



INWESTOR: Gmina Miejska Kraków - Urząd Miasta Krakowa
pl. Wszystkich Świętych 3-4,
31-004 Kraków

WYKONAWCA: MGGP S.A.



33-100 Tarnów,
ul. Kaczkowskiego 6
tel. (014) 626-38-90
fax. (014) 626-45-39

www.mggp.com.pl

e-mail: mggp@mggp.com.pl

KONCEPCJA ODWODNIENIA I POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA POWODZIOWEGO MIASTA KRAKOWA

Etap I

Autorzy:
Zespół techniczny MGGP S.A.
Kierownik projektu:
mgr inż. Tomasz Matera

Kraków 2011

SPIS TREŚCI

1	Część wstępna.....	6
1.1	Cel i zakres opracowania.....	6
1.2	Podstawa prawna opracowania.....	6
1.2.1	Materiały źródłowe.....	6
1.3	Metody, które zostaną wykorzystane przy opracowaniu koncepcji.....	9
1.3.1	Metodyka obliczeń hydraulicznych kanalizacji opadowej i ogólnospławnej.....	9
1.3.1.1	Profil programów i etapy tworzenia modelu pracy kanalizacji opadowej i ogólnospławnej miasta Krakowa.....	9
1.3.2	Metodyka obliczeń hydraulicznych cieków wodnych.....	10
1.3.3	Metodyka obliczeń hydrologicznych.....	11
2	Część diagnostyczna.....	14
2.1	Inwentaryzacja istniejącego systemu odprowadzania wód opadowych i roztopowych.....	14
2.1.1	Urządzenia kanalizacji.....	14
2.1.2	Bariera wodna.....	17
2.1.3	Obiekty melioracyjne.....	19
2.2	Analiza i ocena istniejącego systemu odprowadzania wód opadowych i roztopowych.....	21
2.2.1	Analiza i ocena lokalizacji i wartości opadów nawałnych, miarodajnych i kontrolnych oraz warunków odprowadzania wód opadowych w 2010 roku i w latach wcześniejszych.....	21
2.2.1.1	Materiał i metody.....	21
2.2.1.2	Charakterystyka przebiegu opadów w Krakowie.....	23
2.2.1.3	Przebieg powodzi na obszarze miasta Krakowa w lipcu 1997r.....	33
2.2.1.4	Podsumowanie.....	34
2.2.2	Podział na obszary odwodnienia kanalizacją i na zlewnie rzek.....	37
2.2.2.1	Podział miasta na systemy kanalizacji.....	37
2.2.3	Konflikty i zagrożenia w układzie hierarchii ich poziomu istotności.....	62
2.2.4	Zrealizowane działania operacyjne ze wskazaniem poziomu ich ważności.....	64
2.2.5	Ocena na podstawie dostępnych materiałów i opracowań, przepustowości obecnego systemu odwodnienia.....	66
2.2.5.1	Przepustowość koryt cieków.....	66
2.2.5.2	Krytyczna ocena danych o przepustowości obu systemów.....	68
2.2.6	Analiza i ocena skuteczności rozdzielczego i łącznego odprowadzenia wód opadowych w poszczególnych obszarach miasta – w warunkach wpływu i braku wpływu fali wezbraniowej Wisły.....	69
2.2.7	Wstępna ocena stanu technicznego obiektów istniejących.....	70
2.2.7.1	Stan techniczny kanalizacji.....	70
2.2.7.2	Przelewy burzowe.....	70
2.2.7.3	Pompownie wód opadowych.....	90
2.2.7.4	Zbiornik Zesławice.....	97
2.2.7.5	Wyloty wód opadowych.....	99
2.2.7.6	Wały przeciwpowodziowe.....	108
2.2.8	Wnioski.....	114

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 Lokalizacja posterunków opadowych.....	22
Rysunek 2 Przebieg natężeń maksymalnych deszczy o czasie trwania do 120 min w wieloleciu 1906 – 1990 na stacji UJ Ogród Botaniczny.....	24
Rysunek 3 Pluviogramy wzorcowe opadów o czasie trwania:.....	26
Rysunek 4 Krzywe bezwymiarowe opadów nawalnych ze stacji UJ Ogród Botaniczny (linia przerywana – średnia krzywa bezwymiarowa; linie czarne ciągłe – przedziały ufności średniej oraz odchylenie ćwiartkowe).	27
Rysunek 5 Hietogram opadu na stacji Bielany z dnia 15-16 maja 2010 r.....	27
Rysunek 6 Hietogram opadu na stacji Sidzina z dnia 15-16 maja 2010 r.	28
Rysunek 7 Hietogram opadu na stacji Skotniki z dnia 15-16 maja 2010 r.....	28
Rysunek 8 Hietogram opadu na stacji Wadów z dnia 15-16 maja 2010 r.....	29
Rysunek 9 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Bielany w 2010r.	30
Rysunek 10 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Sidzina w 2010r.	30
Rysunek 11 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Skotniki w 2010r.	31
Rysunek 12 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Wadów w 2010 r.	31
Rysunek 13 Krzywe prawdopodobieństwa opadów maksymalnych dla różnych czasów trwania ze stacji UJ Ogród Botaniczny (krzywe ciągłe licząc od najniższej położonej, dla czasu trwania: $t = 5$ min, $t = 10$ min, $t = 15$ min, $t = 30$ min, $t = 60$ min, $t = 120$ min).....	32
Rysunek 14 Zagospodarowanie zlewni w obrębie miasta Krakowa.	35
Rysunek 15 Schemat podziału kanalizacji na terenie miasta Krakowa [pozyskane z zasobów MPWiK S.A.].....	38
Rysunek 16 Zlewnia rzeki Wisły w obrębie Miasta Krakowa.	40
Rysunek 17 Zlewnia rzeki Sidzinki.	41
Rysunek 18 Zlewnia rzeki Sanki.	42
Rysunek 19 Zlewnia potoku Kostrzeckiego.	43
Rysunek 20 Zlewnia potoku Pychowickiego.....	44
Rysunek 21 Zlewnia rzeki Rudawy.	45
Rysunek 22 Zlewnia rzeki Wilgi.	46
Rysunek 23 Zlewnia rzeki Prądnik/Białuchy.	47
Rysunek 24 Zlewnia Potoku Sudół.....	48
Rysunek 25 Zlewnia Potoku Sudół Dominikański/Rozrywka.....	49
Rysunek 26 Zlewnia potoku Łęgówka.	50
Rysunek 27 Zlewnia rzeki Dłubni	51
Rysunek 28 Zlewnia Potoku Baranówka.....	52
Rysunek 29 Zlewnia Kanału Stopnia Wodnego Przewóz.	53
Rysunek 30 Zlewnia rzeki Serafy.....	54
Rysunek 31 Zlewnia rzeki Drwinia Długa.....	55
Rysunek 32 Zlewnia rzeki Drwinki.	56

Rysunek 33 Zlewnia Kanału Suchy Jar.	57
Rysunek 34 Zlewnia potoku Kościelnickiego.	58
Rysunek 35 Zlewnia Strugi Rusieckiej.	59
Rysunek 36 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w ulicy Ks. Józefa.	71
Rysunek 37 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w ulicy Ks. Józefa na wysokości ul. Emaus.	72
Rysunek 38 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w okolicy Bulwaru Czerwieńskiego. ..	73
Rysunek 39 Plan sytuacyjny przelewu burzowego na Bulwarze Czerwieńskim, (w okolicy Wawelu.	75
Rysunek 40 Sytuacja przelewu burzowego w rejonie Bulwaru Finlandzkiego.	77
Rysunek 41 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Podgórskiej.	78
Rysunek 42 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy Rzeźniczej.	79
Rysunek 43 Sytuacja przelewu burzowego na Rudawie w ulicy Emaus w okolicy ulicy Jaksy Gryfity.	79
Rysunek 44 Sytuacja przelewu burzowego na Rudawie w ulicy Emaus w okolicy ulicy Jaksy Grafity.	80
Rysunek 45 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Tynieckiej, okolicie ulicy Czarodziejskiej.	80
Rysunek 46 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Tynieckiej, okolicie ulicy Szwedzkiej.	81
Rysunek 47 Sytuacja przelewu w Bulwarze Poleskim około 80 metrów poniżej mostu Dębnickiego.	82
Rysunek 48 Sytuacja przelewu w Bulwarze Poleskim około 70 metrów powyżej mostu Grunwaldzkiego.	84
Rysunek 49 Sytuacja przelewu w Bulwarze Wołyńskim około 160 metrów poniżej mostu Grunwaldzkiego.	85
Rysunek 50 Sytuacja przelewu burzowego wraz z syfonem pod Wilgą.	86
Rysunek 51 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Rollego.	87
Rysunek 52 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy K. Brodzińskiego.	88
Rysunek 53 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy Nadwiślańskiej.	89

SPIS TABEL

Tabela 1 Zestawienie długości i powierzchni całkowitych głównych cieków w układzie zlewniowym.....	20
Tabela 2 Zestawienie długości i powierzchni cieków głównych, dopływów oraz szczegółowej sieci cieków i rowów w układzie zlewniowym.....	60
Tabela 3 Zestawienie długości i powierzchni cieków głównych, dopływów oraz szczegółowej sieci cieków i rowów w układzie zlewniowym – znajdujących się w granicach administracyjnych miasta Krakowa.	61
Tabela 4 Najważniejsze działania operacyjne podjęte podczas powodzi w 2010 roku.....	64
Tabela 5 Tabelaryczne zestawienie śluz wałowych.....	109

MAPY

1. Koncepcja odwodnienia Krakowa Etap I – Schemat sekcji.
2. Mapa infrastruktury odwodnieniowej Miasta Krakowa skala 1:10 000 w 6 częściach.
3. Zlewnie dopływów rz. Wisły w obszarze Miasta Krakowa skala 1:50 000.
4. Mapa zagrożeń podtopieniami w obszarze Miasta Krakowa wg Powodzi 2010.
5. Mapa zagrożeń podtopieniami w obszarze Miasta Krakowa wg Powodzi 1997.
6. Mapa zagrożenia powodziowego Wisły i jej głównych dopływów wg RZGW w Krakowie.
7. Mapa zagrożenia powodziowego Wisły i jej głównych dopływów wg „Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Krakowa’.

1 Część wstępna.

1.1 Cel i zakres opracowania.

Celem niniejszego opracowania jest zinventaryzowanie stanu istniejącego kanałów i urządzeń służących odprowadzaniu wód opadowych (przelewy burzowe, przepompownie, etc.) wraz z obiektami służącymi ochronie przeciwpowodziowej (zbiorniki retencyjne, wały przeciwpowodziowe, etc.).

W ramach niniejszego opracowania przeanalizowane zostaną również możliwości urządzeń istniejącego systemu odprowadzania wód opadowych i roztopowych oraz propozycje poprawy parametrów w celu zoptymalizowania pracy w/w układu.

1.2 Podstawa prawna opracowania

– Umowa nr W/I/3948/IM/36/2010 z dnia 28.10.2010 zawarta pomiędzy Gminą Miejską Kraków – Urzędem Miasta Krakowa z siedzibą w Krakowie przy pl. Wszystkich Świętych 3 – 4, 31-004 Kraków w imieniu, której działa Pan Jacek Majchrowski – Prezydent Miasta Krakowa, a MGGP S.A. z siedzibą w Tarnowie ul. Kaczkowskiego 6, 33-100 Tarnów w imieniu, której działa Pan Bogdan Galus - Dyrektor Biura Projektów Inżynierii Środowiska, na podstawie pełnomocnictwa z dnia 18.10.2010r. w zakresie wykonania „Koncepcji odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego Miasta Krakowa”.

– Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. z 1994 Nr 89 poz. 414) wraz z późniejszymi zmianami.

– Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. z 2003 Nr 80 poz. 717) wraz z późniejszymi zmianami.

– Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. - Prawo wodne (Dz. U. z 2001 Nr 115 poz.1229) wraz z późniejszymi zmianami.

– Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. 2001 nr 62, poz. 627) wraz z późniejszymi zmianami rozporządzenia wykonawcze do ww. ustaw.

– Uchwała NR LXVI/554/00 Rady Miasta Krakowa z dnia 6 grudnia 2000r. w sprawie przyjęcia Lokalnego Planu Ograniczenia Skutków Powodzi i Profilaktyki Powodziowej dla Krakowa.

1.2.1 Materiały źródłowe

– Ocena zasadności budowy kanału krakowskiego w zakresie obniżenia zwierciadła wód powodziowych na obszarze Krakowa.

– Opracowanie koncepcji oraz studium wykonalności dla budowy "Kanału Krakowskiego".

– Wpływ Kanału Krakowskiego na zwierciadło i jakość wód gruntowych na terenach przyległych.

– Koncepcja kierunkowa ochrony przeciwpowodziowej Krakowa.

– Porozumienie w sprawie zasad realizacji przebudowy wałów przeciwpowodziowych rzeki Wisły w Krakowie wraz z odwodnieniem zawała z podziałem na 2 etapy.

- Ochrona przeciwpowodziowa - Studium Wykonalności.
- Plan sytuacyjny odcinka Wisły od stopnia Kościuszko do stopnia Dąbie.
- Rejestr wylotów i pozwoleń wodno prawnych.
- Pismo OC-03.6230-70/10 dotyczące realizacji projektu "Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa".
- Pismo OC-03.6230-62/10 dotyczące realizacji projektu "Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa".
- Ochrona Krakowa przed powodzią - Przelewy Burzowe.
- Raport powódź maj-czerwiec 2010r.
- Opracowanie podstaw systemu informowania mieszkańców Krakowa o możliwości podtapiania piwnic w okresach powodzi.
- Raport o stanie środowiska naturalnego miasta Krakowa w latach 1994 -1998 - stan aktualny i tendencje.
- Raport o stanie środowiska naturalnego miasta Krakowa w latach 1999-2001 z analizą porównawczą pięciolecia 1994-1998.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Tyniec w Krakowie..
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Olszanica - Zakamycze w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Jugowice Południe w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Kostrze i Skotniki w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla zlewni potoku Malinówka w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedli wschodnich obrzeży miasta Krakowa.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedli Swoszowice, Wróblowice, Zbydniowice w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Rybitwy-Przewóz w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Sidzina w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Bielany w Krakowie.

- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Opatkowice w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Pychowice - Bodzów w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część II-studium programowe kanalizacji deszczowej dla osiedla Prądnik Biały Północ w Krakowie.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część III - orientacyjne zestawienie kosztów.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część I - Inwentaryzacja inwestycji odprowadzania wód opadowych
w formie graficznej z opisem.
- Studium programowe - Odprowadzenie wód deszczowych na obszarach peryferyjnych miasta Krakowa. Część 0 - Część ogólna.
- Studium regulacji potoku Rozrywka.
- Potok "Rozrywka" - studium projektowe WARIANT II.
- Studium architektoniczno-inżynierskie możliwości podwyższenia obwałowań i bulwarów wiślanych w Krakowie na odcinku od stopnia Dąbie do stopnia Kościuszko oraz przebudowy przepraw przez Wisłę ze względu na ochronę przeciwpowodziową z uwzględnieniem aspektów krajobrazowych i architektonicznych - STUDIUM PRZEDPROJEKTOWE.
- Materiały w postaci elektronicznej:
 - Zalania Krakowa;
 - Mapy Podgórze;
 - Mapy Nowej Huty;
 - Mapy Krowodrzy;
 - Mapy Śródmieścia;
 - Ewidencja gruntów i budynków;
 - Sieci uzbrojenia terenu;
 - Ulice Krakowa;
 - Hydrografia;
 - Mapy zasadnicze Krakowa;
 - Ortofotomapa Gminy Kraków;
 - Kanalizacja Krakowa;
 - Rzeki DIK stan na 31.12.2009r.;
 - Wały i śluzy DIK stan na 31.12.2009r.;
 - Przepompownie DIK stan na 31.12.2009r.;
 - Zesławice DIK stan na 31.12.2009r.;
 - Budowle piętrzące DIK stan na 31.12.2009r.;
 - Cieki pozostałe DIK stan na 31.12.2009r.

1.3 Metody, które zostaną wykorzystane przy opracowaniu koncepcji.

1.3.1 Metodyka obliczeń hydraulicznych kanalizacji opadowej i ogólnospławnej.

Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa realizowana na zlecenie Urzędu Miasta Krakowa, będzie bazować na zbudowanym modelu hydrodynamicznym założonych zlewni. Graficzne zbudowanie modelu będzie możliwe dzięki programowi SewerGEMSTM współpracującemu z programem typu GIS i CAD.

1.3.1.1 Profil programów i etapy tworzenia modelu pracy kanalizacji opadowej i ogólnospławnej miasta Krakowa.

Szczegółowa analiza i ocena istniejącej przepustowości systemu odprowadzania wód opadowych w Krakowie będzie przeprowadzona na podstawie opracowanego do tego celu modelu matematycznego sieci kanalizacyjnej. Ze względu na obszar zlewni, ilość danych obliczeniowych, oraz formę plików źródłowych przekazanych przez Zamawiającego i pozyskanych w trakcie realizacji zadania z innych źródeł, do budowy modelu zostanie wykorzystane profesjonalne oprogramowanie komputerowe firmy Bentley – SewerGEMSTM współpracujące z programami typu GIS i CAD.

Wykorzystane narzędzia komputerowe posłużą do przeprowadzenia dynamicznej (zmienną w czasie) symulacji hydraulicznych warunków pracy sieci kanalizacyjnych, ujętych w systemy rozdzielcze i ogólnospławne na terenach zurbanizowanych. Dzięki zintegrowanym w programie–platformie SewerGEMSTM modułom hydraulicznym, hydrologicznym i ekonomicznym, dokonana zostanie analiza prac funkcjonujących systemów kanalizacyjnych. W tym zakresie przyjęte zostaną różne prawdopodobieństwa wystąpienia opadów oraz czasy ich trwania, zgodne z wymogami SIWZ dla zadania. Opracowany w ten sposób model matematyczny umożliwi przeprowadzenie obliczeń i zobrazowanie pojedynczych zdarzeń. Model pozwoli również określić zagrożenia związane ze skutkami wystąpienia opadów nawałnych i wysokich stanów wody w Wiśle oraz jej dopływach. W modelu zostaną założone scenariusze funkcjonowania sieci kanalizacyjnych, przy różnych obciążeniach wodami opadowymi (po wystąpieniu deszczy nawałnych), co pozwoli na wskazanie miejsc krytycznych z punktu widzenia funkcjonowania systemu odprowadzenia ścieków. Dla uwiarygodnienia modelu zlewni krakowskiej zostaną pozyskane:

- przepływy w wybranych kanałach,
- napełnienia kanałów ściekami (wybrane kanały),
- dane o opadach w poszczególnych częściach zlewni.

Wykonane symulacje pracy systemu kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej na terenie Krakowa zobrazują zjawiska ekstremalne, jakie mogą zdarzyć się na terenie miasta (zurbanizowanej zlewni miejskiej) po wystąpieniu bardzo intensywnych opadów deszczu oraz przy wysokim stanie wody w Wiśle i jej dopływach.

1.3.2 Metodyka obliczeń hydraulicznych cieków wodnych.

Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa w części związanej z analizą przepływów wód powierzchniowych bazować będzie na zbudowanym w ramach realizacji przedmiotowego zamówienia matematycznym modelu hydraulicznym. Model hydrauliczny zostanie wykonany w narzędziu MIKE11 w wersji 2009 opracowanym przez DHI - Water & Environment, będącym w posiadaniu Wykonawcy.

MIKE11 jest profesjonalnym pakietem programów inżynierskich, przeznaczonym do symulacji przepływu, jakości wody i transportu zanieczyszczeń oraz rumowiska w rzekach, kanałach nawadniających i innych ośrodkach wodnych. Jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych na świecie narzędzi do jednowymiarowego modelowania hydraulicznego. Bazuje on na nieliniowym modelu przepływu opisanym równaniami Saint-Venanta oraz uproszczonym modelem transformacji przepływów – sześciowęzłowym schemacie Abbott-Ionescu. Podstawowym modułem oprogramowania MIKE11 jest moduł hydrodynamiczny (HD) uwzględniający m. in. istniejące w korycie cieku budowle hydrotechniczne i mostowe oraz inne obiekty zdefiniowane przez użytkownika modelu, które mogą wpływać na kształt fali wezbraniowej.

Podsumowując, MIKE11 jest wygodnym w użytkowaniu, w pełni dynamicznym, jednowymiarowym narzędziem modelowania przepływów w rzekach i kanałach dla wykonania szczegółowych analiz, projektów oraz innych zadań z zakresu gospodarki wodnej.

