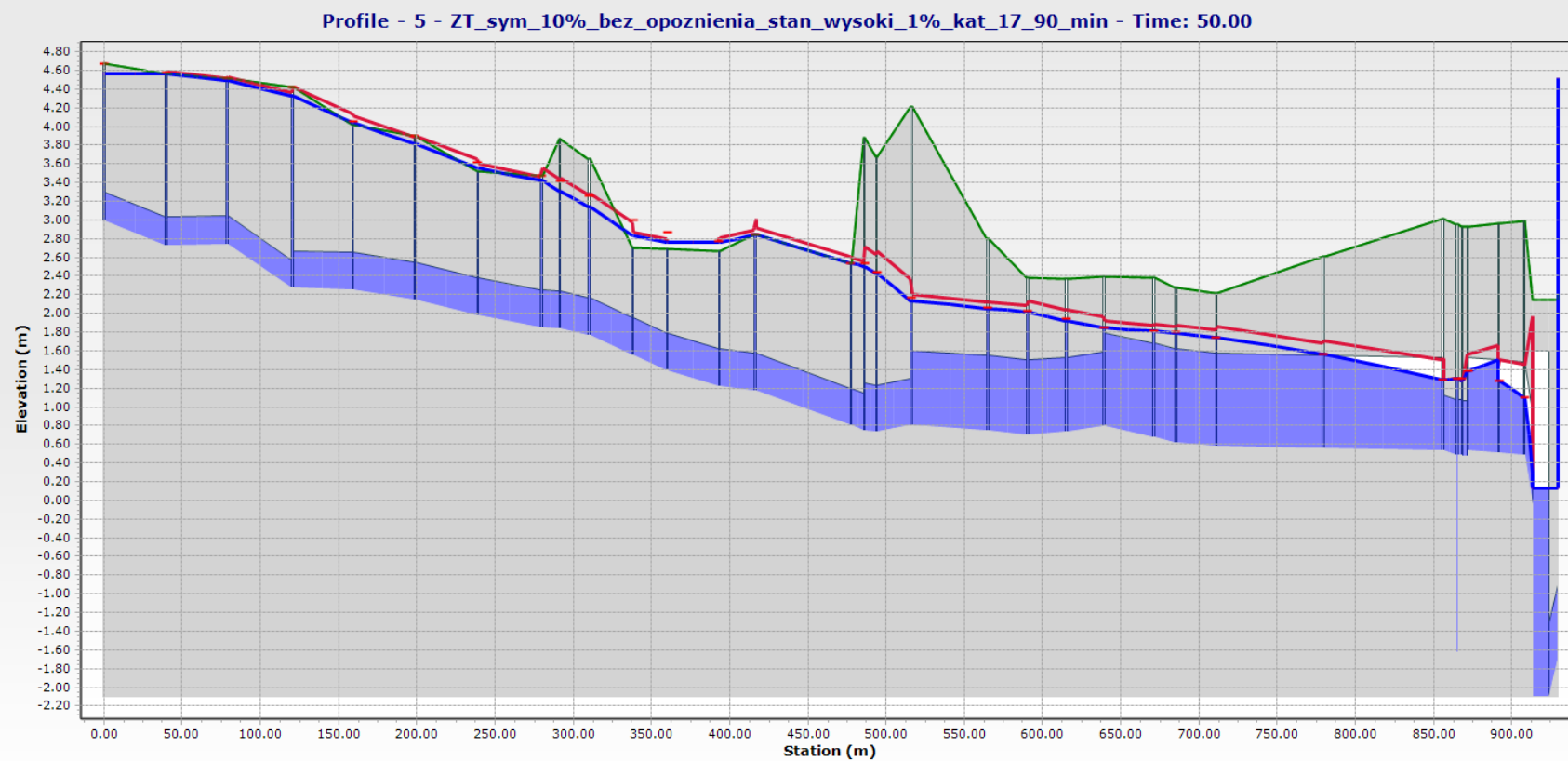




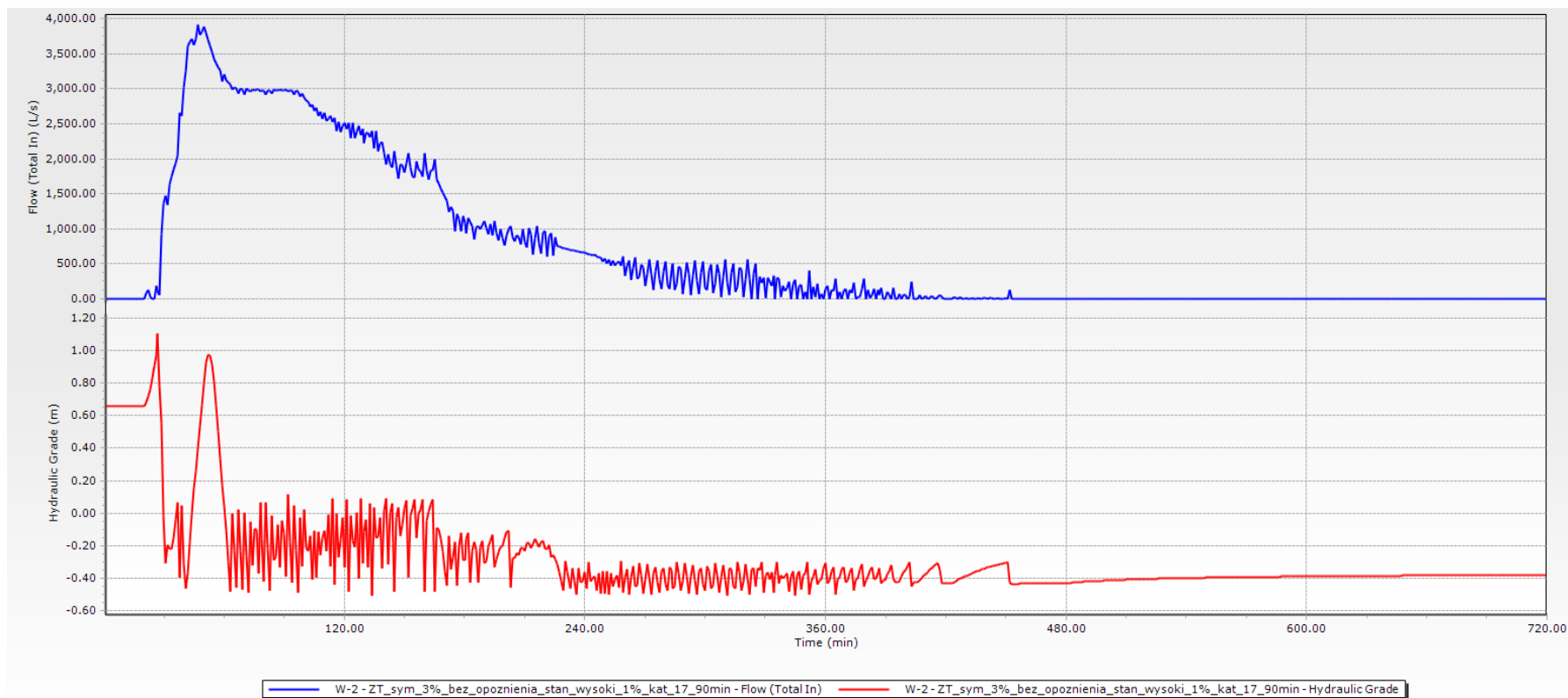
Rysunek 57 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyży.



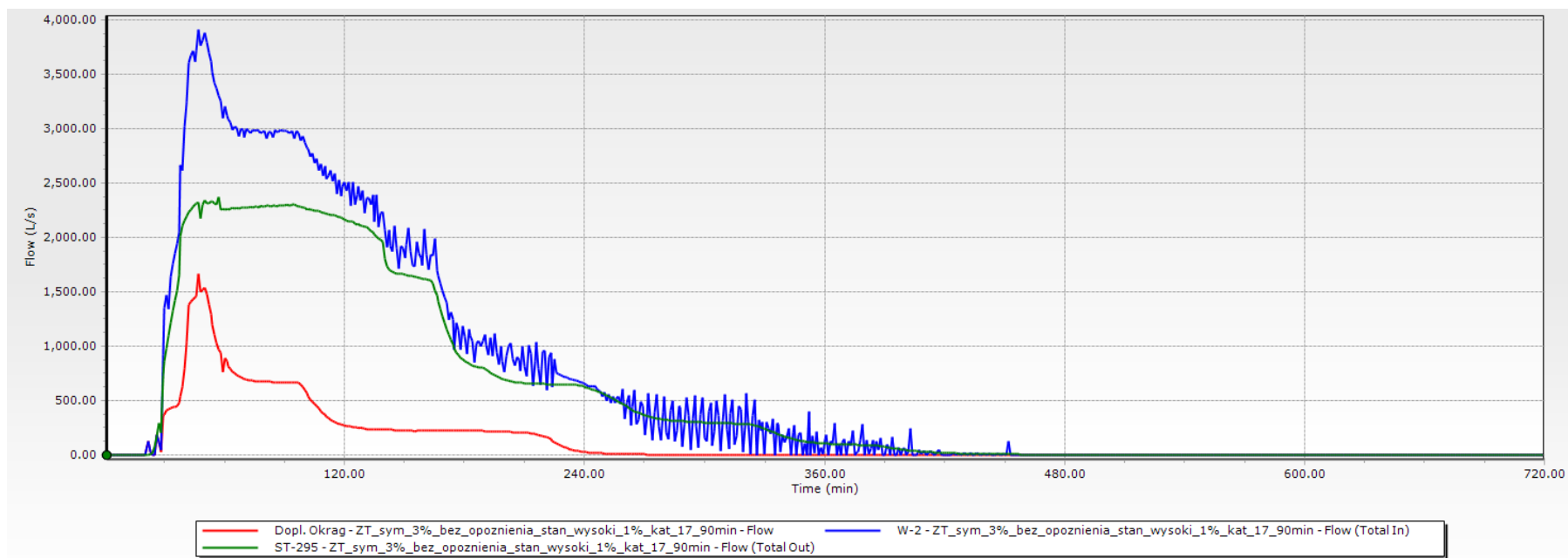
Rysunek 58 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