W przedmiotowym opracowaniu zostanie opracowany powszechnie stosowany w tego rodzaju analizach jednowymiarowy model ruchu nieustalonego, bazujący na metodzie hydraulicznej znanej pod nazwą „metoda fali dynamicznej”. Metoda ta opisana jest pełnymi jednowymiarowymi równaniami Saint-Venanta, wyrażonymi w postaci równania zachowania masy i równania zachowania pędu.

Model hydrauliczny zbudowany zostanie dla wszystkich ważniejszych odcinków cieków powierzchniowych znajdujących się na terenie miasta Krakowa i posłuży do określenia rzędnych zwierciadła wód powodziowych. Uzyskane z modelu rzędne wykorzystane zostaną do analiz związanych z określeniem przepustowości cieków oraz posłużą wyznaczeniu stref zalewowych.

Efekty tych analiz w połączeniu z informacją o zasięgu stref zalewowych oraz informacją przestrzenną o zagospodarowaniu terenu i istniejącej infrastrukturze, będą w dalszym etapie prac podstawą do opracowania części koncepcyjnej przedmiotowego opracowania.

Budowa jednowymiarowego modelu hydraulicznego ruchu nieustalonego składać się będzie z następujących etapów:

- 1. Schematyzacji sieci rzecznej**, w ramach, której w celu właściwego odwzorowania kształtu i przebiegu sieci rzecznej na obszarze objętym modelem wykorzystany zostanie numeryczny model terenu NMT, na podstawie, którego wygenerowane zostaną osie cieków oraz granice koryta głównego. W oparciu o ortofotomapy w skali 1: 5 000 wykonana zostanie weryfikacja danych pozyskanych z NMT. Przygotowana w środowisku GIS sieć rzeczna zostanie wprowadzona do modelu hydraulicznego i uzupełniona o struktury odwzorowujące przepływ wody na terasach zalewowych. Struktury te zostaną połączone z korytem głównym w celu umożliwienia swobodnej wymiany wody.

Wprowadzenia przekrojów poprzecznych

Dla potrzeb opracowania zostaną wykorzystane dostarczone przez Zamawiającego, a także pozyskane przez Wykonawcę istniejące przekroje poprzeczne koryt rzecznych. W celu pełnego odzwierciedlenia warunków przepływu wielkich wód przekroje poprzeczne w miejscach o niewystarczającej długości zostaną poszerzone do przekrojów dolinowych w oparciu o NMT. Dla każdego z przekrojów zostaną określone powierzchnie oddzielające strefy przepływu dla obszarów o dużych różnicach szorstkości (dno koryta głównego i pozostały obszar) oraz punkty kontaktu koryta głównego z terasami zalewowymi (w przypadku, gdy będą leżały one w innej płaszczyźnie niż powierzchnie oddzielające), a także wprowadzone informacje o współczynnikach szorstkości n (wg Manninga). Wartość współczynnika Manninga ustalana będzie także dla każdego odcinka koryta leżącego pomiędzy pomierzonymi geodezyjnie przekrojami poprzecznymi.

2. Wprowadzenie budowli inżynierskich; przed przystąpieniem do budowy modelu hydraulicznego zostanie przeprowadzone szczegółowe rozpoznanie wszystkich obiektów inżynierskich znajdujących się na rzekach objętych modelowaniem.

3. Ustalenie parametrów początkowych, tj. początkowe stany wód i przepływy zostaną określone dla każdego z przekrojów.

4. Wykonanie obliczeń modelowych; w celu uniknięcia oscylacji przepływów i wydłużenia kroku czasowego w obliczeniach modelowych właściwe obliczenia zostaną poprzedzone tzw. obliczeniami inicjującymi.

1.3.3 Metodyka obliczeń hydrologicznych.

W zakresie obliczeń hydrologicznych w ramach projektu konieczne będzie przeprowadzenie analizy:

- Rozkładu przestrzenno-czasowego nawalnych opadów deszczu na terenie miasta Krakowa z określeniem charakterystyk deszczu miarodajnych,
- Określenia wartości przepływów maksymalnych prawdopodobnych w przekrojach wodowskazowych oraz fal hipotetycznych,
- Określenia wartości przepływów maksymalnych prawdopodobnych w poszczególnych zlewniach elementarnych oraz fal hipotetycznych, gdzie nie są prowadzone pomiary hydrometryczne.

Analiza rozkładu czasowo-przestrzennego opadów jest niezbędna w celu analizy pracy systemu kanalizacji opadowej wraz z odbiornikami spływów opadowych. Analiza ta będzie niezbędna także w celu przygotowania danych wejściowych na potrzeby kalibracji modelu sieci kanalizacyjnej oraz modelu hydraulicznego transformacji fali wezbraniowej w ciekach powierzchniowych. Zostanie ona przeprowadzona z wykorzystaniem obserwowanych epizodów opadowych ze stacji meteorologicznych oraz informacji z produktów radarowych SRI i PAC. Wykorzystane zostaną w tym celu zarejestrowane zjawiska opadów o różnym czasie trwania z posterunków zlokalizowanych w różnych częściach miasta Krakowa. W zależności od liczby posterunków opadowych zostaną określone średnie wartości opadów w danym kroku czasowym dla zlewni elementarnych przy użyciu metody wielokątów równego zadeszczenia, a w przypadku braku wystarczającej liczby posterunków z wykorzystaniem współczynników redukcyjnych opadów podawanych m.in. przez Banasika [2009] i Ponce [1989]. W celu ustalenia tzw. deszczu miarodajnych i kontrolnych zostaną wyznaczone tzw. miejscowe krzywe opadowe

bazujące na zarejestrowanych danych opadowych o czasie trwania 15, 30, 45, 60 i 120 minut oraz 24 godz. Dla każdego z podanych czasów trwania zostanie utworzona krzywa prawdopodobieństwa opadów bazując na rozkładach prawdopodobieństwa najlepiej opisujących dane pomiarowe. Jeżeli w przypadku stacji Balice będą pozyskane gotowe opady prawdopodobne taka analiza nie będzie przeprowadzona dla tej stacji. W celu utworzenia hipotetycznych hietogramów o różnym czasie trwania wykorzystana będzie informacja o rzeczywistym przebiegu opadu na stacjach opadowych, co pozwoli na utworzenie typowych krzywych sumowych opadu. Przykładowe uśrednione hietogramy opadów dla różnych czasów trwania ze stacji UJ Ogród Botaniczny podane są w pracy Wałęgi [2008].

Na potrzeby określenia zagrożenia powodziowego w korytach otwartych, w przekrojach wodowskazowych zostaną określone wartości przepływów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia z wykorzystaniem metody alternatywy zdarzeń zalecanej do powszechnego wykorzystania w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w przypadku długich ciągów pomiarowych [Guidelines]. Jeżeli zostaną pozyskane gotowe dane $Q_{\max\%}$ analiza ta nie będzie prowadzona. Ponadto, w przekrojach wodowskazowych zostaną utworzone tzw. hydrogramy hipotetyczne o kulminacjach odpowiadających przepływowi $Q_{\max\%}$. Do opisu matematycznego fali wykorzystany będzie rozkład gamma [Ponce 1989]. W celu ustalenia wartości parametrów rozkładu zostaną wykorzystane istniejące hydrogramy. Wartości przepływów maksymalnych pomiędzy przekrojami wodowskazowymi zostaną określone za pomocą zlewni różnicowej. W praktyce gospodarowania wodami opadowymi w obszarach zurbanizowanych, a więc projektowaniu sieci kanałów i ich ocenie pracy, tłumieniu odpływu z sieci kanalizacji zbiorczej, projektowaniu zbiorników na sieci konieczne jest dysponowanie hydrogramami odpływu powierzchniowego. Hydrogram odpływu ze zlewni zurbanizowanej jest zależny od czasowo-przestrzennej zmienności opadu, procesów transformacji opadu w odpływ na powierzchni zlewni, oraz transformacji spływu w sieci kanalizacyjnej. Pomocne w rozwiązaniu wspomnianych problemów jest zastosowanie modeli matematycznych umożliwiających obliczenie poszczególnych elementów hydrogramów spływu powierzchniowego i transformację przez sieć kanalizacji. W praktyce bardzo powszechnie stosowanym modelem transformacji opadu w spływ powierzchniowy jest model zlewni w postaci kaskady zbiorników liniowych opracowanych przez Nasha [1957].

W zlewniach niekontrolowanych do wyznaczenia hydrogramów wywołanych zarejestrowanymi wybranymi epizodami opadowymi, wartości $Q_{\max\%}$ oraz fal hipotetycznych wykorzystany zostanie matematyczny model typu opad-odpływ. W tym celu w pierwszym kroku obliczeniowym zostanie określony opad efektywny za pomocą metody SCS Ignar [1988]. W metodzie tej wysokość odpływu bezpośredniego jest funkcją całkowitej wysokości opadu i strat początkowych określanych przez zbiorczy parametr zwany CN (*Curve Number*). Wielkość strat początkowych jest uzależniona od intercepcji szaty roślinnej, retencji powierzchniowej i infiltracji przed rozpoczęciem odpływu powierzchniowego. Wartości parametru CN zawierają się w przedziale od 0 do 100 i są funkcją: typu gleb w zlewni, pokrycia terenu i uwilgotnienia gleby przed wystąpieniem danego opadu. Wzór na ustalenie skumulowanego opadu efektywnego PE przyjmuje postać:

$$PE = \frac{(P - 0.25)^2}{P + 0.85} \quad (1)$$

Występująca we wzorze wartość maksymalnej retencji S jest dana zależnością:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

Wykorzystany we wzorze (2) parametr CN odczytany będzie ze stosowanych tabeli podanych m.in. w pracy Banasika [2009]. Wartość parametru CN zostanie określona przy założeniu przeciętnych warunków wilgotnościowych w zlewni.

Chwilowy hydrogram jednostkowy jest dwuparametryczną funkcją gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma. Funkcja ta opisuje transformacje opadu efektywnego w odpływ w zlewni. Rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego można opisać równaniem:

$$u(t) = \frac{1}{k\Gamma(N)} \cdot \left(\frac{t}{k} \right)^{N-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (3)$$

gdzie:

$u(t)$ – rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego, h^{-1} ,

t – czas od początku układu współrzędnych, h ,

k – parametr retencji zbiornika, h ,

N – liczba zbiorników kaskady,

$\Gamma(N)$ – funkcja gamma, której wartość dla całkowitej liczby zbiorników wynosi:

$\Gamma(N) = (N-1)!$

W przypadku zlewni zurbanizowanych o powierzchni do 50 km^2 przy braku pomiarów hydrometrycznych parametry modelu Nasha można wyznaczyć z zależności:

$$LAG = 1,28 \cdot A^{0,46} \cdot (I+U)^{-1,66} \cdot H^{0,27} \cdot D^{0,37} \quad (4)$$

$$k = 0,56 \cdot A^{0,39} \cdot (I+U)^{-0,62} \cdot H^{0,11} \cdot D^{0,22} \quad (5)$$

$$N = \frac{LAG}{k} \quad (6)$$

gdzie:

LAG – czas opóźnienia, h ,

k – parametr retencji zbiornika, h ,

A – powierzchnia zlewni, km^2 ,

U – udział powierzchni nieprzepuszczalnych w zlewni,

H – wysokość opadu efektywnego, mm ,

D – czas trwania opadu efektywnego, h ,

N – liczba zbiorników w kaskadzie.

Rzędne hydrogramu wywołanego opadem efektywnym o wysokości 1 mm i czasie trwania Δt w zlewni o powierzchni A ustalone będą się na podstawie rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego, powierzchni zlewni i współczynnika przeliczeniowego:

$$h_i = \frac{A}{3,6} \cdot \bar{u} = \frac{A}{3,6\Delta t} \cdot \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad (7)$$

dla $t = \Delta t \cdot i$; $i = 1, 2, \dots, m$.

gdzie:

h_i – rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$,

A – powierzchnia zlewni, km^2 ,

m – liczba rzędnych hydrogramu jednostkowego,

\bar{u} – rzędne bezwymiarowego chwilowego hydrogramu jednostkowego, h ,

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \cdot \int_{t-\Delta t}^t u(\tau) d\tau \quad \text{dla } t = \Delta t \cdot i; i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

w przypadku, gdy $t_p > 3 \cdot \Delta t$ otrzymamy:

$$\bar{u} = 0,5 \cdot [u(t) + u(t - \Delta t)] \quad \text{dla } t = \Delta t \cdot i; i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Δt – krok czasowy, h.

Długość kroku czasowego zostanie przyjęta wg zależności:

$$\Delta t \leq \frac{LAG}{5} \quad (10)$$

Literatura:

1. Banasik K. 2009. Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych. Wyd. AGGW, Warszawa,
2. Ignar S. 1988. Metoda SCS i jej zastosowanie do wyznaczania opadu efektywnego. Przegląd Geofizyczny, z. 4, 451-455,
3. Nash J. E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. IHAS 59, 202-213,
4. Ponce, V. M., 1989. Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
5. Wałęga A. 2008. Charakterystyka maksymalnych rocznych opadów w aspekcie projektowania kanalizacji opadowej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9, 2-4

2 Część diagnostyczna.

2.1 Inwentaryzacja istniejącego systemu odprowadzania wód opadowych i roztopowych.

2.1.1 Urządzenia kanalizacji.

System kanalizacyjny miasta Krakowa składa się z systemu ogólnospławnego oraz rozdzielczego.

System kanalizacji ogólnospławnej obejmuje głównie Śródmieście i część Krowodrzy ograniczone od wschodu i północy rz. Białuchą, a od zachodu ul. Piastowską i ul. Królowej Jadwigi, część Podgórza obejmujące os. Kurdwanów, os. Łagiewniki, os. Borek, os. Ruczaj, os. Dębники, Rynek Podgórski oraz rejon os. Lipska a także w dużej części Nową Hutę. Na pozostałych obszarach miasta Krakowa obowiązuje rozdzielczy system kanalizacji.

Sieć kanalizacji ogólnospławnej na terenie miasta Krakowa jest własnością i w eksploatacji Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie (MPWiK S.A.), natomiast sieć kanalizacji opadowej jest w eksploatacji Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie (ZIKiT).

Przedmiotem działania ZIKiT-u jest m.in. utrzymywanie i rozwój otwartego systemu odwodnienia miasta oraz ochrona przeciwpowodziowa.

Sieć kanalizacji ogólnospławnej na terenie miasta pochodzi głównie z początku i połowy XX wieku. Głównymi kolektorami w systemie kanalizacji ogólnospławnej miasta Krakowa odprowadzające również wody opadowe są kolektory:

- **Kolektor Płaszowski** betonowy o przekroju hełmowym $\phi 450/400$, o długości około 3500 mb odprowadzający ścieki sanitarne i opadowe do oczyszczalni w Płaszowie. Kolektor został wykonany w latach 1951-1954 i odprowadzał ścieki sanitarne i opadowe bezpośrednio do rz. Drwiny a od 1976 roku do oczyszczalni w Płaszowie, najpierw

mechanicznej a od 2007 nowej mechanicznej i biologicznej o średnim przepływie ścieków 165 000 m³/dobę i przepustowości części biologicznej 328 000 m³/dobę a części mechanicznej 656 000 m³/dobę.

- **Kolektor lewobrzeżny rz. Wisły** wraz z syfonem pod rz. Wisłą odprowadza ścieki opadowe i sanitarne z północnej części miasta, tj. Śródmieścia i Krowodrzy poprzez kolektor płaszowski na oczyszczalnię Płaszów. Do realizacji kolektora przystąpiono w roku 1907, najpierw z bezpośrednim wylotem do rz. Wisły w rejonie dzisiejszego stopnia Dąbie, a następnie po wybudowaniu w 1953 r. syfonu pod rz. Wisłą do kolektora płaszowskiego. Kolektor wykonany jest jako betonowy, o przekroju jajowym, o wymiarach $\varnothing 70/105$, $110/155$, $90/135$, $100/150$, $120/180$, $340/300$, $320/300$, $445/340$, $475/345$, o łącznej długości ok. 7000 mb.

Na kolektorze tym wykonano siedem przelewów burzowych.

- **Kolektor prawobrzeżny rz. Wisły** odprowadza ścieki opadowe i sanitarne z południowej części miasta, tj. Kurdwanowa, Łagiewnik, Ruczaju, Kobierzyna, Rynku Podgórskiego poprzez kolektor płaszowski na oczyszczalnię Płaszów. Do realizacji kolektora przystąpiono w roku 1907 równocześnie z budową kolektora lewobrzeżnego rz. Wisły, najpierw z bezpośrednim wylotem do rz. Wisły w rejonie dzisiejszego stopnia Dąbie a następnie do kolektora płaszowskiego. Kolektor wykonany jest jako betonowy, o przekroju jajowym i okrągłym, o wymiarach $\varnothing 60$, $60/90$, $70/105$, $80/120$, $90/135$, $100/150$, $120/180$, $225/160$, $190/225$, $300/235$, o łącznej długości ok. 7800 mb.

Na kolektorze tym wykonano dziewięć przelewów burzowych.

- **Kolektor prawobrzeżny rz. Białuchy** odprowadza ścieki opadowe i sanitarne do kolektora lewobrzeżnego rz. Wisły z terenów położonych na prawo od rz. Białuchy, cz. Azorów, Brogów, Żabińca. Łączna długość kolektora prawobrzeżnego rz. Białuchy wynosi 7700 mb a wykonany jest z rur o przekroju jajowym $\varnothing 100/150$, $120/180$, $80/120$, $90/135$, $100/150$, $90/135$.

- **Kolektor lewobrzeżny i prawobrzeżny rz. Wilgi** o długości całkowitej 6200 mb, o przekrojach jajowych $\varnothing 140/210$, $120/180$, $110/165$, $70/105$, $80/120$, $90/135$, $100/150$, $90/135$, $110/65$, $100/165$.

- **Kolektor prawobrzeżny rz. Rudawy** o długości 1500 mb i przekrojach $\varnothing 50$, $80/120$, $90/135$, $100/140$.

- **Kolektor prawobrzeżny rz. Dłubni „F”** o długości 5 900 mb i przekrojach $\varnothing 80/120$, $100/150$, $140/210$.

- **Kolektor Nowohucki** od ul. Klasztornej do Suchego Jaru i oczyszczalni ścieków Kujawy, o przekroju prostokątnym $180/200$ i długości 5800 mb. Wydajność oczyszczalni Kujawy wynosi 80 000 m³/dobę, a średni przepływ: 52 000 m³/dobę, w porze deszczowej 250 000 m³/dobę

- **Kolektor Dolnej Terasy Wisły (DTW)**. Pod koniec 2007r. podjęto zadanie polegające na budowie kolektora Dolnej Terasy Wisły, a prace z tym związane trwały do maja 2010r. W ramach tych działań powstała pompownia ścieków o przepustowości 0,9 m³/s, kolektor grawitacyjny o długości 6,2 km i średnicy DN1600 wykonany w technologii mikrotunelowania oraz dwa rurociągi tłoczne o długości 0,7 km łącznie. Przedsięwzięcie Kolektor Dolnej Terasy Wisły stał się kolektorem międzysystemowym, a jego rolą jest połączenie dwóch systemów ściekowych: Nowej Huty oraz pozostałej części Krakowa. System ściekowy Nowej Huty jest obecnie drożny i w pełni sprawny. Dzięki wybudowaniu

oczyszczalni ścieków Kujawy są tu jeszcze spore rezerwy oczyszczania ścieków. Natomiast sieć kanalizacyjna pozostałej części Krakowa jest przeciążona hydraulicznie. Zbudowany kolektor DTW doprowadził do połączenia obu systemów kanalizacyjnych Krakowa i zapewni jego prawidłowe funkcjonowanie. Pozwoli to także na optymalizację pracy centralnych oczyszczalni ścieków Kujawy i Płaszów szczególnie w porze intensywnych opadów.

Przelewy burzowe zlokalizowane na lewo- i prawobrzeżnym kolektorze rz. Wisły posiadają zamknięcia dwustopniowe, klapę zwrotną zlokalizowaną na wylocie do rzeki oraz zasuwę uruchamianą ręcznie. Przy stanie Wisły na wodowskazie Bielany wynoszącym 450 cm następuje zamknięcie klap zwrotnych i zasuw, co zabezpiecza przed przedostaniem się wielkiej wody kolektorami i zalaniem miasta. Przy zamkniętych klapach zwrotnych cała ilość ścieków kierowana jest na oczyszczalnie.

Przelewy burzowe mające wyloty do rz. Wisły pochodzą z początku ubiegłego stulecia. Ich stan techniczny jest dobry, choć w niektórych przypadkach widać efekty postępującej korozji.



Fot. 1 Klapa zwrotna na wylocie do rz. Wisły z przelewu burzowego w rejonie ul. Powiśle (Michał Szumiec).

System kanalizacji ogólnospławnej znajdujący się w Krakowie podzielony jest rzeką Wisłą na dwie części: System Lewo- i Prawobrzeżny. Wzdłuż Wisły po obu brzegach prowadzone są kolektory główne, które połączone są w rejonie stopnia wodnego „Dąbie” syfonem położonym pod dnem rzeki. Ścieki z dolnej głowicy syfonu spływają kolektorem głównym (Płaszowskim) do oczyszczalni ścieków w Pławach.

Kolektory lewobrzeżne:

Prawie cały system kanalizacji lewobrzeżnej to system ogólnospławny. Lewobrzeżny kolektor Wisły biegnie od głowicy syfonu na Dąbiu znajdującej się w ulicy Miedzianej do ulicy Ks. Józefa na wysokości wlotu ul. Malczewskiego. Posiada 7 przelewów burzowych.

Kolektor prawobrzeżny Rudawy rozpoczyna swój bieg w kolektorze lewobrzeżnym Wisły przed górną głowicą syfonu pod Rudawą i prowadzony jest wzdłuż koryta tej rzeki na wysokości ulicy Korzeniowskiego (jako kolektor ogólnospławny, a dalej do osiedla Olszanica wyłącznie jako kolektor sanitarny). Wyposażony jest w 2 przelewy burzowe.

Prawobrzeżny kolektor Białuchy rozpoczyna się w głowicy górnej syfonu pod Wisłą przy ulicy Miedzianej i biegnie wzdłuż ulicy Opolskiej. Swój bieg kończy po przekroczeniu ulicy Łokietka. Kolektor wyposażony jest w 6 przelewów burzowych.

Kolektory prawobrzeżne:

System kolektorów prawobrzeżnych jest zdecydowanie bardziej zróżnicowany aniżeli system lewobrzeżny. Kanalizacja ogólnospławna występuje w rejonie Starego Krakowa, osiedla Ruczaj, Borku Fałęckiego i Kurdwanowa. Natomiast dla dalszych osiedli peryferyjnych jest to już system rozdzielczy. Prawobrzeżny kolektor Wisły biegnie od dolnej głowicy syfonu na Dąbiu do ulicy Tynieckiej do wjazdu do jednostki wojskowej w Pychowicach. Kolektor wyposażony jest w 9 przelewów burzowych.

Kolektor lewobrzeżny Wilgi ma swój początek w prawobrzeżnym kolektorze Wisły przed głowicą syfonu pod Wilgą i prowadzony jest wzdłuż rzeki na południe. Kolektor kończy się w Borku Fałęckim na wysokości ulicy Zbrojarzy. Wyposażony jest w 3 przelewy burzowe.

Kolektor prawobrzeżny Wilgi rozpoczyna swój bieg w kolektorze prawobrzeżnym Wisły poniżej dolnej głowicy syfonu z przepompownią i prowadzony jest wzdłuż koryta Wilgi w kierunku południowym mając zakończenie na wysokości ulicy Kąpielowej w Swoszowicach. Wyposażony jest w 7 przelewów burzowych.

2.1.2 Bariera wodna.

Bariera wodna to układ studni odwadniających oraz urządzeń i instalacji służących do ujęcia wody i odprowadzenia jej z obszaru miasta Krakowa znajdującego się pod wpływem szkodliwego piętrzenia Wisły Stopniem Wodnym Dąbie. Odbiornikiem wód z bariery wodnej są: kanalizacja ogólnospławna, Wisła, Rudawa, Wilga oraz port w Płaszowie.

Ponieważ Wisła została spiętrzona stopniem wodnym Dąbie w listopadzie 1965 spowodowało to podniesienie zwierciadła wody. Wykonano wówczas system odwadniający, składający się ze studni odwadniających usytuowanych liniowo wzdłuż odcinka Wisły od stopnia Dąbie do ujścia Rudawy. Pierwotnie tereny te były podmokłe, a po obniżeniu dna Wisły w skutek postępującej erozji i obniżeniu się zwierciadła wód gruntowych zostały intensywnie zurbanizowane. Zadaniem systemu studni odwadniających jest utrzymywanie zwierciadła wód gruntowych na poziomie bezpiecznym, nieistwarzającym zagrożenia dla budynków.

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie (RZGW) ma obowiązek odwadniać w/w tereny będące pod wpływem piętrzonej wody do rzędnych sprzed

piętrzenia Wisły stopniem wodnym. Wody gruntowe gromadzące się w studniach odpompowywane są do kanalizacji ogólnospławnej oraz do wód powierzchniowych Wisły, Wilgi i Rudawy. RZGW zobligowane jest do niwelowania ujemnego wpływu piętrzenia. Obecne warunki pracy bariery zostały opracowane za pomocą metod modelu matematycznego procesów filtracji. Na podstawie budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych został sporządzony model obszaru. Model hydrogeologiczny pozwolił odtworzyć poziom zwierciadła wody na obszarze Krakowa sprzed 1965 r.

Zakres odwadnianego terenu określa niekorzystny wpływ poziomu zwierciadła wód gruntowych ustalonego na wysokości 199,00 m n.p.m. Jest to obszar miejski, gęsto zabudowany o powierzchni około 7km². Zastosowanie bariery odwadniającej powinno zapewnić utrzymanie zwierciadła wody gruntowej na poziomie sprzed spiętrzenia stopniem Dąbie, a na Zakrzówku dla okresu sprzed pompowania wody z kamieniołomu. W celu utrzymania zwierciadła wody na założonym poziomie zaprojektowano 37 studni odwadniających, które rozmieszczone są po obu stronach Wisły (16 studni na lewym brzegu w pasie ciągnącym od Błoń do Stopnia Wodnego Dąbie oraz 21 studni od zachodniej części Dębnik do Stopnia Wodnego Dąbie). Studnie odwadniające zlokalizowane są na terenie Zwirzyńca, Stradomia, Kazimierza i Grzegórzek na lewym brzegu Wisły oraz Podgórze i Płaszowa na prawym brzegu. Studnie posadowione są od 150 do 1300m od rzeki. W większości budowli są to studnie wiercone z wyjątkiem jednej, która jest studnią kopaną. Wartości średnic zawarte są w przedziale od 18” do 20”. Studnie posiadają filtry o średnicy od 280 do 325mm. Pomiędzy filtrem, a ściankami otworu zastosowano obsypkę żwirową. Przy niektórych obiektach zastosowano piezometry przy studzienkach o średnicy 38mm. Studnia składa się ze studzienki rewizyjnej i filtra studziennego. Studzienka rewizyjna to kręgi betonowe o średnicy 1500mm z betonową pokrywą i włazem typu lekkiego. Zagłębienie studzienek waha się około 2m poniżej poziomu terenu. W studziennicy zainstalowana jest instalacja wodociągowa oraz skrzynka zaciskowa służąca do podłączenia przewodu zasilającego, przewodu ochronnego i do oświetlenia. Do studzienki wejście możliwe jest poprzez zamontowaną drabinę stalową. Filtry studziennic zamontowane w studniach to filtry stalowe perforowane, mostkowe typu łódzkiego, filtry z rur PVC z wkładkami plastikowymi szczelinowanymi oraz sporadycznie filtry prętowe i azbestowo-cementowe. Zastosowane średnice to 300 i 325mm (filtry PVC 280mm). Długość studni waha się od 12 do 18m, przeciętnie jest to około 14m.

Studnia kopana ma głębokość 9m, około 10 centymetrową warstwę filtracyjną ze żwiru granulowanego w dnie studni. Ilość wody w studni mierzona jest za pomocą wodomierzy młynkowych. Napływająca woda odprowadzana jest za pomocą pomp głębinowych. Są to agregaty składające się z pompy (zamontowanej u góry, sita wlotowego w środku i silnika u dołu). Całość zawieszona jest za pomocą ostatniego członu pompy do końca przewodu tłocznego. Rurociągi po stronie tłocznej mają średnicę 100, 110, 150, 200, 300mm i wykonane są z PVC, PE, kamionki i ze stali. Na przewodach zainstalowane są zasuwki płaskie. W części poziomej rurociągu zamontowane są wodomierze. Woda pompowana jest do kanalizacji miejskiej oraz do wód powierzchniowych.

Dopuszczalne wydajności przepompowni dla bariery wodnej określa pozwolenie wodnoprawne. Łączna ilość pompowanej wody z odwodnienia wynosi $Q = 11\,487 \text{ m}^3/\text{dobę}$ w tym:

- do kanalizacji ogólnospławnej,
- $Q = 6\,850 \text{ m}^3/\text{dobę}$ - do wód powierzchniowych:
 - rzeki Wilgi – $2227 \text{ m}^3/\text{dobę}$,
 - rzeki Wisły – $950 \text{ m}^3/\text{dobę}$,
 - rzeki Rudawy – $260 \text{ m}^3/\text{dobę}$,
 - do portu w Płaszowie $1200 \text{ m}^3/\text{dobę}$.

2.1.3 Obiekty melioracyjne.

W wyniku przeprowadzonej inwentaryzacji systemu odprowadzenia wód opadowych i roztopowych dla obszaru miasta Krakowa zidentyfikowano łącznie 20 cieków wodnych mogących mieć bezpośredni wpływ na kształtowanie się warunków odprowadzenia wód z jego obszaru. Głównym i jedynym końcowym odbiornikiem dla wszystkich wód opadowych i roztopowych na obszarze miasta Krakowa jest rzeka Wisła. Wisła jest rzeką tranzytową, na terenie miasta Krakowa jej długość wynosi około 40 km. Wody rzeki Wisły wykorzystywane są do celów komunalnych, przemysłowych, energetyki oraz żeglugi, a także do celów rekreacyjno - sportowych. Wisła przepływa przez Kraków z zachodu na wschód dzieląc miasto na dwie części: północną, leżącą na lewym brzegu, o powierzchni $192,4 \text{ km}^2$ i południową, leżącą na prawym brzegu, o powierzchni $129,8 \text{ km}^2$. Przez teren Krakowa przebiega droga wodna o znaczeniu regionalnym zakwalifikowana do klasy III w skład, której wchodzi trzy stopnie wodne: Kościuszko, Dąbie, Przewóz.

Część północna miasta zasilana jest dopływami odwadniającymi Garb Tenczyński, Wyżynę Olkuską, Wyżynę Miechowską i Płaskowyż Proszowicki (10 dopływów), część południowa natomiast, dopływami drenującymi Pogórze Wielickie i Bocheńskie (6 dopływów). Oprócz wymienionych 16 dopływów II rzędu, do cieków istotnych z punktu widzenia kształtowania warunków odpływu na terenie miasta Krakowa włączono na tym etapie prac również rzekę Drwinę (Drwina Długa), stanowiącą lewobrzeżny dopływ Serafy i przepływającą w bezpośrednim sąsiedztwie oczyszczalni ścieków w Płaszowie.

Spośród wytypowanych cieków, rzeka Wisła i Kanał Portowy Stopnia Przewóz znajdują się w administracji Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie, Potok Łęgówka w administracji Krakowskiego Związku Spółek Wodnych, Kanał Suchy Jar w administracji Arcelor Mittal Poland, zaś administratorem pozostałych 16 cieków jest Małopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Krakowie.

Dla rzeki Wisły na odcinku od zachodniej do wschodniej granicy miasta Krakowa oraz dla wszystkich wytypowanych jej dopływów na tym odcinku wyznaczono zlewnie elementarne. Zestawienie długości cieków, powierzchni ich zlewni oraz administratorów przedstawia zamieszczona niżej tabela. Z uwagi na fakt, iż z punktu widzenia hydrografii i kształtowania warunków spływu wód opadowych i roztopowych istotna jest całkowita powierzchnia zlewni oraz całkowita długość cieku, nie zaś wartość ograniczona jedynie do powierzchni wyznaczonej granicami administracyjnymi miasta Krakowa, w tabeli zestawiono długości i powierzchnie całkowite. Wyjątek stanowi wyłącznie rzeka Wisła, której długość i powierzchnię (jako odbiornika wszystkich wód powierzchniowych

z obszaru wyspecyfikowanych zlewni elementarnych) podano dla odcinka znajdującego się w granicach miasta Krakowa.

Tabela 1 Zestawienie długości i powierzchni całkowitych głównych cieków w układzie zlewniowym.

Lp.	Ciek / Zlewnia	Rząd	Długość cieku głównego [km]	Powierzchnia zlewni [km ²]	Administrator
1	Wisła	I	39.9	1333.0(*)	RZGW Kraków
2	Sidzinka	II	8.5	11.9	MZMiUW
3	Sanka	II	19.3	96.2	MZMiUW
4	Pot. Kostrzecki	II	6.0	10.3	MZMiUW
5	Pot. Pychowicki	II	5.2	5.4	MZMiUW
6	Rudawa	II	36.2	319.4	MZMiUW
7	Wilga	II	26.5	100.1	MZMiUW
8	Prądnik/Białucha	II	36.3	193.1(**)	MZMiUW
9	Sudół od Modlnicy	III	8.8	18.0	MZMiUW
10	Sudół Dominikański (Rozrywka)	III	9.3	16.4	MZMiUW
11	Pot. Łęgówka	II	4.7	9.9	KZSW
12	Dłubnia	II	51.2	284.6(**)	MZMiUW
13	Baranówka	III	10.5	44.3	MZMiUW
14	Kanał SW Przewóz	II	1.6	2.8	RZGW Kraków
15	Serafa	II	14.0	72.3(**)	MZMiUW
16	Drwinia	III	5.5	24.6(**)	MZMiUW
17	Drwinka	IV	6.0	13.6	MZMiUW
18	Kanał Suchy Jar	II	4.7	7.7	Arcelor Mittal Poland
19	Pot. Kościelnicki	II	14.3	62.5(**)	MZMiUW
20	Struga Rusiecka (Łucjanówka)	III	8.0	15.2	MZMiUW

(*) – wraz ze zlewniami elementarnymi

(**) – wraz ze zlewniami dopływów ujętych w tabeli

Spośród ww. cieków wodnych dopływami rzeki Wisły o największych powierzchniach zlewni są: Rudawa, Dłubnia i Prądnik/Białucha (powierzchnie w granicach około 200-300 km²), najmniejszą zlewnią jest natomiast zlewnia Kanału Portowego Stopnia Przewóz (powierzchnia niespełna 3 km²).

Podobnie, jak ma to miejsce w przypadku powierzchni zlewni, tak i w przypadku długości poszczególnych cieków najwyższe pozycje zajmują te same trzy rzeki, przy czym

zdecydowanie najdłuższą z nich jest Dłubnia (ponad 50 km długości). Najkrótszym dopływem Wisły na jej krakowskim odcinku jest Kanał Portowy Stopnia Przewóz (posiadający niewiele ponad 1,5 km długości). Odcinek rzeki Wisły zawierający się w granicach administracyjnych miasta Krakowa posiada długość około 40 km.

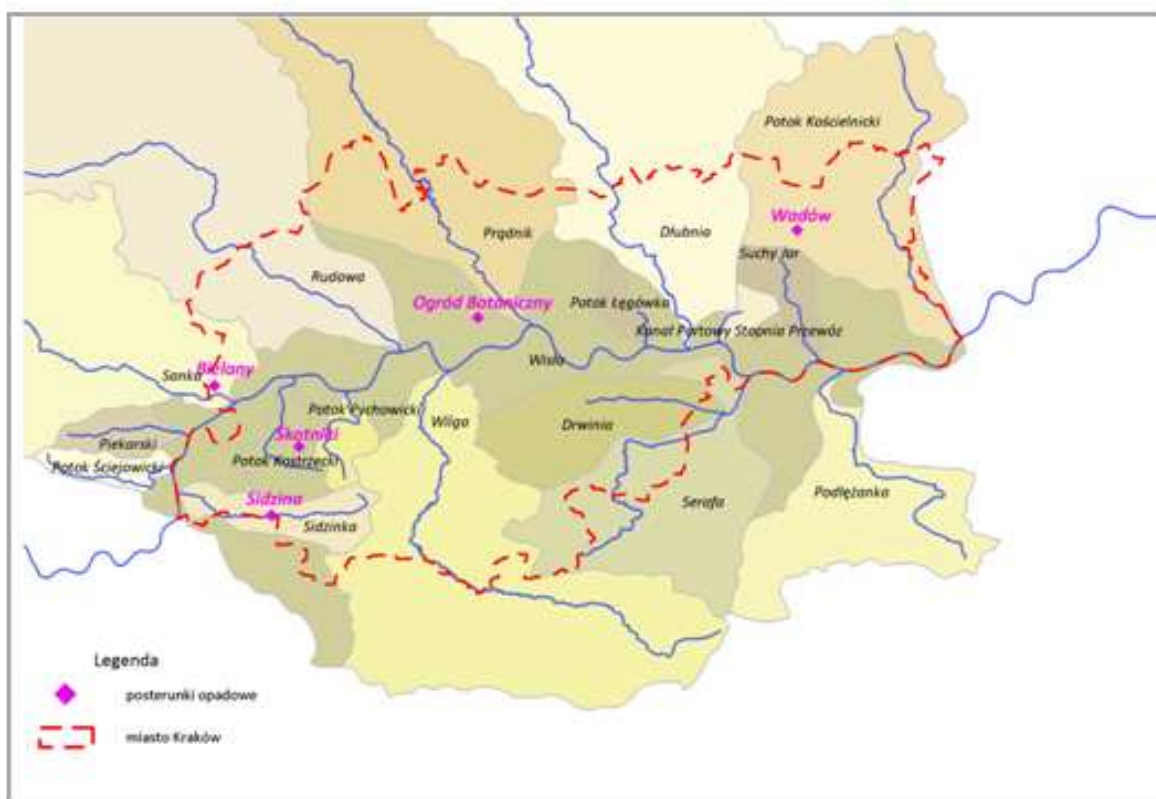
2.2 Analiza i ocena istniejącego systemu odprowadzania wód opadowych i roztopowych.

2.2.1 Analiza i ocena lokalizacji i wartości opadów nawałnych, miarodajnych i kontrolnych oraz warunków odprowadzania wód opadowych w 2010 roku i w latach wcześniejszych.

Kraków jest miastem, które w swej historii wielokrotnie nawiedzane było przez powódzie. Ich bezpośrednią przyczyną były nawałne oraz ulewne opady deszczu w zlewniach zasilających Wisłę powyżej miasta. Powódzie te spowodowały liczne straty materialne oraz ludzkie. Od wielu lat trwa dyskusja nad poprawieniem bezpieczeństwa powodziowego miasta, polegającego na podwyższaniu wałów przeciwpowodziowych, budowie kanału ulgi, czy zwiększeniu retencji zbiornikowej (budowa zbiornika Świnna Poręba na Skawie). Część z tych inwestycji została zrealizowana lub jest na ukończeniu. Zabiegi te pozwalają na zwiększenie ochrony Krakowa przed tzw. powodziami zewnętrznymi, czyli poprzez wody dopływające na teren miasta z terenów wyżej położonych. Istotnym zagadnieniem, lecz również niezmiernie ważnym jest tzw. powódź wewnętrzna, wywołana gwałtownym spływem wód w obrębie miasta z terenów nadmiernie uszczelnionych [1]. Powódzie te mają charakter lokalny i są wywołane najczęściej krótkotrwałymi intensywnymi opadami deszczu. Powodują one przeciążenie sieci kanalizacji ogólnospławnej i opadowej, a w konsekwencji wzrost stanów i przepływów wody w ciekach powierzchniowych będących odbiornikami odpływów z sieci kanalizacyjnej. Stąd bardzo ważnym zagadnieniem jest ocena istniejącej infrastruktury technicznej pod kątem przejścia zwiększonej ilości wód wywołanych opadami o różnym przebiegu i intensywności. Podstawowym zagadnieniem przy obliczaniu objętości spływów opadowych jest ustalenie deszczu miarodajnego. Praktycznie, prawidłowe przyjęcie tej charakterystyki wymaga określenia natężeń deszczów maksymalnych dla zadanej lokalizacji oraz poznania częstości występowania i czasów ich trwania. Jest to możliwe przy dysponowaniu wieloletnim ciągiem obserwacji pluwiograficznych oraz gruntownego opracowania statystycznego zebranego materiału [5].

2.2.1.1 Materiał i metody.

Materiałem źródłowym do analizy były dane pluwiograficzne ze stacji UJ Ogród Botaniczny w Krakowie, obejmujące wielolecie 1906-1990, pochodzące z opracowania Niedźwiedzia [6] oraz wybrane największe epizody opadowe z posterunków opadowych w Bielanach, Sidzinie, Skotnikach za rok 2010. Lokalizację powyższych posterunków zamieszczono na 0.



Rysunek 1 Lokalizacja posterunków opadowych.