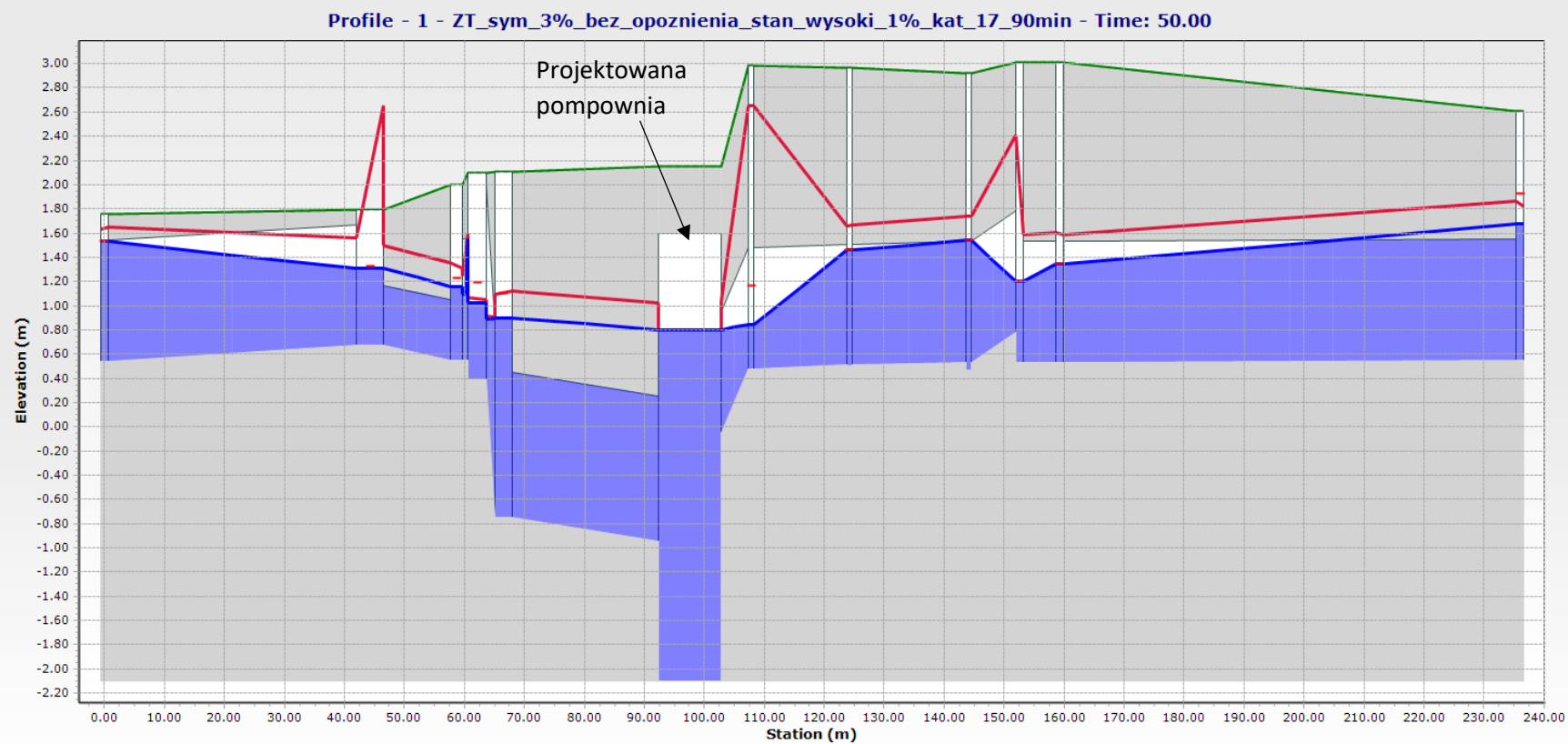
Rysunek 59 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 10$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyży.



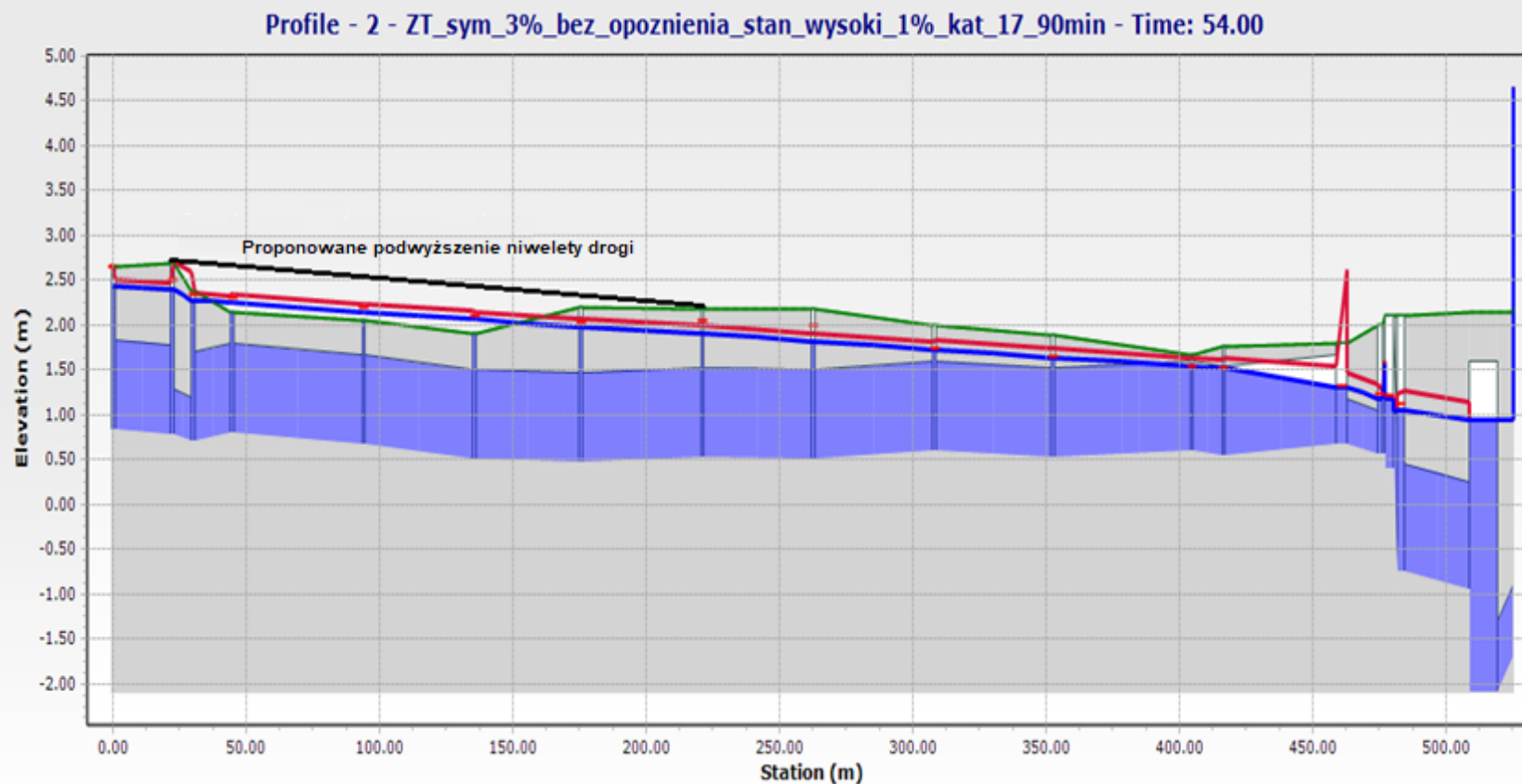
Rysunek 60 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat przy czasie trwania  $t = 90$  min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika.



Rysunek 61 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz  $t = 90$  min

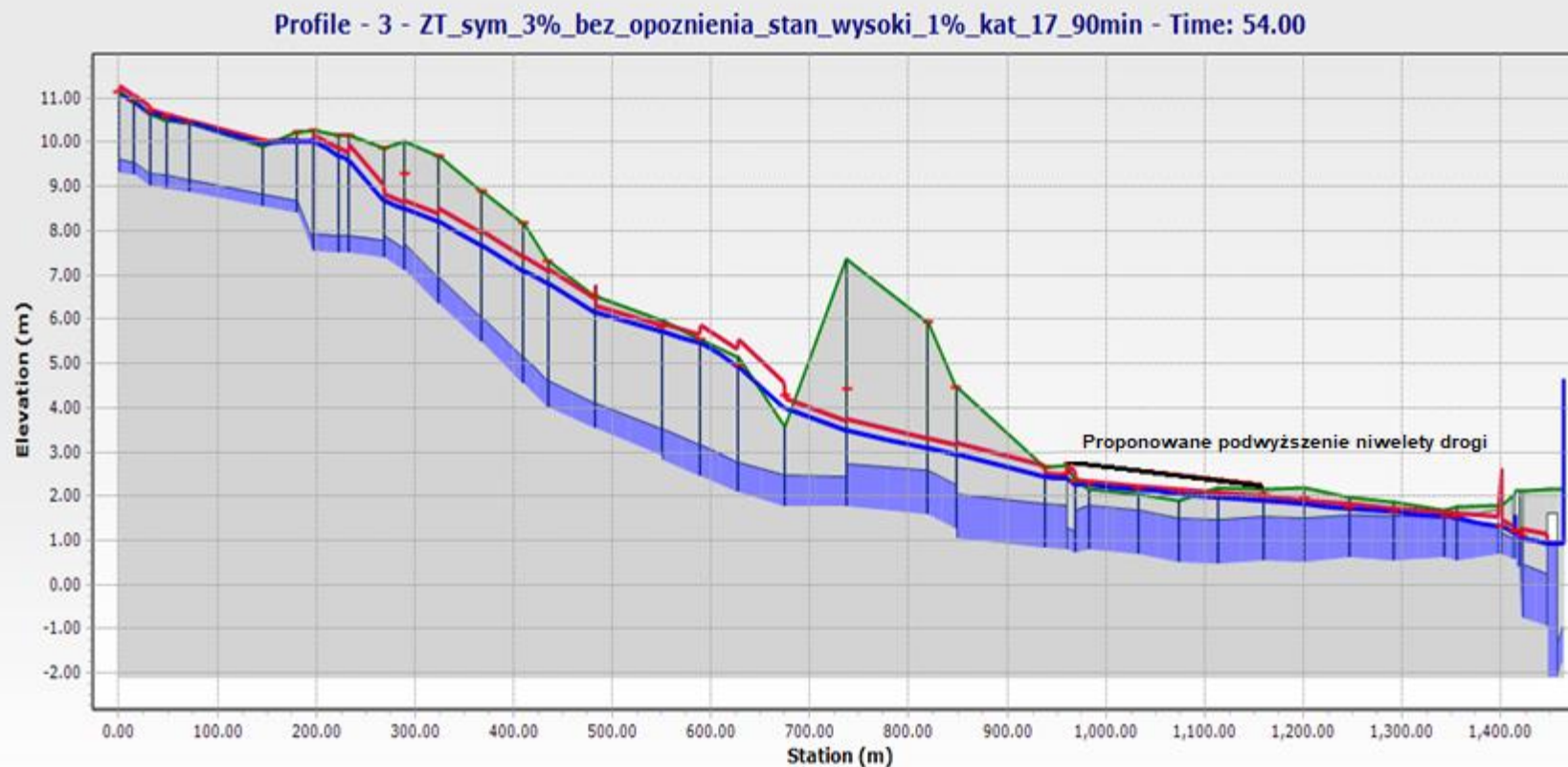


Rysunek 62 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

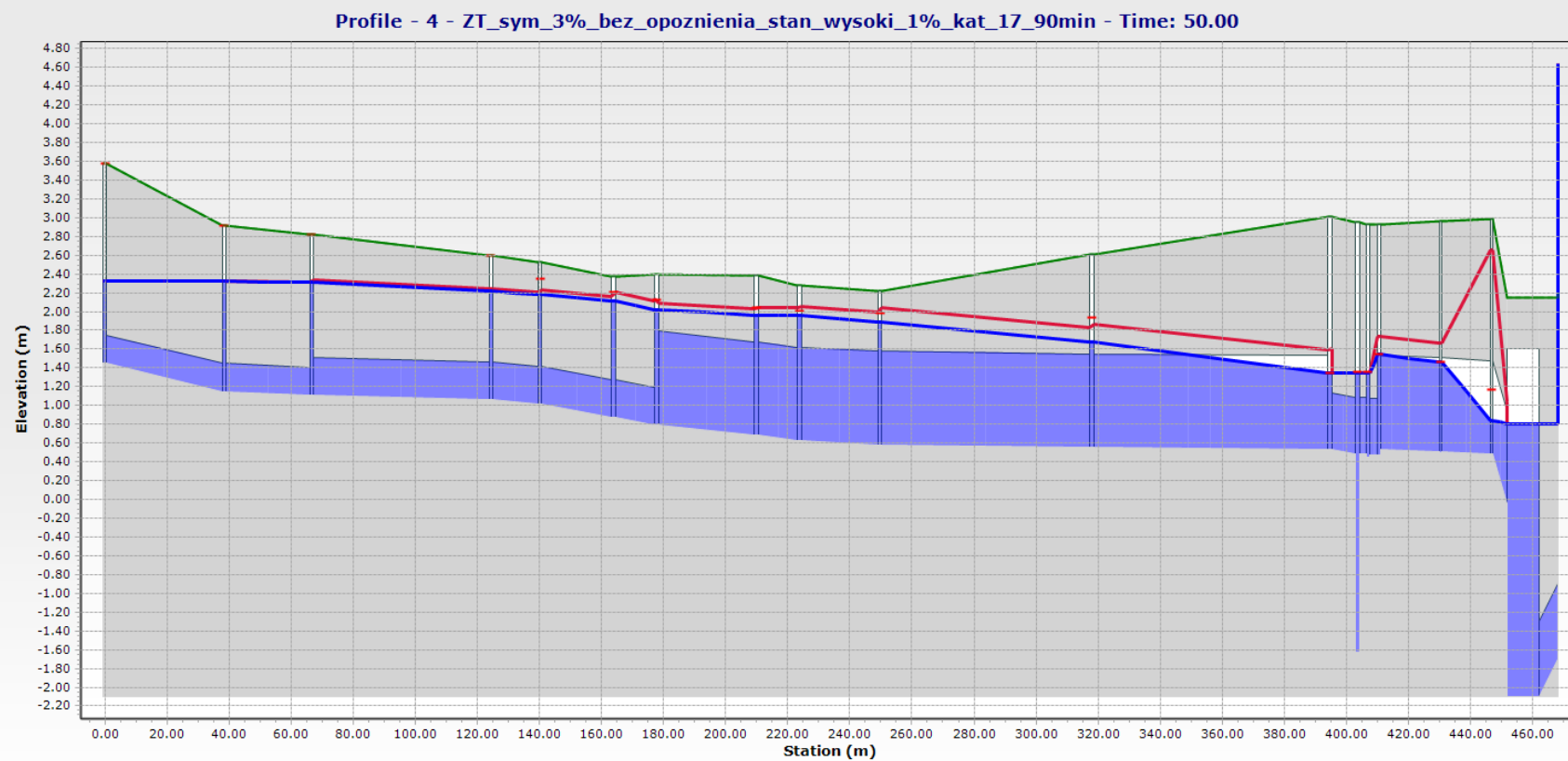


Rysunek 63 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat. W przypadku kilku studni proponuje się lokalne podniesienie niwelety drogi, aby zapobiec wylewom oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.