Dane te pochodziły z deszczomierzy elektronicznych i obejmowały wysokości opadu w 1 godz. przedziałach czasu. Dane ze stacji UJ Ogród Botaniczny obejmowały sumy opadów o czasach trwania 5, 10, 15, 30, 60 i 120 min. Do dalszej analizy wykorzystano natężenia cząstkowe deszczu dla przyjętych czasów trwania. Do oceny trendu czasowego natężeń deszczu o czasie trwania 120 min. zastosowano zalecany w literaturze test Kendalla [7]. Współczynnik τ Kendalla daje ocenę prawdopodobieństwa uporządkowania zbioru danych. Informuje on nie tylko o sile związku, lecz również o kierunku zależności. W przeprowadzonej analizie testowano hipotezę zerową zakładającą, że występuje statystycznie istotny trend zmiennej – natężenie deszczu maksymalnego o czasie trwania 120 min, wobec hipotezy alternatywnej mówiącej o braku istotnego trendu. Hipotezę zerową testowano przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Nieustanna zmienność opadów powoduje, że w każdym roku mogą pojawić się większe lub mniejsze anomalie opadowe [9]. W przypadku analizy średnich rocznych opadów atmosferycznych anomalie opadowe wykrywa się na podstawie wielokrotności odchylenia standardowego od średniej z wielolecia. W pracy wyznaczono wartości anomalne, bazując na opadach maksymalnych. Ze względu na wyraźną asymetrię rozkładu natężeń deszczu maksymalnych, do określenia ekstremalnych wartości opadu wykorzystano pozycyjne miary rozkładu – kwantyle – oraz wielokrotności rozstępu ćwiartkowego. Za typowe przyjęto wartości z przedziału między dolnym a górnym kwantylem, za anomalne natomiast – wartości mniejsze od kwantyla pierwszego i większe od kwantyla trzeciego o mniej niż półtora rozstępu ćwiartkowego. Wartości położone w odległości od 1,5 do 3 wielokrotności rozstępu ćwiartkowego, określono jako ekstremalne [3]. Pozostałe wartości potraktowano jako elementy odstające.

W modelach matematycznych odpływu uwzględniona jest nie tylko znajomość średniego natężenia opadu, ale jego rozkład czasowy. Wymagania takie wywołały potrzebę

opracowania przebiegu zjawiska opadu w czasie w postaci pluwiogramów. Na podstawie zebranych materiałów ze stacji UJ Ogród Botaniczny w Krakowie, opracowano pluwiogramy wzorcowe dla opadów o czasie trwania: 15, 30, 60 i 120 min. Obliczenia wykonano dla $\Delta t = 5$ min dla opadów o czasie trwania 15 min. i 30 min. oraz dla $\Delta t = 10$ min, w przypadku opadów 60- i 120- minutowych. Określono także bezwymiarowe krzywe sumowe opadów dla epizodów stanowiących elementy odstające i ekstremalne spośród wszystkich opadów maksymalnych o czasie trwania do 120 min. Dla wybranych epizodów opadowych z pozostałych stacji opadowych także wyznaczono krzywe bezwymiarowe opadów. Te krzywe stanowią podstawę do sporządzania wzorcowych hietogramów opadów w Krakowie, które następnie będą wykorzystane w modelach matematycznych spływu powierzchniowego.

Obliczenie miarodajnych natężeń deszczu dla zadanych czasów trwania i określonych prawdopodobieństw wystąpienia przeprowadzono metodą statystyczną wykonując krzywe prawdopodobieństwa opadów opisując je rozkładem ekstremalnym I typu zwanego powszechnie rozkładem Gumbela. Rozkład ten jest zalecany przez Światową Organizację Meteorologiczną WMO do określania miarodajnych opadów deszczu. W tym celu wysokości opadów z zapisów pluwiograficznych ze stacji UJ Ogród Botaniczny ułożono w ciąg rozdzielczy nierosnący. Następnie określono kolejność deszczów według ich malejących natężeń chwilowych dla czasów 15, 30, 60 i 120 min. Tak przygotowane dane posłużyły do wyznaczenia wysokości opadów dla różnych czasów trwania i określonych prawdopodobieństw przewyższenia. Czas trwania deszczów miarodajnych i kontrolnych oraz prawdopodobieństwo przewyższenia są uzależnione od warunków lokalnych, a więc przy ich ustalaniu wykorzystywano informacje o zabudowie oraz spadku zlewni elementarnych. Informacje o opadach oraz charakterystyka zlewni elementarnych (zabudowa, ukształtowanie terenu, sieć hydrograficzna i kanalizacyjna) pozwoliły na wstępne określenie zlewni potencjalnie zagrożonych podtopieniami wywołanych nawałnymi opadami deszczu.

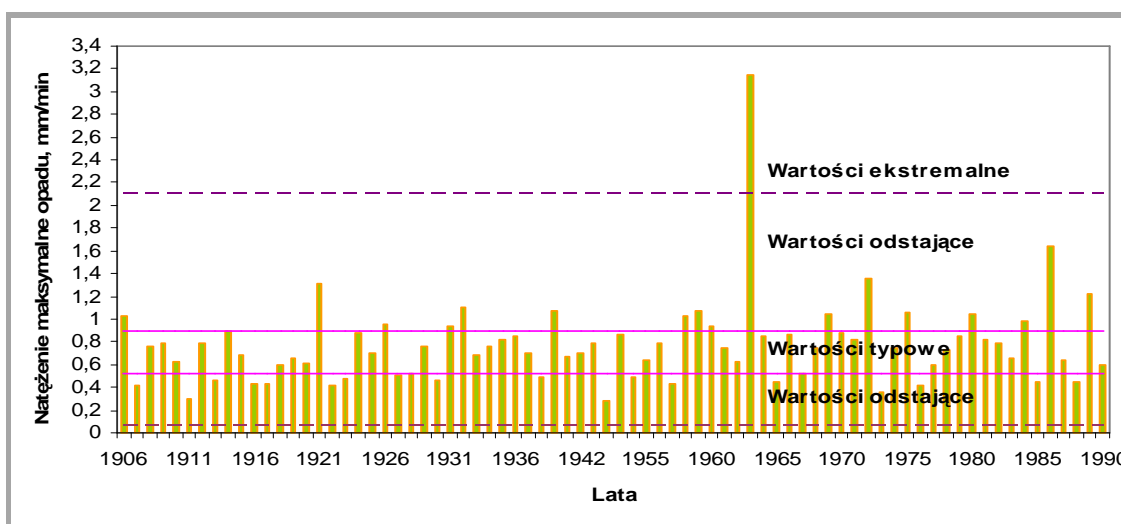
2.2.1.2 Charakterystyka przebiegu opadów w Krakowie.

Przebieg natężeń maksymalnych opadów o czasie 120 min. w analizowanym wieloleciu przedstawia 0. Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, takie jak deszcze nawałne, charakteryzują się losowym występowaniem, stąd są trudne do prognozowania. Potwierdza to wynik testu Kendalla, który przyjmuje wartość $\tau = 0,067$. Wynik ten oznacza brak związku między danymi i co za tym idzie brak istotnego trendu na poziomie $\alpha = 0,05$.

Na 0 zaznaczono również wartości typowe, odstające i ekstremalne maksymalnych natężeń opadu. Na uwagę zasługuje fakt, iż tylko raz w analizowanym okresie wystąpiło ekstremalne natężenie opadu wynoszące $3,15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Wartość ekstremalna natężenia opadu osiągnęła aż 428,6% wartości średniej dla obserwacji typowych. Opad ten wystąpił 9 września 1963r. Jak podaje Niedźwiedź [6], tak wysoki opad jest zjawiskiem nietypowym, zwłaszcza, że miał miejsce w miesiącu, dla którego prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnej wartości opadu w roku jest bardzo małe. Jak podaje Bielański [2], największe powodzie na terenie miasta Krakowa występowały w czerwcu, lipcu i sierpniu i spowodowane były ulewnymi opadami deszczu obejmującymi swym zasięgiem obszar górskiego dorzecza Wisły oraz Soły i Skawy.

Według skali Chomicza opad ten można zakwalifikować do kategorii B₃, czyli deszczy nawalnych III kategorii. Wartości odstające górne i dolne wystąpiły po 17 razy, co stanowiło ogólnie prawie 44,8% analizowanych zdarzeń. Średnia anomalii dodatniej stanowiła 165% średniej wartości typowej, natomiast średnia anomalii ujemnej wynosiła 58,5% wartości typowej. Wartości typowe opadu wystąpiły w 41 przypadkach, co stanowiło 53,9% obserwacji.

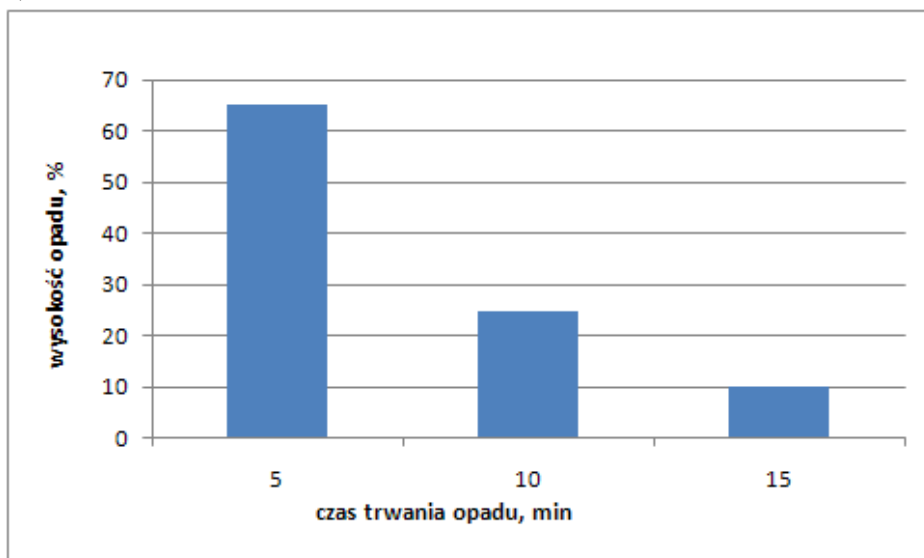
Anomalie średnich natężeń maksymalnych opadów najczęściej występowały pojedynczo w kolejnych latach analizowanego okresu. Pojedynczych lat z anomalią dodatnią było 12, a z anomalią ujemną 13. Sporadycznie lata anomalne układały się w ciągi 2 lub 3 letnie. Średnie natężenie opadów maksymalnych powyżej wartości typowych wystąpiło tylko raz w sekwencji 2-letniej (1931-1932), natomiast poniżej wartości typowych - dwukrotnie (1916-1917 i 1922-1923). Tylko raz miała miejsce anomalia dodatnia w sekwencji 3-letniej (1958-1960). Anomalia ujemna w sekwencji 3-letniej nie wystąpiła w analizowanym okresie.



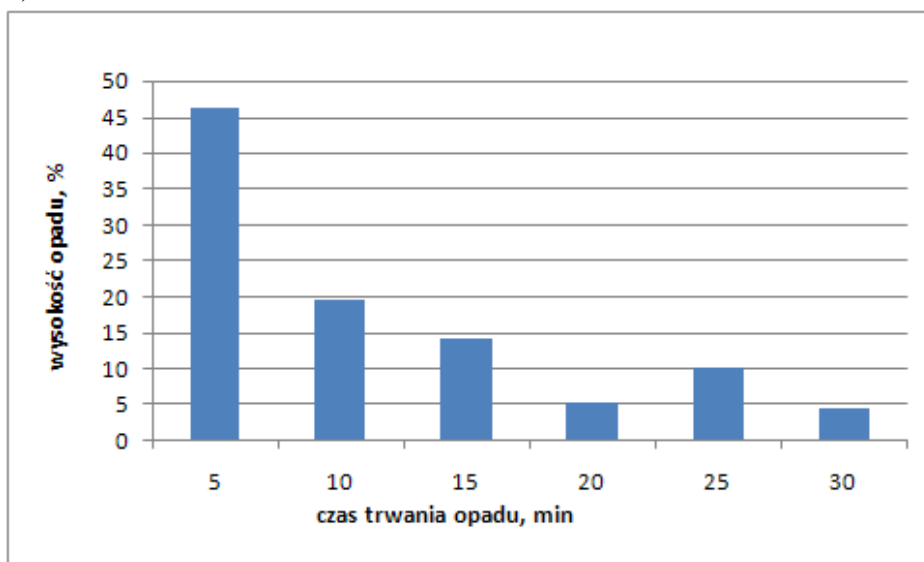
Rysunek 2 Przebieg natężeń maksymalnych deszczy o czasie trwania do 120 min w wieloletniu 1906 – 1990 na stacji UJ Ogród Botaniczny.

Pluviogramy wzorcowe dla opadów o czasie trwania 15, 30, 60 i 120 min. zaprezentowano na 0. Przedstawiono na nim procentowy rozkład wysokości opadu w poszczególnych przedziałach czasowych. Uzyskane wyniki pokazują, że maksymalne wysokości opadów nawalnych występują w pierwszej fazie opadu. W przypadku opadów o czasie trwania do 15 min., w pierwszych 5 min. trwania zjawiska, wysokość opadów stanowiła ponad 65% całkowitej sumy, natomiast przy opadzie 120 min., około 44% całkowitej wysokości przypadło na pierwsze 10 min. Natomiast 46,1% całkowitej wysokości opadu przypadało na pierwsze 5 min. zjawiska dla opadów 30-to minutowych, a w pierwszych 10 min. - 49,8% przy opadach 60-cio minutowych. Przy krótkich opadach, w każdym kolejnym przedziale czasowym równomiernie obniża się wysokość opadów, natomiast w przypadku opadów o dłuższym czasie trwania (30, 60 i 120 min.) obniżenie to następuje skokowo.

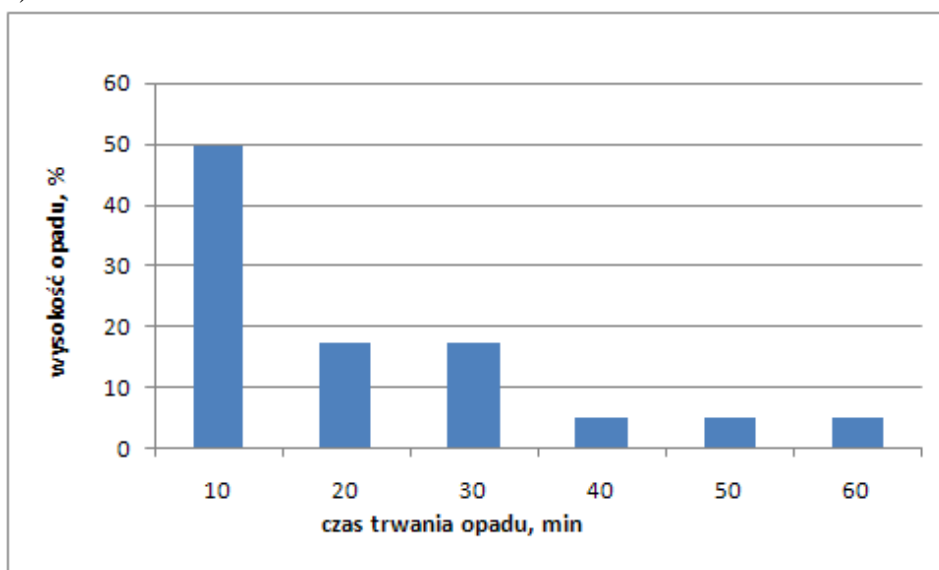
a)



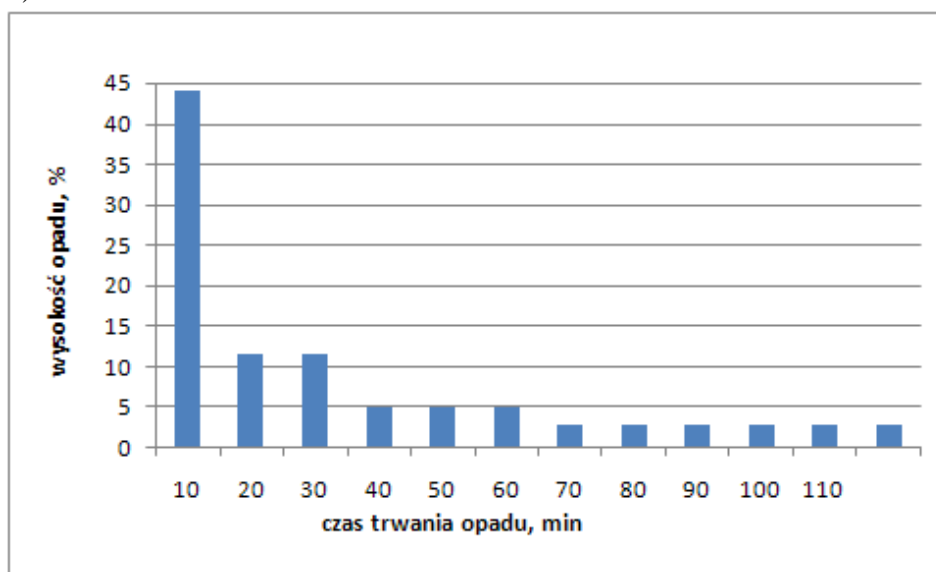
b)



c)



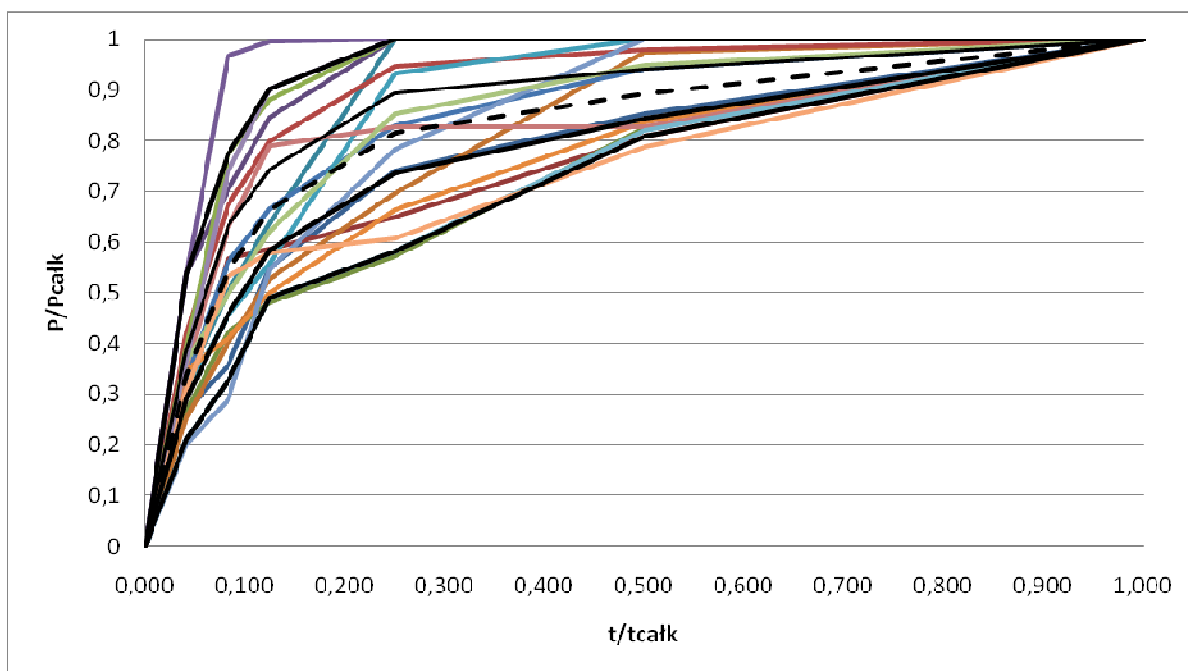
d)



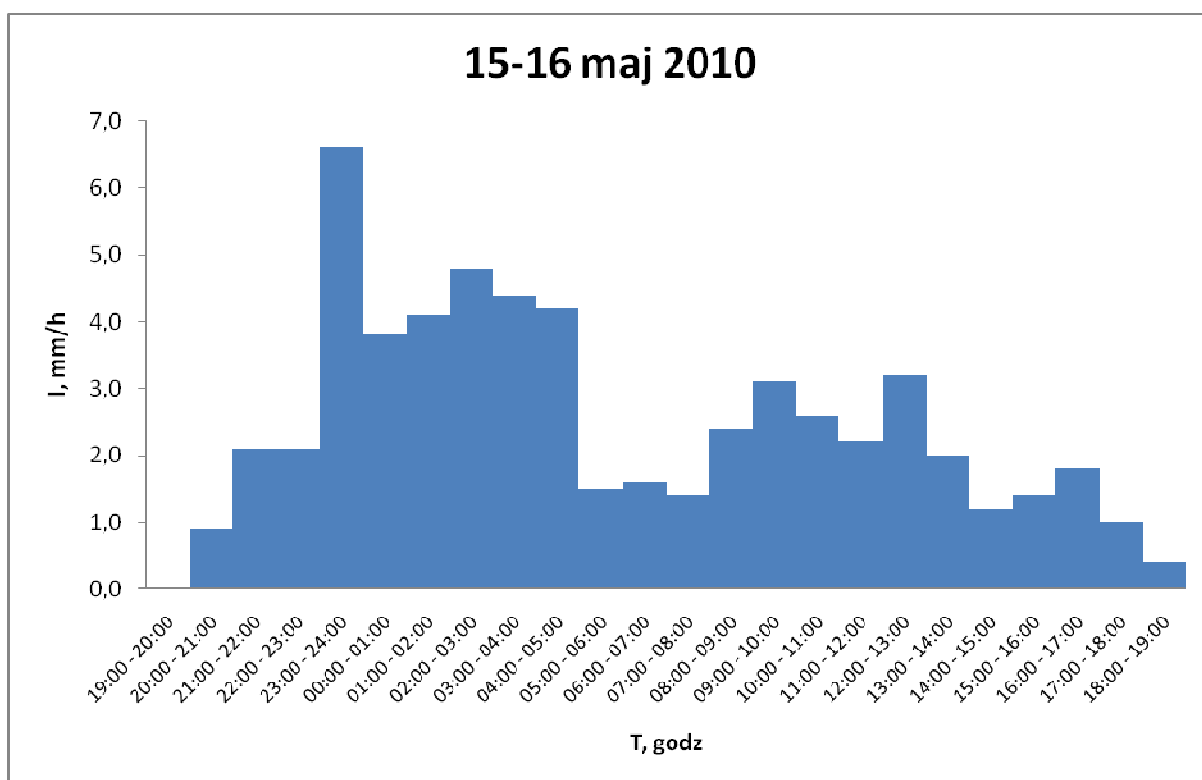
Rysunek 3 Pluviogramy wzorcowe opadów o czasie trwania:

a) 15, min, b) 30 min, c) 60 min i d) 120 min na stacji UJ Ogród Botaniczny.

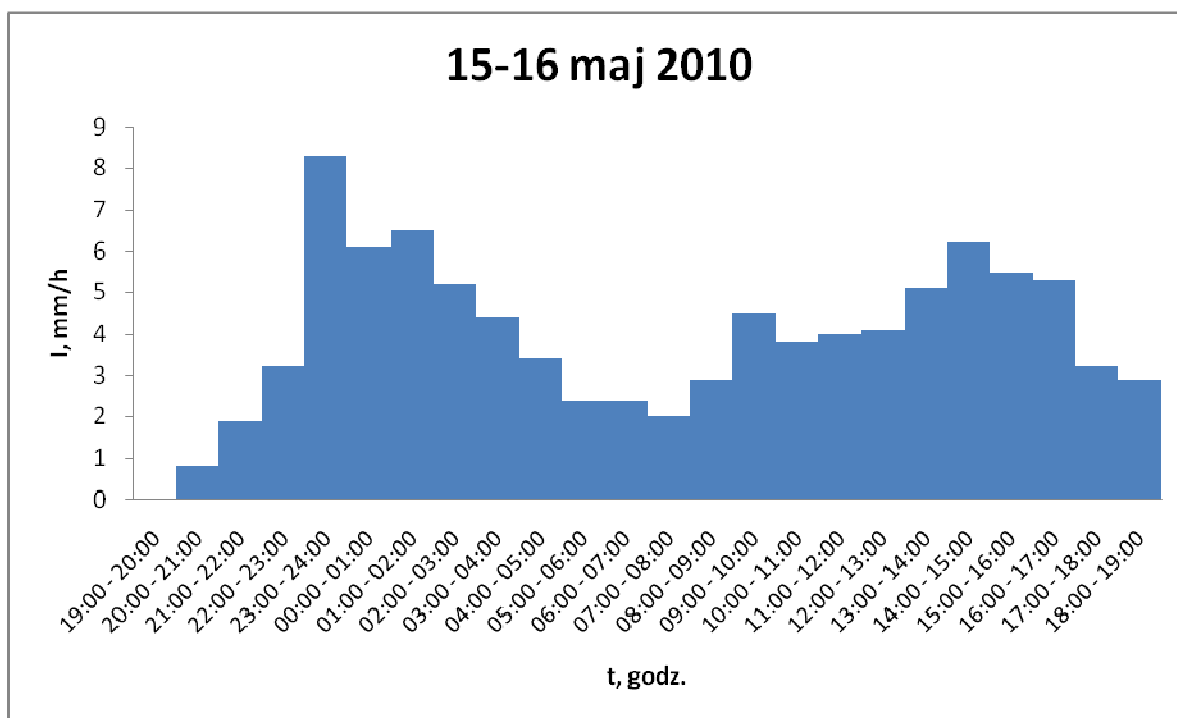
Krzywe bezwymiarowe opadów nawałnych potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia o występowaniu największej wysokości opadu w pierwszej fazie opadu – 0. Dla określonego pęku krzywych obliczono średni przebieg opadów z granicami ufności oraz z odchyleniem ćwiartkowym na poziomie 25 i 75%. Średnio w pierwszych 4% czasu trwania opadu spada prawie 35% całkowitej wysokości opadu, a w pierwszych 12% czasu trwania zjawiska aż 66%. Na rysunkach 5 – 8 przedstawiono hietogramy największych epizodów opadowych zanotowanych w roku 2010 na stacjach Bielany, Sidzina, Skotniki, Wadów. W przypadku stacji zlokalizowanych na obszarze miasta Krakowa (Bielany, Sidzina, Skotniki, Wadów) największy epizod opadowy miał miejsce 15-16 maja 2010 r.. Na wspomnianych stacjach widoczny jest podobny przebieg hietogramów opadów, z wyraźnymi dwiema wartościami modalnymi, co może świadczyć o braku lokalnej zmienności ulewnych opadów na obszarze miasta Krakowa. Opady te zostały wywołane przez tą samą sytuację synoptyczną. Sumy opadów z analizowanych epizodów wyniosły, dla stacji: Bielany - 58,8 mm w ciągu 24 godz., Sidzina – 94,1 mm w ciągu 24 godz., Skotniki – 63,8 mm w ciągu 24 godz. i Wadów – 49,7 mm w ciągu 24 godz. Wystąpił on 18-19 lipca 2010 r., a maksymalne natężenie chwilowe równe 25 mm/h znacznie przewyższało natężenia obserwowane na pozostałych stacjach. Na rysunkach 9 – 12 przedstawiono krzywe bezwymiarowe dwóch największych epizodów opadowych na wspomnianych stacjach w 2010 r.



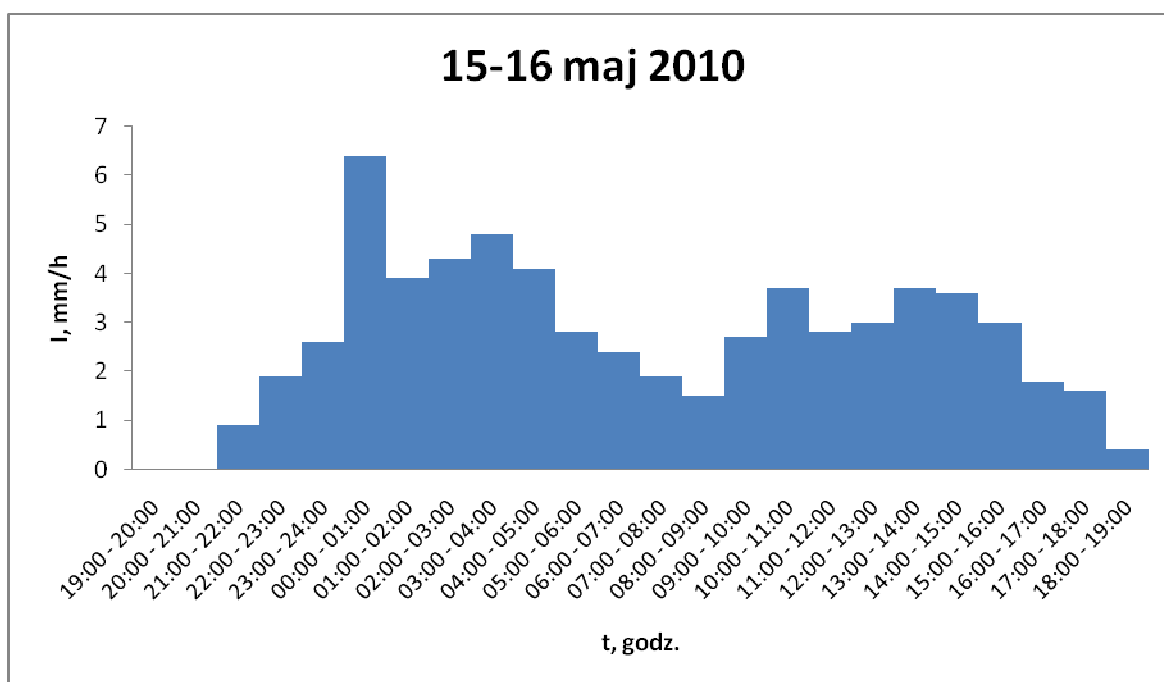
Rysunek 4 Krzywe bezwymiarowe opadów nawaalnych ze stacji UJ Ogród Botaniczny (linia przerywana – średnia krzywa bezwymiarowa; linie czarne ciągłe – przedziały ufności średniej oraz odchylenie ćwiartkowe).



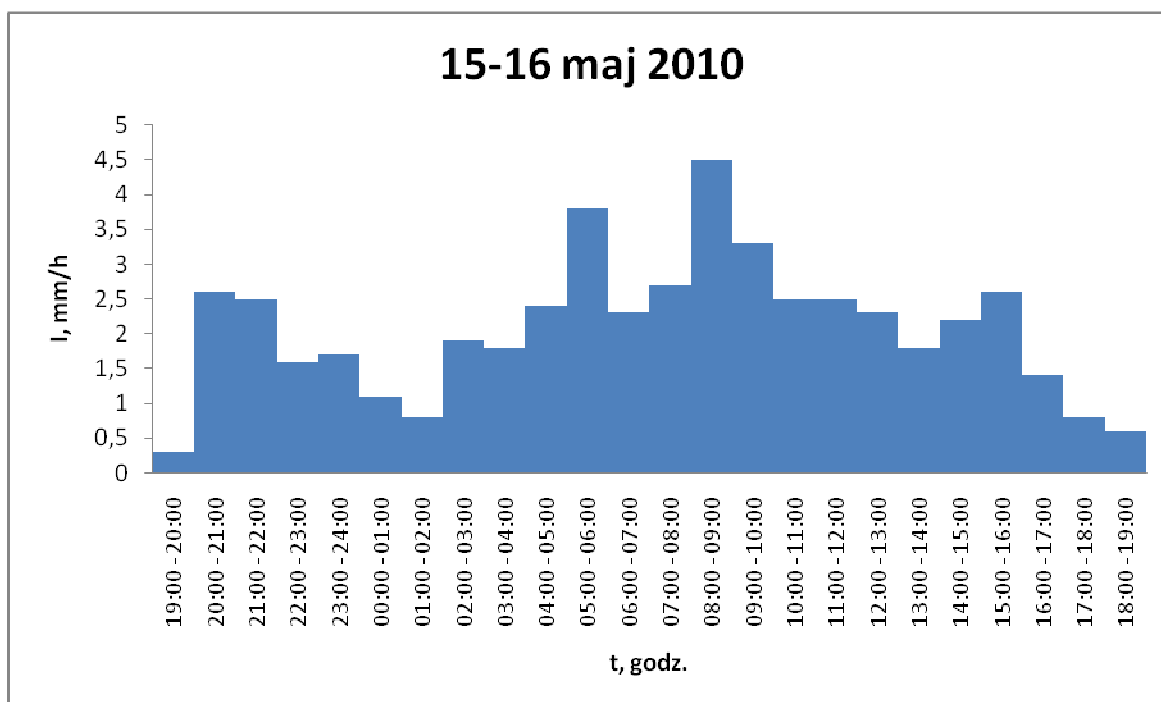
Rysunek 5 Hietogram opadu na stacji Bielany z dnia 15-16 maja 2010 r.



Rysunek 6 Hietogram opadu na stacji Sidzina z dnia 15-16 maja 2010 r.

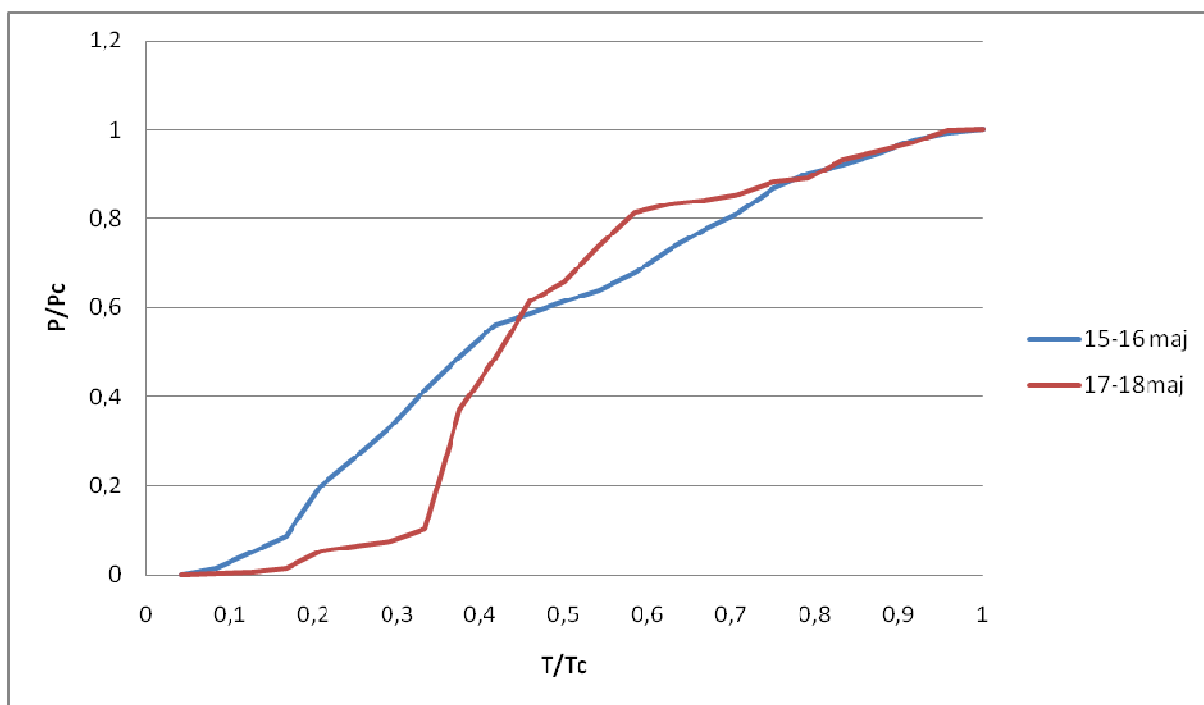


Rysunek 7 Hietogram opadu na stacji Skotniki z dnia 15-16 maja 2010 r.

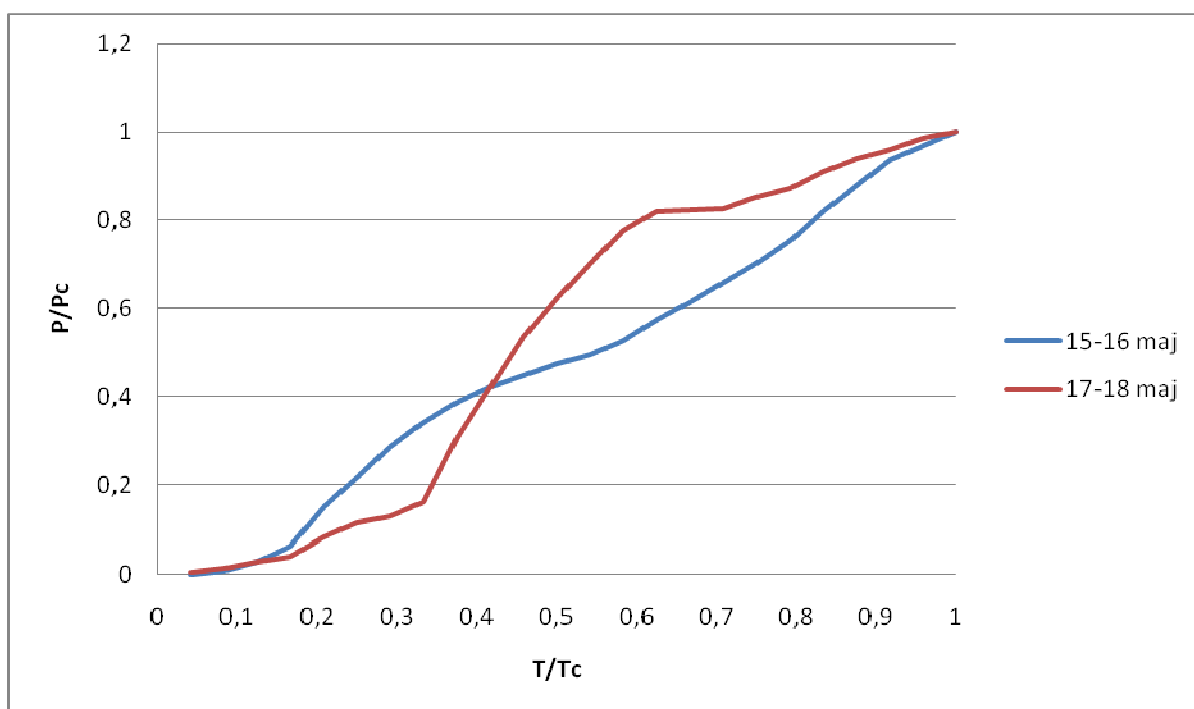


Rysunek 8 Hietogram opadu na stacji Wadów z dnia 15-16 maja 2010 r.

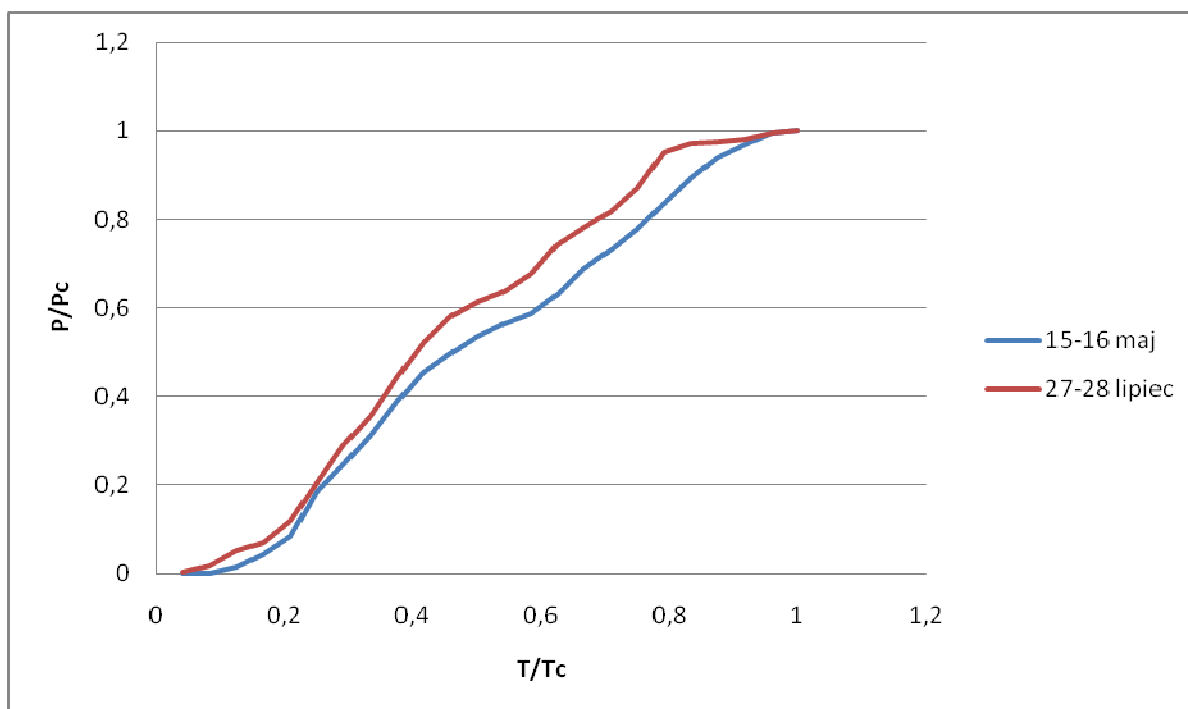
O ile w przypadku zjawiska z maja 2010r. mamy do czynienia z równomiernym rozkładem natężenia opadu w czasie, o tyle w przypadku drugiego wybranego epizodu na stacji Bielany, Sidzina i Wadów wyraźnie daje się zauważyć, że największe natężenie wystąpiło w środku trwania zjawiska, oraz że na obu stacjach miało ono podobny przebieg. W przypadku Skotnik oba wybrane epizody miały podobny przebieg w czasie. Wyniki te świadczą o tym, że przebieg zjawisk opadowych jest niezwykle zróżnicowany i zależny od sytuacji synoptycznej, natomiast, co wcześniej stwierdzono analizując ten sam epizod w czasie na różnych stacjach ma on podobny przebieg. Taka różnorodność w przebiegu zjawisk opadowych będzie rzutować na pracę sieci kanalizacyjnej, bowiem będzie ona narażona zarówno na występowanie nawałnych krótkotrwałych opadów jak i dłuższych epizodów, które w efekcie będą sprzyjać powstawaniu nadpiętrzeń czy wylewów z kanalizacji. Największy problem przejawia się także w tym, że w danym momencie czasu na znacznym obszarze może wystąpić znaczne natężenie deszczu, co będzie dodatkowo sprzyjać występowaniu problemów z funkcjonowaniem sieci kanalizacji opadowej i ogólnospławnej.