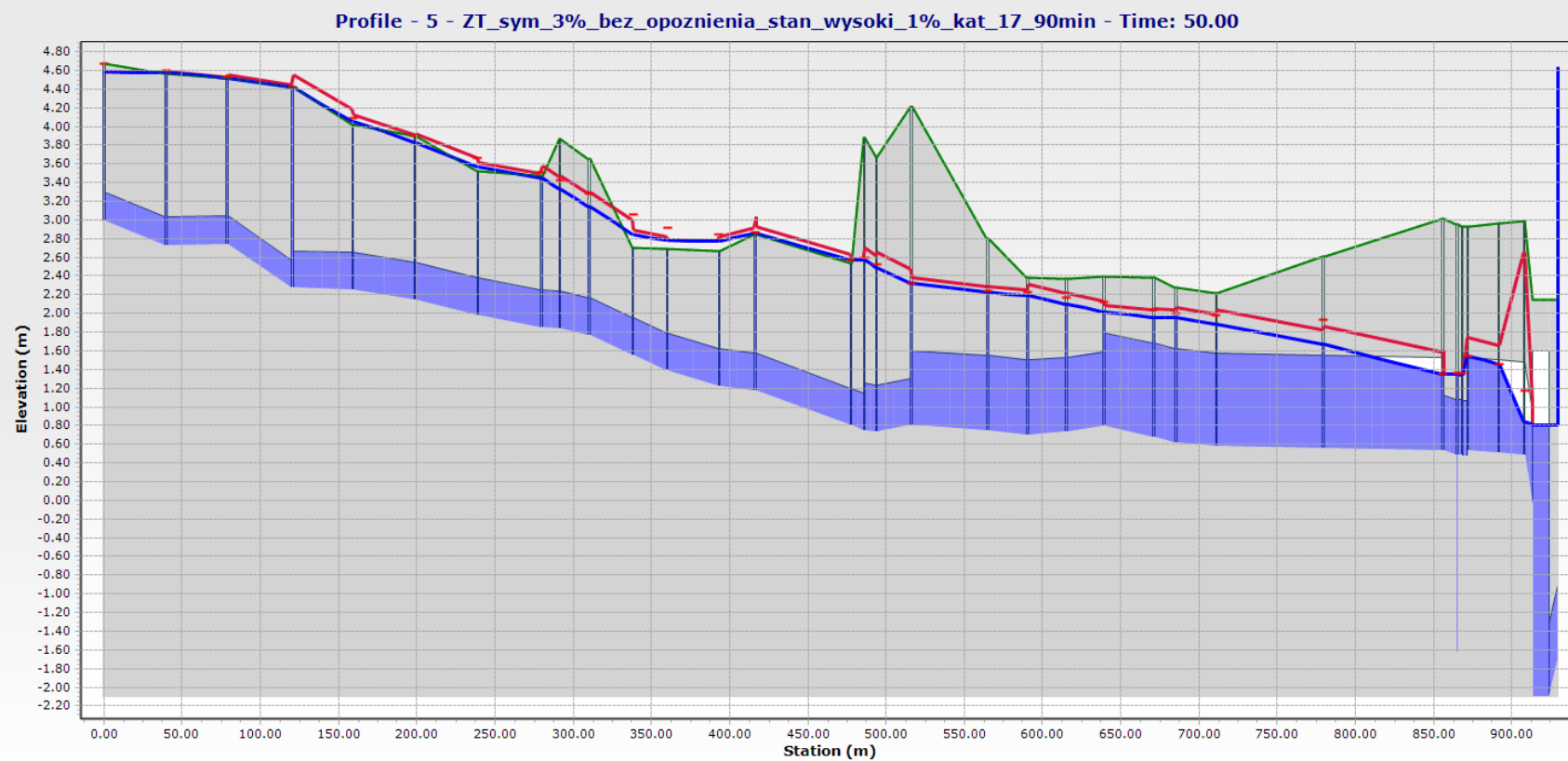




Rysunek 64 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyży.



Rysunek 65 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrag. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linie energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.



Rysunek 66 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strżyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia  $C = 30$  lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strżyża.

### 1.5.13. Podsumowanie

1. W ramach przedmiotowego opracowania przeprowadzono modelowanie hydrodynamiczne systemu odwodnienia ciężącego do Potoku Strzyża, z wylotami przy ul. Swojskiej w Gdańsku. Analizy przeprowadzono z użyciem specjalistycznej aplikacji komputerowej CivilStorm firmy Bentley przy wykorzystaniu silnika SWMM. W celu przeprowadzenia obliczeń obszar podzielono na dwie główne zlewnie, każda z własnym wylotem – zlewnia O1 przy ul. Okrąg oraz zlewnia O2 przy ul. Twardej.
2. Obliczenia przeprowadzono w ramach 2 symulacji hydrodynamicznych obejmujących prawdopodobieństwa  $p=10\%$  oraz  $p=30\%$  (częstości  $C=10$  lat oraz  $C=3$  lata), ze względu na występowanie przepompowni. Do modelowania wykorzystano model Bogdanowicz – Stachy o rozkładzie sumy opadów zgodnie z metodyką DVWK.
3. Przeprowadzone symulacje przeprowadzono dla dwóch stanów zagospodarowania powierzchni zlewni: dla stanu istniejącego oraz dla stanu prognozowanego. Stan prognozowany został powiększony o nowe odcinki KD w celu uwzględnienia nowych jednostek urbanistycznych i dróg zdefiniowanych w MPZP obowiązujących na obszarze opracowania. W sumie długość systemu KD została powiększona o ok. 925 m. Ponadto w stanie prognozowanym zdecydowano się na przesunięcie hydrogramu odpływu o 70 min, w celu zapewnienia dopływu wód opadowych z sieci KD w najwyższych stanach Potoku Strzyża.
4. Przeprowadzone serie symulacji hydrodynamicznych pozwoliły na zweryfikowanie poprawności pracy systemu kanalizacji deszczowej. Na podstawie analizy wyników symulacji hydrodynamicznych zauważono, że dla stanu 10-letniego oraz wyższych, rzędna zwierciadła wody w studzienkach oraz rzędna Potoku Strzyża jest wyższa od rzędnej terenu. Powoduje to, że praktycznie cały analizowany obszar znajduje się pod wodą. W takim wypadku projektowane pompownie zostają wyłączone, aby uniknąć pompowania tej samej wody. Ponadto w celu zabezpieczenia urządzeń elektrycznych potrzebnych do pracy przepompowni przed zalaniem, tereny wokół pompowni zostały wyniesione ponad teren.
5. Zaprojektowana pompownia pozwoliła na poprawę przepustowości sieci KD, zwłaszcza w rejonie ul. Swojskiej. Dzięki zastosowanemu rozwiązaniu pompowni, w połączeniu z rekomendowanym do wykonania w przyszłości zwiększeniem przepustowości kolektora w ul. Twardej (Wariant 5), w znacznym stopniu zmniejszono ilość nadpiętrzeń w studzienkach kanalizacyjnych.