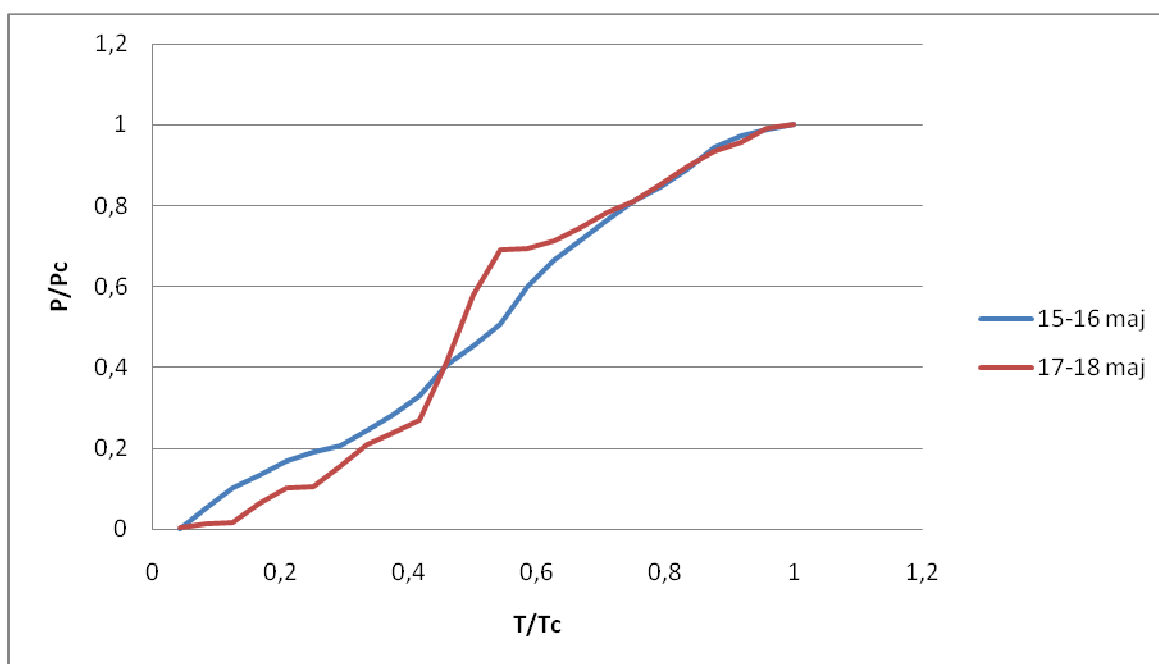
Rysunek 9 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Bielany w 2010r.



Rysunek 10 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Sidzina w 2010r.



Rysunek 11 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Skotniki w 2010r.

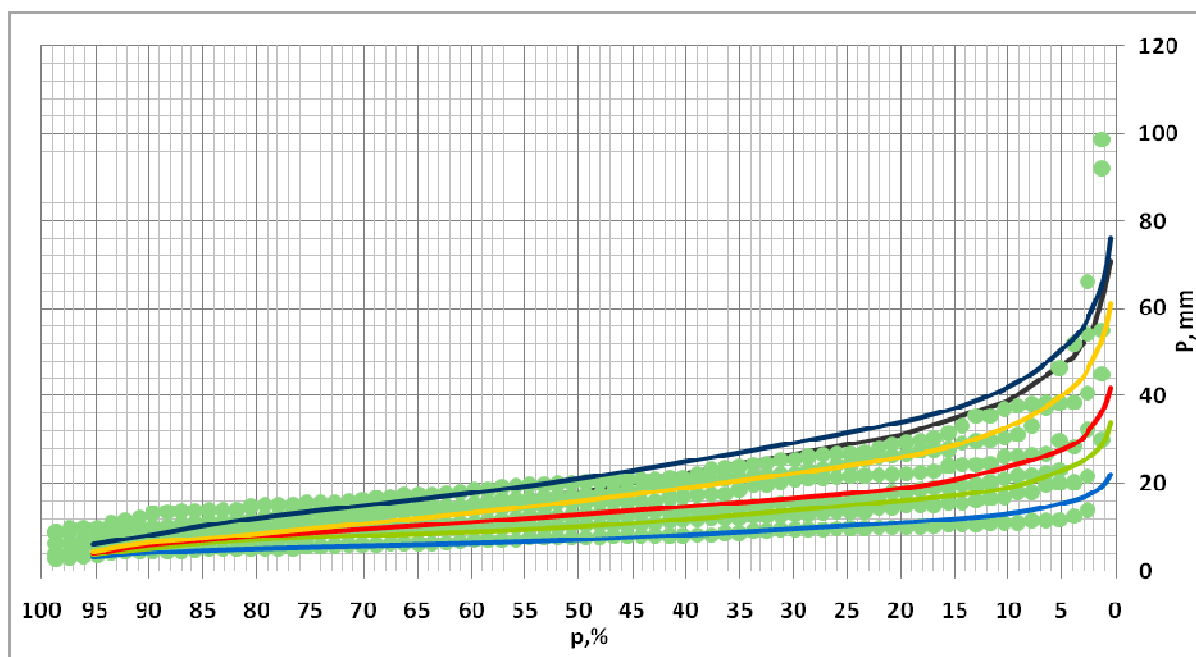


Rysunek 12 Krzywe bezwymiarowe wybranych epizodów opadowych na stacji Wadów w 2010 r.

Istotnie znaczenie dla analizy przebiegu sytuacji powodziowej zwłaszcza w południowej części Krakowa mają obserwacje opadów ze stacji Koźmice Wielkie. Potwierdzeniem tego była powódź w 2010r., gdzie dniach 15 i 16 maja na wspomnianej stacji zanotowano opad o wysokości 147,4 mm, co było powodem wystąpienia licznych podtopień na obszarze miasta. Wg Wojciechowskiego [2010] opad ten przekraczał wartość graniczną (20 mm) dla prawidłowego funkcjonowania kanalizacji w warunkach zamkniętych przelewów burzowych. Opady zmierzone na stacji Koźmice Wielkie są reprezentatywne w analizie i prognozowaniu zjawisk powodziowych w zlewni Serafy. Świadczy o tym także ostatnia powódź z 2010 r., gdzie intensywny opad zanotowany

15 maja wynoszący 34,6 mm spowodował wystąpienie wody rzeki Serafa o godz. 6:00 16 maja. Niestety, z uwagi na to, iż na stacji Koźmice Wielkie notowane są opady z interwałem 24 godz. nie mogą być one bezpośrednio wykorzystane w modelowaniu wezbrań np. w zlewni Serafy. Z uwagi na silne uszczelnienie powierzchni tej zlewni, jej reakcja na opad jest szybka, a więc dla wiarygodnego opisu wezbrania wymagane jest uwzględnienia w obliczeniach opadów o krótszym kroku czasowym. Stąd autorzy koncepcji postulują, aby IMGW w Krakowie przeanalizowało możliwość modernizacji aparatury pomiarowej na stacji w Koźmicach Wielkich tak, aby można było uzyskać z niej opady o interwale czasowym mniejszym od 24 godz.

Krzywe prawdopodobieństwa wysokości opadów określonych z rozkładu Gumbela wraz z krzywymi empirycznymi przedstawiono określone dla stacji UJ Ogród Botaniczny przedstawia 03. Można zauważyć, że rozkład Gumbela dobrze opisuje rozkład empiryczny analizowanych ciągów opadowych, a więc może on posłużyć do określenia deszczy miarodajnych i kontrolnych. Wg krzywej prawdopodobieństwa wg Gumbela najwyższy zanotowany opad na stacji UJ Ogród Botaniczny o wysokości 99 mm w ciągu 45 min odpowiadał prawdopodobieństwu 0,1%, a więc było to zjawisko występujące ze średnią częstością raz na 1000 lat.



Rysunek 13 Krzywe prawdopodobieństwa opadów maksymalnych dla różnych czasów trwania ze stacji UJ Ogród Botaniczny (krzywe ciągłe licząc od najniższej położonej, dla czasu trwania: $t = 5$ min, $t = 10$ min, $t = 15$ min, $t = 30$ min, $t = 60$ min, $t = 120$ min)

W przypadku miasta Krakowa dla zlewni elementarnych orientacyjne obliczenia przepustowości sieci kanalizacyjnej należałoby przeprowadzić dla deszczów o czasie trwania 10 min i prawdopodobieństwie przewyższenia 20 i 50 % dla deszczów miarodajnych oraz 2% i 3% dla kontrolnych, co wg opracowanych krzywych prawdopodobieństwa daje odpowiednio wysokość opadu równą 14 i 10 mm dla $p = 20$ i 50% oraz 27 i 25.5 mm dla $p = 2$ i 3%. W celu ustalenia miarodajnego czasu trwania

opadu określa się czas koncentracji spływu, który jest funkcją charakterystyk zlewni, a głównie jej spadku, długości drogi spływu i szorstkości powierzchni.

2.2.1.3 Przebieg powodzi na obszarze miasta Krakowa w lipcu 1997r.

W lipcu 1997 r. w zachodniej części dorzecza górnej Wisły wystąpiło jedno z największych wezbrań XX w. Było ono wezbraniem letnim, którego bezpośrednią przyczyną były rozlewne opady deszczu, jakie wystąpiły w ciągu 6 dni, od 4 do 9 lipca 1997r. w dorzeczu górnej Wisły [Niedbała 1998]. Największe dobowe sumy opadów zanotowano 8 lipca 1997r. prawie na wszystkich posterunkach opadowych w tym obszarze. W zlewniach tatrzańskich dobową sumę opadów przekroczyła 200 mm (Hała Gąsienicowa 223,5 mm). W Krakowie suma maksymalna dobową sumę opadu wyniosła 154 mm, a suma opadów z lipca 1997 r., była równa 300 mm, co było drugim wynikiem w wieloleciu 1850-1999 [Cebulak i in. 2000]. W okresie od 6 do 22 lipca 1997r. nad Krakowem przechodziło kilka burz i deszczy nawalnych. W nocy 6 lipca 1997r. wysokość opadu w północno-zachodniej części miasta wyniosła 50 mm, powodując gwałtowny wylew potoku Sudół w Modlnicy. Następstwem opadów atmosferycznych występujących we wspomnianym okresie był gwałtowny przybór wód w rzekach. Na Wiśle kulminacyjne stany występowały od 9 do 11 lipca 1997r.

Analiza wielkości kulminacji 12 największych wezbrań XX wieku w dorzeczu górnej Wisły wykazała, iż na Wiśle najbardziej niebezpiecznym odcinkiem – ze względu na występujące przepływy kulminacyjne – jest odcinek od wodowskazu Smolice do wodowskazu Popędzyna [Czulak, Niedbała 2000]. Nad tym odcinkiem koryta Wisły zlokalizowany jest Kraków. Tak wysokie wartości przepływów kulminacyjnych na tym odcinku są konsekwencją ujścia do Wisły Skawy i Raby.

W przypadku zagrożenia powodziowego Krakowa w lipcu 1997 r. decydujący wpływ na stany wody na Wiśle miała sytuacja hydro-meteorologiczna w obszarze Małej Wisły oraz jej dopływów: Soły i Skawy. Kulminacja Wisły w Krakowie nastąpiła 9 i 10 lipca 1997.. Średnia prędkość przemieszczania się fali ze Smolic do Bielany wynosiła 3,5 km/h. Na wodowskazie Bielany 9 lipca 1997r. o godz. 11 poziom wody wynosił 870 cm i utrzymywał się przez całą dobę, osiągając 10 lipca 1997r. o godz. 12 ekstremum równe 872 cm [Pauli-Wilga, Wojciechowski 1998]. Maksymalny przepływ fali wyniósł 2100 m³/s, co odpowiadało 2% prawdopodobieństwu przewyższenia, a objętość fali wyniosła około 600 mln m³. Stan alarmowy był przekroczony przez 6 dni a ostrzegawczy przez 12. Na tak długą kulminację wpływ miały głównie dwa czynniki:

1. gwałtowny spływ wód rzeki Skawinki (fala wezbraniowa Skawinki buduje często czoło fali na Wiśle w Krakowie),
2. rozmycie lewostronnego wału przeciwpowodziowego w dniu 10 lipca 1997 r. w Babicach i przemieszczenie się znacznych ilości wód poza obwałowaniem w kierunku Alwerni, a następnie wprowadzenie ich ponownie do koryta Wisły przed Czernichowem (powstał w ten sposób naturalny polder) [Pauli-Wilga, Wojciechowski 1997].

Na tle historycznych powodzi fala z lipca 1997r. w przekroju Bielany miała kulminację znacznie niższą niż np. w lipcu 1970r. ($Q_{\max} = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$), czy maju 194 r. ($Q_{\max} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$). Fala z 1997r. była najbardziej zbliżona do występującej w lipcu 1960r. ($Q_{\max} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$ i objętość 590 mln. m³). Wg klasyfikacji Punzeta wezbranie z lipca

1997r. na wodowskazie Bielany można sklasyfikować, jako katastrofalnie wielkie [Niedbała 1998].

Długotrwałe wezbranie spowodowało zamknięcie wszystkich zasuw na kanalizacji opadowej, co doprowadziło do podtopienia znacznych części miasta. W czasie lipcowej w 1997r. powodzi zalane lub podtopione zostało 25% powierzchni miasta. Straty i szkody powodziowe oszacowano na 21 mln zł. Stwierdzono 19 groźnych przecieków przez obwałowania (niektóre z nich miały długość 100-200m). Na odcinku lewostronnym wału wiślanego pod Wawelem, do przelania się przez jego koronę brakowało 90 cm.

Literatura

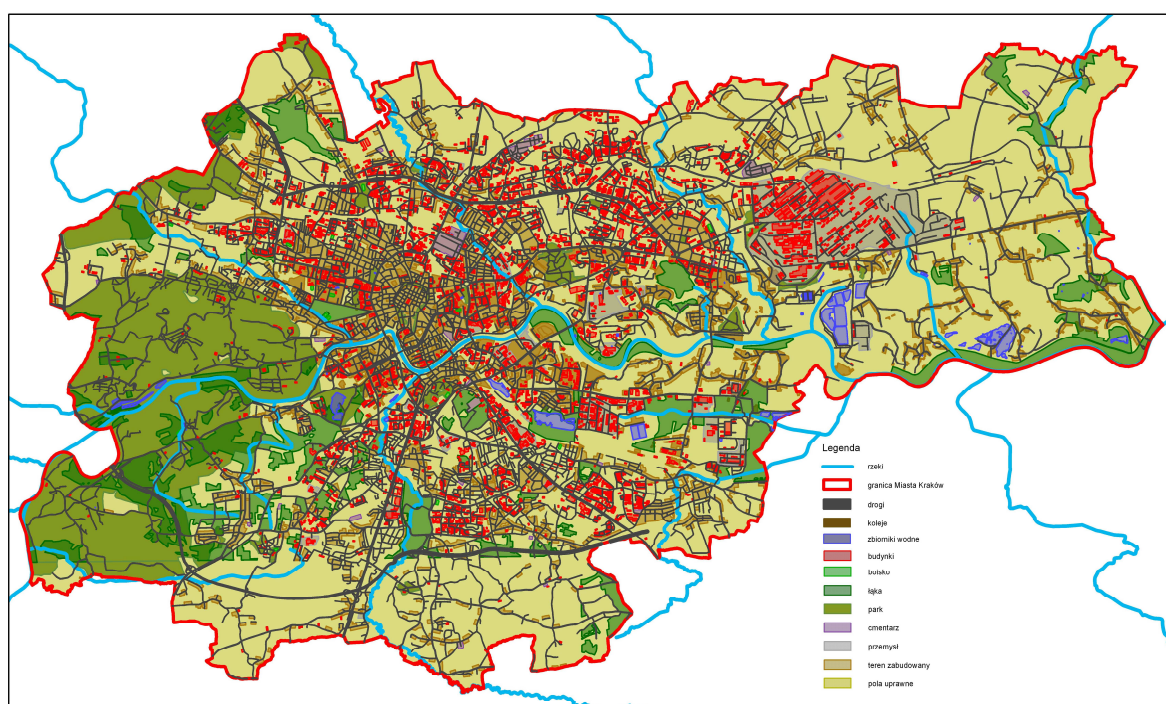
- [1] Cebulak E., Czekierda D., Niedźwiedź T. 2000. Uwarunkowania klimatyczne tworzenia się powodzi. [W:] Model kompleksowej ochrony przed powodzią w obszarze dorzecza górnej Wisły na przykładzie województwa małopolskiego. Red. Maciej Maciejewski, IMGW Kraków.
- [2] Czulak J., Niedbała J. 2000. Warunki i scenariusze hydrologiczne wezbrań. [W:] Model kompleksowej ochrony przed powodzią w obszarze dorzecza górnej Wisły na przykładzie województwa małopolskiego. Red. Maciej Maciejewski, IMGW Kraków.
- [3] Niedbała J. 1998. Charakterystyka hydrologiczna wezbrania z lipca 1997r. Mat. Konf. Nauk. nt. „Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 r.”, Kraków.
- [4] Pauli-Wilga J., Wojciechowski W. 1998. Zagrożenie miasta Krakowa podczas powodzi w lipcu 1997 r. Mat. Konf. Nauk. nt. „Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 r.”, Kraków.

2.2.1.4 Podsumowanie

Opady maksymalne odgrywają istotną rolę w kształtowaniu się sum rocznych opadów. Jak podaje Twardosz [9], na występowanie wysokich rocznych sum opadów w Krakowie decydujący wpływ wywierają jednostkowe opady dobowe o dużej intensywności. Stanowią one zaledwie 3% wszystkich opadów dobowych, lecz ich udział w rocznej sumie wynosi 21,9%. Występowanie opadów anomalnie wysokich ma również związek z sytuacją synoptyczną. Twardosz i Niedźwiedź [10] podają, że wysokie średnie intensywności opadów dobowych występują w sytuacji adwekcyjnego ruchu mas powietrza z północy, północnego wschodu i północnego zachodu. Analiza polutogramów wzorcowych opadów krótkotrwałych (do 120 min) wykazała, że na początku trwania zjawiska występuje największa intensywność opadów.

Taki przebieg zjawisk opadowych odgrywa ważną rolę w generowaniu wysokich odpływów ze zlewni [8]. Należy jednak pamiętać, że takie czynniki jak całkowita wysokość opadu dobowego, przebieg pogody w okresie poprzedzającym zjawisko opadowe czy udział powierzchni przepuszczalnych modyfikują ostateczny przebieg odpływu ze zlewni. Niemniej jednak przedstawione wyniki ze wszystkich stacji opadowych pokazują, że obserwowany przebieg opadów w czasie może sprzyjać występowaniu gwałtownego spływu wód opadowych z powierzchni uszczelnionych do systemów kanalizacyjnych i cieków - odbiorników tych spływów, który ma przebieg lokalny. Innymi słowy deszcze nawalne mogą wywołać lokalne podtopienia terenów najniżej położonych w wyniku przeciążenia kanalizacji opadowej i wzrost zagrożenia

powodziowego w małych zlewniach elementarnych, nawet mimo braku widocznego wzrostu stanów i przepływów w głównym recypencie, jakim jest Wisła. Jak wynika z Rys. 14, przy takim przebiegu opadów największe zagrożenie podtopieniami występować będzie w zlewniach o małej powierzchni o dużym stopniu uszczelnienia. A więc problemy z lokalnymi podtopieniami mogą występować w ujściowym odcinku Dłubni, Prądnika/Białychy, Rudawy, Wilgi czy Drwini, które są silnie zurbanizowane. Przy czym w przypadku rzeki Rudawy czy Dłubni największe wezbrania mogą być wywołane deszczami o dłuższym czasie trwania, z uwagi na większe powierzchnie zlewni i relatywnie mniejsze spadki zlewni od pozostałych dopływów Wisły. Intensywne spływy wywołane nawałnymi opadami deszczu mogą wywoływać szkody także w zlewni rzeki Serafy, gdyż charakteryzuje się ona znacznym spadkiem zlewni, bo wynoszącym 2,88 %, co generować będzie szybką reakcję zlewni na występujący opad deszczu. Niekorzystną sytuację w zlewni Serafy, zwłaszcza w jej ujściowym odcinku, będzie potęgować jeszcze dopływ Drwina. Pamiętać należy, że istotne zagrożenie powodziowe może występować w ujściowych odcinkach dopływów Wisły wywołanych zjawiskiem cofki. Przepusty wałowe wyposażone w klapę zwrotną przy wysokich stanach wód w recypencie zostają zamknięte w związku z tym zablokowany zostaje odbiór zrzuconych wód w skutek, czego na zawalu może dochodzić do powstawania cofki. Wystąpienie cofki w skutek takiego stanu rzeczy ma istotny wpływ na lokalne podtopienia.



Rysunek 14 Zagospodarowanie zlewni w obrębie miasta Krakowa.

W przypadku głównego cieku przepływającego przez Kraków, kształtowanie się wezbrań jest w dużej mierze determinowane sytuacją hydro-meteorologiczną w zlewniach Małej Wisły oraz dopływów Soły, Skawy i Skawinki. Natomiast przebieg wezbrań w samej Wiśle w obrębie Krakowa może w istotny sposób wpływać na występowanie lokalnych podtopień w wyniku ograniczenia odpływu z terenów zawala wskutek zamknięcia zamknięcia śluz wałowych, a także w wyniku zamknięcia zasuw na

przelewach kanalizacji burzowej w trakcie występowania wysokich stanów wody na Wiśle, jak to miało miejsce np. w trakcie powodzi w 1997 r. [4].

Wynika stąd potrzeba budowy urządzeń do chwilowego zatrzymania największych objętości odpływu, regulujących odpływ, działających odciażająco na sieć kanalizacyjną oraz odbiorników powierzchniowych a dodatkowo redukujących nadmierną ilość zanieczyszczeń prowadzonych przez spływające wody opadowe. Celowe jest rozważenie koncepcji budowy małych zdecentralizowanych urządzeń do zagospodarowania wód opadowych, w zależności od uwarunkowań lokalnych, z wykorzystaniem retencji i infiltracji.

Literatura:

- [1] Nachlik E. 2006. Ochrona przeciwpowodziowa w powiązaniu z ochroną walorów przyrodniczych rzek i ich dolin. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4 (1), 47-62.
- [2] Bielański A. K. 1997. Materiały do historii powodzi w dorzeczu górnej Wisły. *Seria Inżynieria Sanitarna i Wodna, Monografia 217*, Wyd. Politechniki Krakowskiej.
- [3] Kasina M. 2007: Przedziały kwantylowe jako podstawa wydzielania ekstremalnych i anomalnych przepływów miesięcznych, półrocznych i rocznych na przykładzie wybranych rzek karpackich [W:] *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym. Badania hydrogeologiczne w poznawaniu środowiska. T. VIII*. Red. Zdzisław Michalczyk. Wyd. UMCS, Lublin, 319-329.
- [4] Pauli-Wilga J., Wojciechowski W. 1998. Zagrożenie miasta Krakowa podczas powodzi w lipcu 1997. *Mat. Konferencji Naukowej nt. „Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku”* Wyd. PAN, Kraków, 87-102.
- [5] Licznar P., Łomotowski J., Rojek M. 2005: Pomiary i przetwarzanie danych opadowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji systemów odwodnieniowych. *PZiTS Poznań*, 100.
- [6] Niedźwiedź T. 1989: Heavy rainfalls in Cracow. *Zesz. Nauk. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 75, 11-22. Madsen H., Mikkelsen P. S., Rosbjerg
- [7] Pagliara S., Viti C., Gozzini B., Meneguzzo F., Crisci A. 1998: Uncertaines and trends in extreme rainfall series in Tuscany, Italy: effects on urban drainage networks design. *Wat. Sci. Tech.* 37 (11), 195-202.
- [8] Petrovic J., Despotovic J. 1998: Historical rainfall for urban storm drainage design. *Wat. Sci. Tech.* 37 (11), 105-111.
- [9] Twardosz R. 2000: Opady normalne i anomalne w Krakowie w latach 1850-1998. *Prz. Geofizyczny* 2, 171-182.
- [10] Twardosz R., Niedźwiedź T. 2001: Influence of synoptic situations on the precipitation in Krakow (Poland). *Int. Journal of Climatology* 21, 467-481.

2.2.2 Podział na obszary odwodnienia kanalizacją i na zlewnie rzek

2.2.2.1 Podział miasta na systemy kanalizacji

Miasto Kraków posiada system kanalizacji ogólnospławnej i rozdzielczej (kanalizacja sanitarna i opadowa).

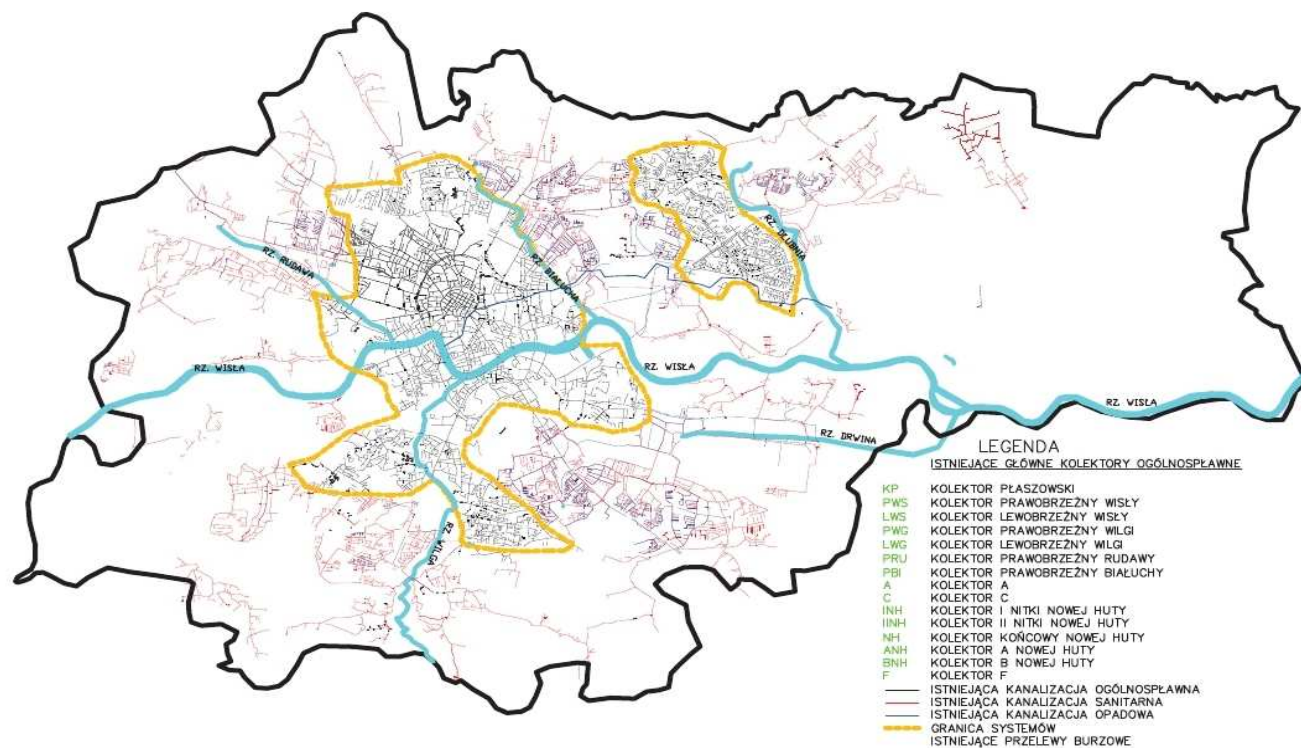
Sieć kanalizacji ogólnospławnej prowadzona jest przeważnie wzdłuż ulic i zlokalizowana jest w następujących rejonach Krakowa: Podgórze, Azory, Krowodrza, Łobzów, Nowa Wieś, Kleparz, Prądnik Biały, Rakowice, Wesoła (okolice Ronda Mogińskiego), Grzegórzki, Dąbie, Stare Miasto (m.in. Rynek Główny i Planty), Nowy Świat, Piasek, Kazimierz, Półwie Zwierzynieckie, Salwator, Zwierzyniec.

Kanalizacja ogólnospławna znajduje się również w Nowej Hucie, Mistrzejowicach oraz Czyżynach. W końcowych odcinkach kanalizacji zlokalizowane są przelewy burzowe odprowadzające rozcieńczone ścieki sanitarne i opadowe bezpośrednio do rzeki.

Sieć kanalizacji opadowej na terenie miasta Krakowa jest systemem autonomicznym, niezależnym od kanalizacji ogólnospławnej i sanitarnej. Występuje ona w różnych rejonach na terenie całego miasta, głównie na jego obrzeżach: Mydlniki, Bronowice Małe, Bronowice Wielkie, Prądnik Biały, Prądnik Czerwony, Olsza, Olsza II, Czyżyny, Mistrzejowice (zachód), Wola Duchacka Wschód, Piaski Nowe, Nowy Prokocim, Nowy Bieżanów (część południowa), Rząka, Kliny Borkowskie, Jugowice, Swoszowice.

Poniżej przedstawiono schematyczny podział kanalizacji na terenie Miasta Krakowa. Obszar zakreślony obrazuje zakres systemu kanalizacji ogólnospławnej.

SCHEMAT GŁÓWNYCH KOLEKTORÓW OGÓLNOSPŁAWNYCH MIASTA KRAKOWA



Rysunek 15 Schemat podziału kanalizacji na terenie miasta Krakowa [pозyskane z zasobów MPWiK S.A.].
 Kolorem żółtym oznaczono granice systemów. Wewnątrz obwiedni system ogólnospławny.

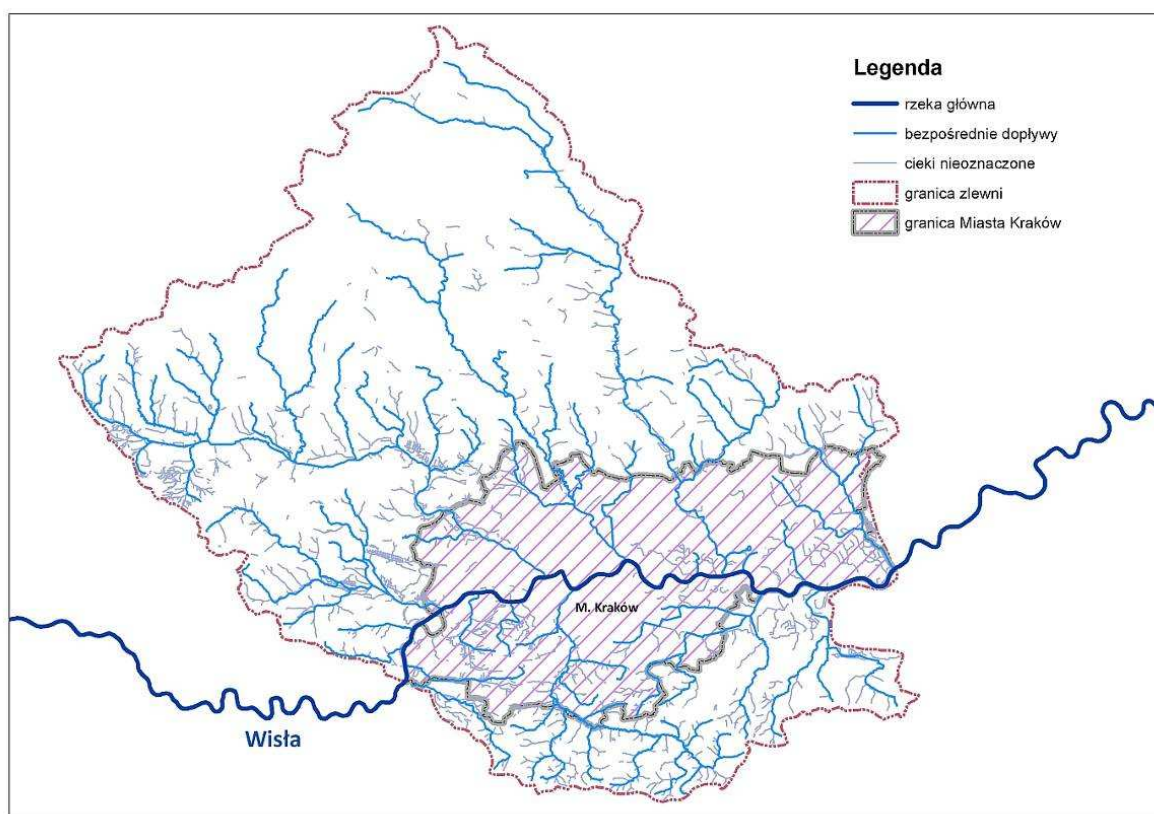
W oparciu o wykonaną identyfikację elementów systemu odprowadzenia wód opadowych i roztopowych w zakresie obiektów melioracyjnych, dokonano analizy sieci hydrograficznej w wyspecyfikowanych zlewniach elementarnych, tj. analizy głównych dopływów oraz szczegółowej sieci cieków i rowów powierzchniowych. Główne ciek w poszczególnych zlewniach opisano, podając ich podstawowe parametry oraz cechy fizjograficzne zlewni. Dla każdego z 20 cieków przedstawiono mapy poglądowe obrazujące strukturę sieci rzecznej w zlewni, z wyszczególnieniem granic administracyjnych miasta Krakowa.

Oprócz zidentyfikowanych 20 cieków powierzchniowych, ciekami mogącym mieć istotny wpływ na kształtowanie się fali powodziowej na Wiśle w rejonie Krakowa jest rzeka Skawinka. Ponieważ uchodzi ona do Wisły na granicy miasta Krakowa, jej wpływ w modelu hydrodynamicznym dla rzeki Wisły zostanie uwzględniony w przedmiotowym opracowaniu, jako dopływ skupiony.

1. Wisła

Wisła w okolicy Krakowa przepływa równoleżnikowo z zachodu na wschód. Do Wisły w bezpośrednim sąsiedztwie Krakowa wpadają kolejno: Sidzinka, Sanka, Potok Kostrzecki, Potok Pychowicki, Rudawa, Wilga, Prądnik/Białucha, Potok Łęgówka, Dłubnia, Kanał stopnia wodnego Przewóz, Serafa, Kanał Suchy Jar oraz Potok Kościelnicki. W rejonie Krakowa występują również urządzenia hydrotechniczne zaburzające naturalny przepływ wody. Są to: stopień wodny Kościuszkowski, stopień wodny Dąbie oraz stopień wodny Przewóz, a także stopień wodny Łączany – położony w górę biegu Wisły, poza granicami miasta Krakowa, również mający pewien sposób wpływ na kształtowanie się układu zw. wody na Wiśle.

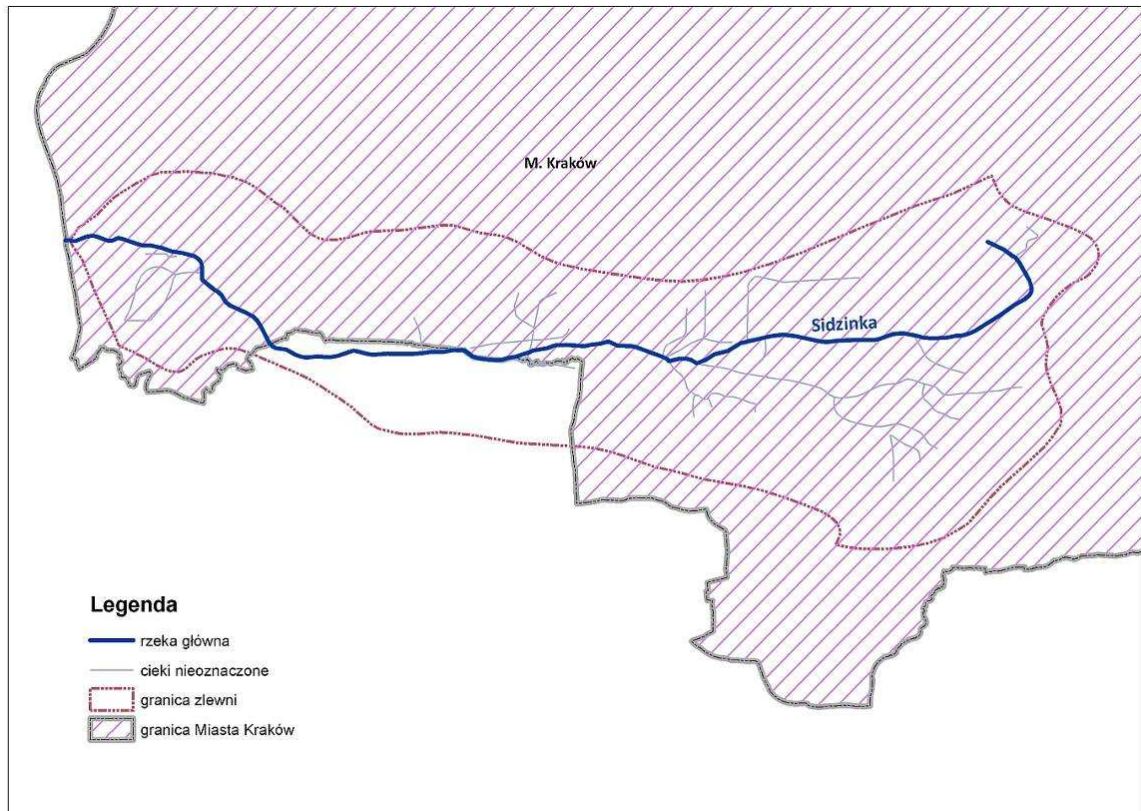
Dolina Wisły na tym obszarze usiana jest madami i piaskami rzecznyymi o różnej przepuszczalności. Pod nimi znajduje się przede wszystkim warstwa lessów, a także żwiru i gliny zwałowe. W całej dolinie występują terasy rzeczne, a rzeka prawie w całości jest obwałowana. Obszar zlewni zajęty jest przede wszystkim pod grunty orne, miejscami w niewielkiej ilości porośnięty lasami liściastymi. Średnia roczna suma opadów na tym odcinku Wisły waha się od 600 do 700 mm. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi ok. 7,5 – 8,0°C.



Rysunek 16 Zlewnia rzeki Wisły w obrębie Miasta Krakowa.

2. Sidzinka

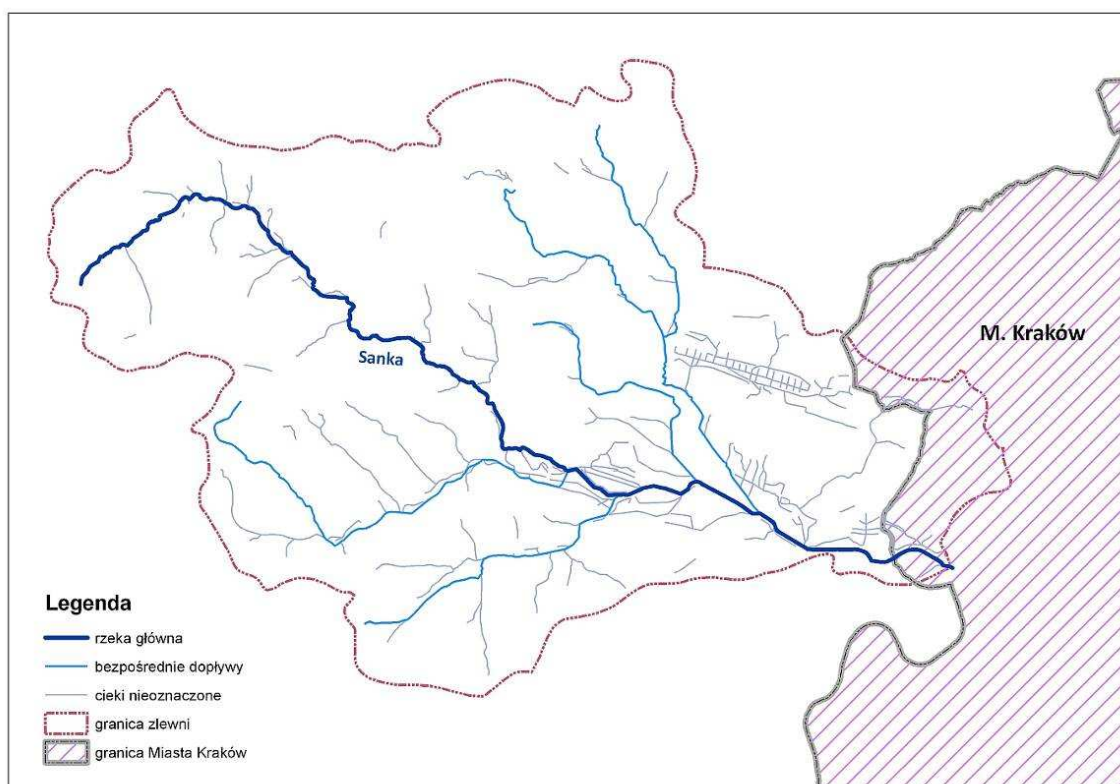
Sidzinka jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Wisły. Jej długość wynosi 8,49 km, natomiast powierzchnia zlewni równa jest 11,9 km². Znajduje się ona w południowej części Krakowa. Źródła Sidzinki leżą w południowo zachodniej części Dzielnicy VIII Dębniki (Kobierzyn), na wysokości około 248 m n.p.m. Następnie Sidzinka przepływa przez Sidzinę i Pogórki Tynieckie. W okolicach Bogucianki wpływa do Wisły.