## Bibliografia

1. Chow V. T., 1959: Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
2. Haestad Methods, Durrans S. R., 2007: Stormwater conveyance modeling and design. Bentley Institute Press, Exton, Pennsylvania USA.
3. Rossman L. A., 2000: Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5.0. United States Environmental Protection Agency.
4. Schmitt T. G., 2000: Komentarz ATV-DVWK do ATV – A118P Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2000.
5. Licznar P., Siekanowicz-Grochowina K., Mielczarek Sz. „Zróżnicowanie natężeń deszczów miarodajnych w Polsce”, „Instal” Sierpień 2015, nr 7-8, s 58 – 64.
6. PN EN 752:2017: Drain and sewer systems outside buildings
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984, s. 34.
8. Kundzewicz Z., 1985: Modele hydrologiczne ruchu fal powodziowych. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej, Warszawa.
9. Licznar P., Knysz M., Chudziak A., Zieliński J., „Modelowanie wpływu wysokich stanów wód odbiornika na pracę kanalizacji deszczowej”, „Inżynieria morska i geotechnika”, Luty 2012
10. Licznar P., „Praktyczna realizacja modelu hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnej w pakiecie SewerPac”, „GAZ, WODA I TECHNIKA SANITARNA” marzec 2008, nr 3, s. 11- 19.
11. Haestad Methods Water Solution, “Computer Application in Hydraulic Engineering connecting theory to practise eighth edition”, Bentley Institute Press, 2013
12. Kotowski A., Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2015.
13. Arbeitsblatt DVWK-A117: Bemessung von Regenrückhalteräumen. Gfa, Hennef 2006.
14. Kotowski A., Kaźmierczak B., Dancewicz A., „Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji”, Polska Akademia nauk. Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej. Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2010.
15. Kotowski, A., „Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów”, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wyd. I, Warszawa 2011

Inne źródła:

16. [www.google.pl/maps](http://www.google.pl/maps)
17. [www.retencja.pl](http://www.retencja.pl)
18. <http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>

## SPIS TABEL

Tabela 1. Zestawienie parametrów dotyczących zagospodarowania terenu w MPZP obowiązujących na obszarze opracowania.....	12
Tabela 2. Parametry zlewni dla ciągów pieszych, rowerowych, torowisk, tramwajowych i parkingów.....	17
Tabela 3. Parametry zlewni dla dróg i ulic.....	17
Tabela 4. Parametry zlewni terenów zielonych .....	18
Tabela 5. Parametry zlewni usług.....	18
Tabela 6. Parametry zlewni zabudowy mieszkaniowej.....	19
Tabela 7. Wybrane wartości współczynnika CN w zależności od hydrologicznej kategorii gleb i rodzaju zabudowy (na podstawie TR-55 1986) .....	21
Tabela 8. Hydrologiczne klasy gleby (na podstawie TR-55 1986) .....	22
Tabela 9. Zalecane częstotliwości projektowe deszczu miarodajnego .....	22
Tabela 10. Wysokości opadów deszczów miarodajnych przyjmowanych do skonstruowania opadu według metodyki DVWK 1984 dla odpływu O1 oraz O2.....	27
Tabela 11. Zestawienie długości przewodów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania w stanie istniejącym.....	30
Tabela 12. Zestawienie liczby elementów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania w stanie istniejącym .....	30
Tabela 13. Zestawienie długości przewodów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania na stan prognozowany.....	31
Tabela 14. Zestawienie liczby elementów modelu hydrodynamicznego systemu odwodnienia obszaru opracowania na stan prognozowany .....	31
Tabela 15. Informacje o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Okrąg w Gdańsku .....	34
Tabela 16. Informacje o stanie przepustowości sieci systemu odwodnienia zlewni ul. Twardej w Gdańsku.....	37

## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Zlewnie ciężące do analizowanej KD na terenie opracowania .....	5
Rysunek 2. Widok na ul. Okrąg w Gdańsku .....	6
Rysunek 3. Widok na Aleję gen. Józefa Hallera w Gdańsku .....	6
Rysunek 4. Widok na ul. Uphagena w Gdańsku.....	7
Rysunek 5. Widok na ul. Uphagena w Gdańsku.....	7
Rysunek 6. Widok na ul. Zielony Trójkąt w Gdańsku.....	7
Rysunek 7. Widok na ul. Hallera w kierunku budynku OKUN w Gdańsku.....	8
Rysunek 8. Widok na ul. Wyspiańskiego w Gdańsku .....	8
Rysunek 9. Widok na ul. Traugutta w Gdańsku.....	9
Rysunek 10. Przykład wyznaczania granic zlewni cząstkowych na terenie dróg .....	16
Rysunek 11. Schemat ideowy drogi spływu powierzchniowego w modelu EPA SWMM .....	20
Rysunek 12. Zależność (typu IDF) natężenia deszczu $q$ od czasu trwania $t_d$ dla częstości występowania $C=10$ lat dla deszczu wg formuły Bogdanowicz-Stachy dla regionu R2.....	23
Rysunek 13. Regiony opadów maksymalnych dla czasów trwania deszczu $t \in [5;120)$ min; R1 – region centralny, R2 – region północno – zachodni.....	25
Rysunek 14. Hietogram opadu modelowego według metodyki DVWK 1984 dla deszczu 30-letniego, oparty o model natężeń deszczów Bogdanowicz – Stachy .....	27
Rysunek 15. Hietogram opadu modelowego według metodyki DVWK 1984, dla deszczu 10-letniego, oparty o model natężeń deszczów Bogdanowicz – Stachy .....	28
Rysunek 16. Schemat modelu hydrodynamicznego opracowanego w programie CivilStorm dla obszaru opracowania przy ul. Swojskiej w Gdańsku dla stanu istniejącego. Kolorem jasnozielonym zaznaczono kanały sieci kanalizacji deszczowej, które zostały dodane do stanu projektowanego. ....	29
Rysunek 17. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa $p=3\%$ dla zlewni ul. Okrąg oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	32
Rysunek 18. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa $p=10\%$ dla zlewni ul. Okrąg oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	33
Rysunek 19 Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa $p=3\%$ dla zlewni ul. Twardej oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	35
Rysunek 20. Profil sieci KD z zaznaczeniem przebiegu linii ciśnień (kolor niebieski) oraz linii energii (kolor czerwony) towarzyszący maksymalnym przepływowi w trakcie symulacji dla prawdopodobieństwa $p=10\%$ dla zlewni ul. Twardej oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	36
Rysunek 21. Hydrogram odpływu z komory K1 dla zlewni O1 o prawdopodobieństwie 10% i czasie trwania $t=90$ min dla stanu istniejącego oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	37
Rysunek 22. Hydrogram odpływu z komory K2 dla zlewni O2 o prawdopodobieństwie 10% i czasie trwania $t=90$ min dla stanu istniejącego oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	38
Rysunek 23 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia $C = 10$ lat przy czasie trwania $t = 30$ min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	39
Rysunek 24 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia $C = 10$ lat przy czasie trwania $t = 60$ min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	40



Rysunek 25 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	41
Rysunek 26 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 120 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	42
Rysunek 27 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 30 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	43
Rysunek 28 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 60 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	44
Rysunek 29 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	45
Rysunek 30 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 120 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	46
Rysunek 31 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	48
Rysunek 32 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz t = 90 min.....	49
Rysunek 33 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	50
Rysunek 34 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia opadu C = 10 lat oraz t = 90 min oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	51
Rysunek 35 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	52
Rysunek 36 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	53
Rysunek 37 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	54

Rysunek 38 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 4 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	55
Rysunek 39 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz t = 90 min. ....	56
Rysunek 40 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	57
Rysunek 41 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	58
Rysunek 42 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	59
Rysunek 43 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	60
Rysunek 44 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącą maksymalnym przepływem dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	61
Rysunek 45 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 30 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	63
Rysunek 46 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 60 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	64
Rysunek 47 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	65
Rysunek 48 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 120 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	66
Rysunek 49 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 30 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	67
Rysunek 50 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 60 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem niebieskim został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	68

Rysunek 51 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	69
Rysunek 52 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 120 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	70
Rysunek 53 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem czerwonym przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	72
Rysunek 54 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz t = 90 min oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	73
Rysunek 55 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	74
Rysunek 56 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	75
Rysunek 57 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	76
Rysunek 58 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	77
Rysunek 59 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 10 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	78
Rysunek 60 Wykres pracy przepompowni dla wariantu 5 zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat przy czasie trwania t = 90 min. Kolorem niebieskim przedstawiono rzędną zwierciadła wody w zbiorniku. Kolorem czerwonym został ukazany całkowity dopływ do zbiornika. ....	79
Rysunek 61 Hydrogram sumarycznego dopływu (kolor niebieski) do pompowni oraz jednostkowy dopływ od ulicy: Twardej (kolor zielony), Okrąg (czerwony) zasilanego opadem o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz t = 90 min.....	80
Rysunek 62 Profil od studzienki przed komorą K1 poprzez przepompowanie do studzienki za komorą K2. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	81
Rysunek 63 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Twardej. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływowi dla symulacji o czasie wystąpienia C = 30 lat. W przypadku kilku studni proponuje się	

lokalne podniesienie niwelety drogi, aby zapobiec wylewom oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	82
Rysunek 64 Profil kanalizacji deszczowej od ulicy Gabriela Narutowicza poprzez ulicę Twardą, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia $C = 30$ lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	83
Rysunek 65 Profil kanalizacji deszczowej w ulicy Okrąg. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia $C = 30$ lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża. ....	84
Rysunek 66 Profil kanalizacji od ulicy Zielony trójkąt poprzez ulicę Okrąg, zakończonym wylotem do potoku Strzyży. Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg linii ciśnień oraz kolorem czerwonym przedstawiono linię energii towarzyszącym maksymalnym przepływom dla symulacji o czasie wystąpienia $C = 30$ lat oraz dla stanu wysokiego w potoku Strzyża.....	85