Rysunek 17 Zlewnia rzeki Sidzinki.

3. Sanka

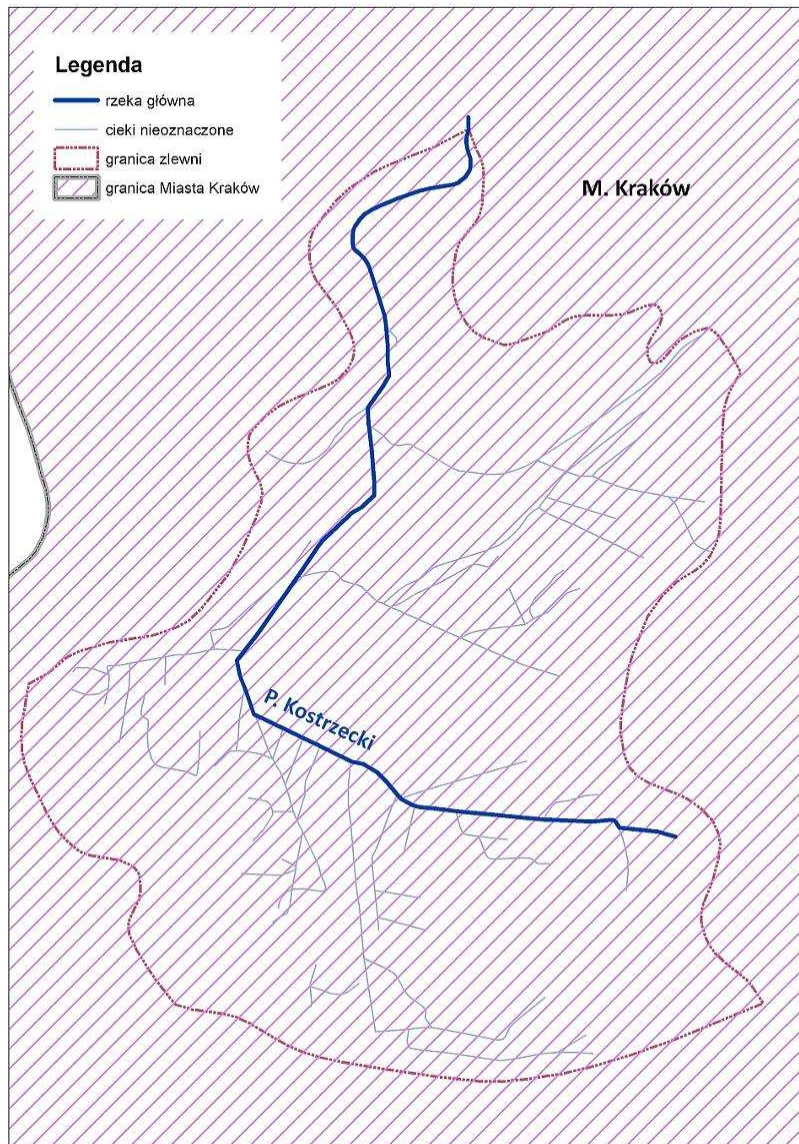
Sanka jest lewobrzeżnym dopływem Wisły. Płynie przez obszar województwa małopolskiego, przez jurajskie wapienie Grzbietu Tenczyńskiego. Sanka ma długość równą 19,3 km, a powierzchnia jej zlewni wynosi ok. 96,2 km². Największym jej dopływem jest lewobrzeżny potok Brzoskwinka, wpadający do niej w 3,2 km biegu rzeki. W początkowym biegu tworzy dolinę nazwaną Dolina Sanki, przechodzącą następnie w Dolinę Mnikowską. Sanka płynie przez niezurbanizowane i nieuprzemysłowione tereny Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. Ma czyste wody, zaliczane do I klasy czystości wód. Z tego też względu znajduje się na niej ujęcie wody pitnej dla Krakowa. Jest również atrakcyjna turystycznie, szczególnie na odcinku w Mnikowie, gdzie przepływa przez rezerwat przyrody – Dolinę Mnikowską. Rzeka płynie w tym miejscu wapiennym wąwozem o stromych ścianach sięgających 80 m wysokości. Również zasilające ją potoki płyną przez atrakcyjne przyrodniczo i turystycznie tereny. Jej prawobrzeżny potok płynący przez rezerwat przyrody Zimny Dół ma swoje źródła w jedynym na terenie województwa małopolskiego dużym wywierzysku wypływającym w jaskini. Do Wisły wpada w 64,9 km jej biegu w Bielanych, tuż za węzłem Mirowskim autostrady A4.



Rysunek 18 Zlewnia rzeki Sanki.

4. Potok Kostrzecki

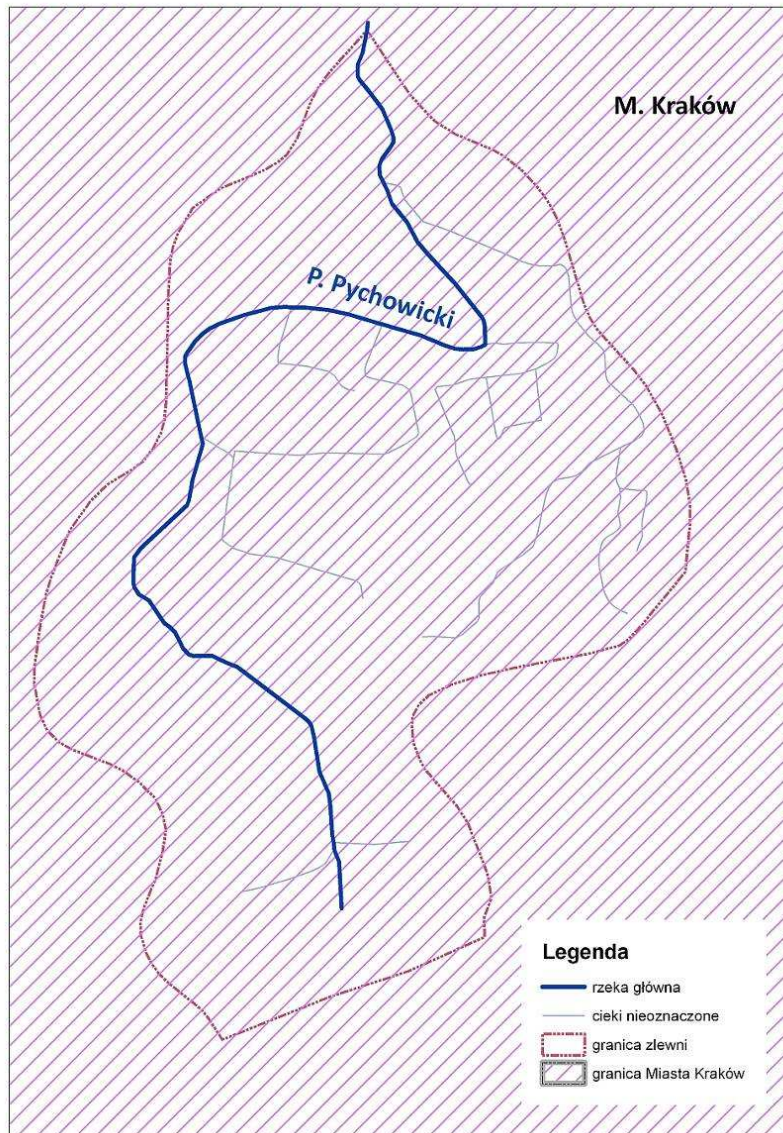
Potok Kostrzecki jest prawobrzeżnym dopływem Wisły o długości równej 6,02 km i powierzchni zlewni 10,3 km². Źródło potoku znajduje się w okolicach Skotnik. Następnie przepływa w kierunku północnym przez Kostrze a w pobliżu Bodzowa uchodzi do Wisły.



Rysunek 19 Zlewnia potoku Kostrzeckiego.

5. Potok Pychowicki

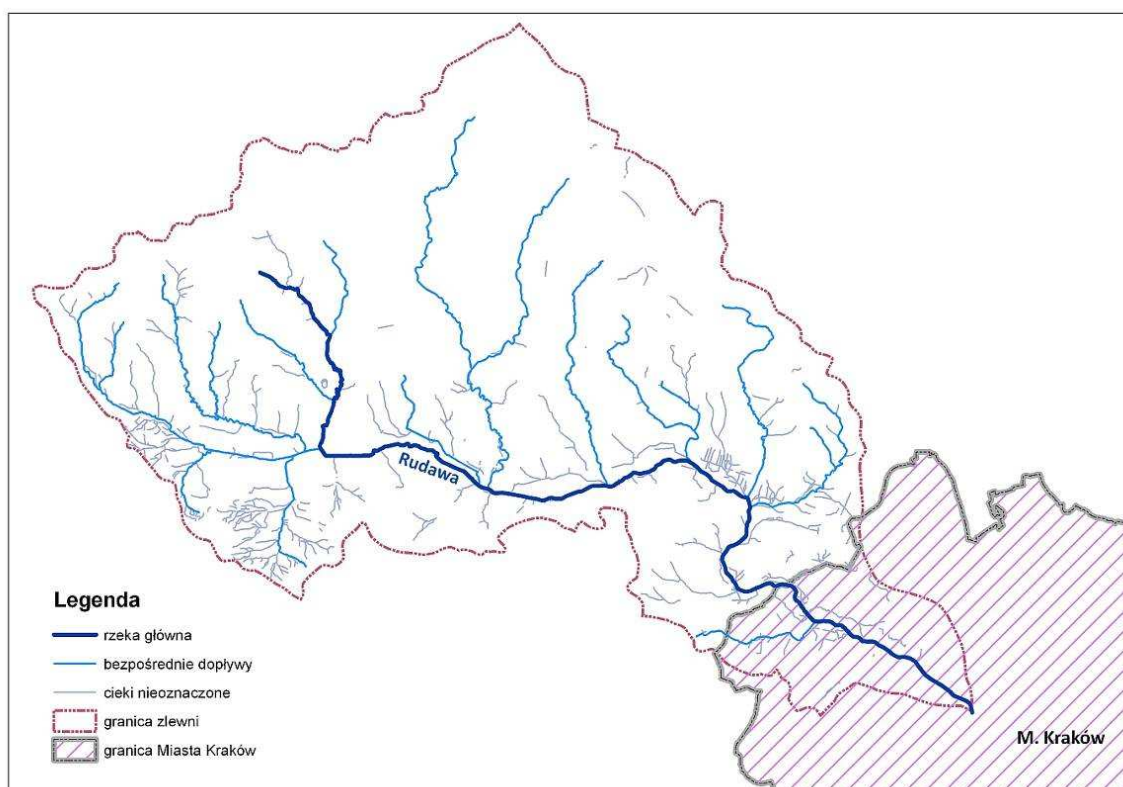
Potok Pychowicki jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Wisły. Jego długość wynosi 5,24 km a powierzchnia zlewni równa jest 5,43 km². Potok Pychowicki płynie przez Zręby Pychowickie, gdzie dzieli je na dwa wzniesienia: zachodnie zwane Górką Św. Piotra i wschodnie – Górką Pychowicką. Potok ten źródła ma w okolicy Kobierzyna, natomiast uchodzi do Wisły w Pychowicach.



Rysunek 20 Zlewnia potoku Pychowickiego.

6. Rudawa

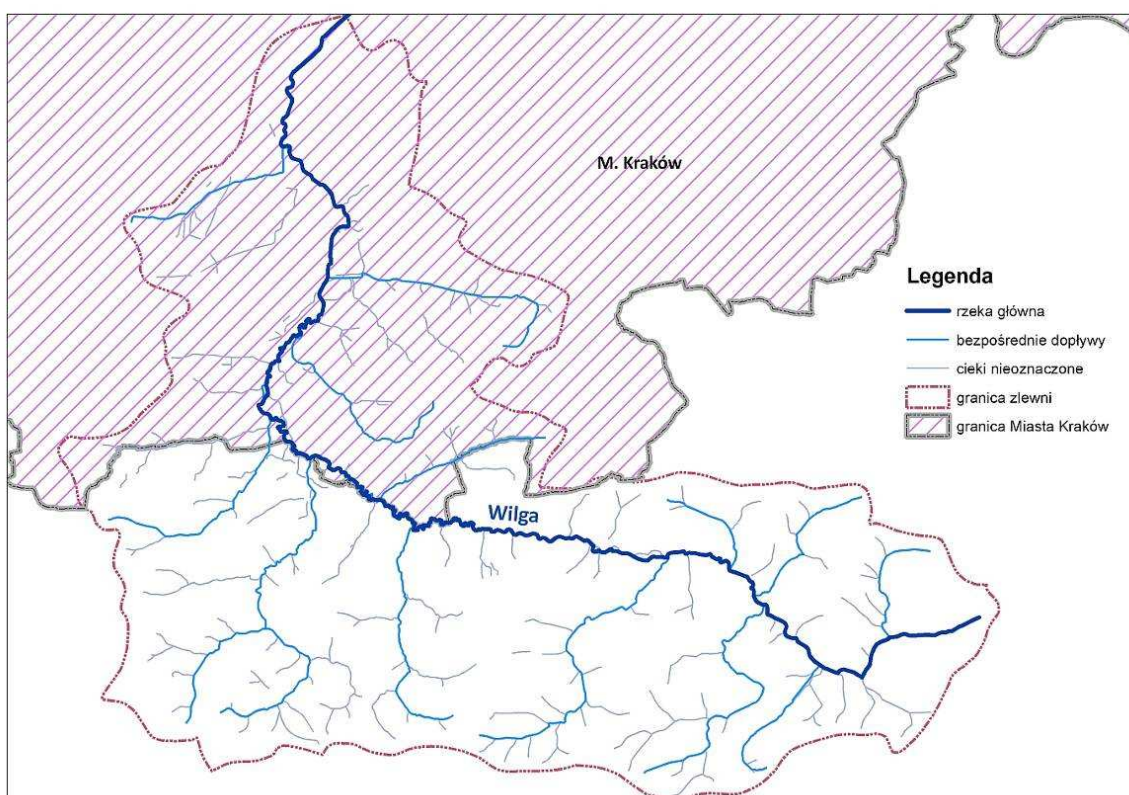
Rudawa jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Wisły o długości 35,80 km i powierzchni zlewni 319,4 km². Źródła Rudawy leżą w miejscowości Psary na wysokości 395 m n.p.m. Rudawa powstaje z połączenia Krzeszówki i Dulówki, wypływających z Wyżyny Olkuskiej, następnie płynie przez Rów Krzeszowski, oraz Garb Tenczyński i uchodzi w Krakowie między Półwsiem Zwierzynieckim a Zwierzyńcem koło klasztoru Norbertanek. Stanowi jedno ze źródeł wody pitnej dla miasta (ujęcie w Mydlnikach). Rudawa uchodzi do Wisły w km 75+400 (wg IMGW) na wysokości 202,00 m n.p.m. Średni jej spadek wynosi 4,7 ‰. Rudawa jest w dolnym biegu uregulowana i zestopniowana, a w obrębie Krakowa obwałowana.



Rysunek 21 Zlewnia rzeki Rudawy.

7. Wilga

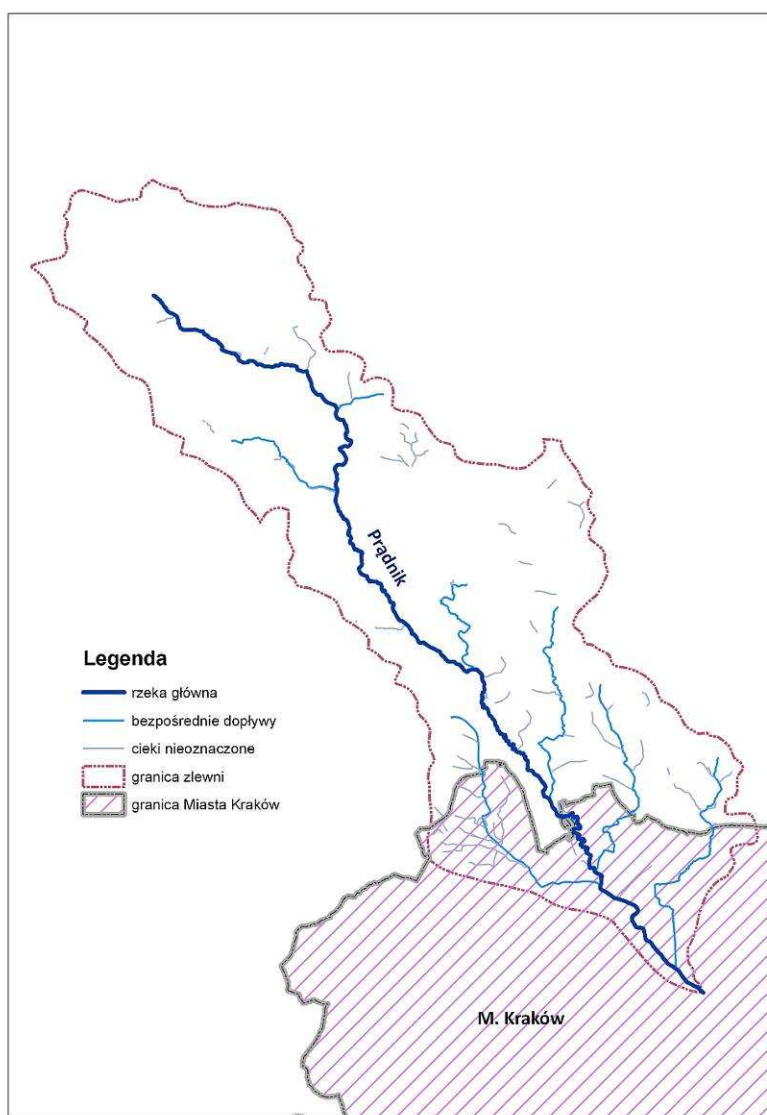
Wilga to prawobrzeżny dopływ Wisły o długości 22,5 km i powierzchni zlewni 100,1 km². Ujście Wilgi znajduje się na terenie Krakowa na Bulwarze Wołyńskim. Średni spadek Wilgi wynosi 6,2 ‰. Źródła znajdują się na wysokości 370 m n.p.m. w okolicach wsi Pawlikowice (pow. Wielicki) na Pogórzu Wielickim. Rzeka odwadnia Pogórze Wielickie i jego przedproże zbudowane głównie z utworów fliszowych. Rzeka jest silnie meandrująca, na terenie Krakowa uregulowana, na odcinku ujściowym (1,2 km) zabezpieczona wałami cofkowymi. Wilga jest zanieczyszczona w poważnym stopniu, przy ujściu do Wisły jest zakwalifikowana do V klasy czystości wód.



Rysunek 22 Zlewnia rzeki Wilgi.

8. Prądnik/Białucha

Prądnik/Białucha jest lewobrzeżnym dopływem Wisły o dł. 34 km i powierzchni zlewni 193,1 km². Prądnik/Białucha wypływa ze źródła szczelinowego o charakterze wywierzyska i wydajności ok. 60 l/s położonego na Płaskowyżu Ojcowskim we wsi Sułoszowa, płynie przez całą dolinę ojcowską (zwana popularnie – Ojcówianką lub Sułoszówką), następnie przechodzi do doliny Zielonek, gdzie przyjmuje od mlecznego koloru wody (bogatej w osady wapienne) – nazwę Białucha, przyjętą popularnie w XIX w. od dawnej granicy austriacko-rosyjskiej koło Giebułtowa, aż do ujścia w Wiśle. Na mapach i planach obie nazwy (Prądnik i Białucha) stosowane są równorzędnie. Główne dopływy to potoki: Garliczanka (Naramka), Bibiczanka, Sudoł i Sudoł Dominikański/Rozrywka.

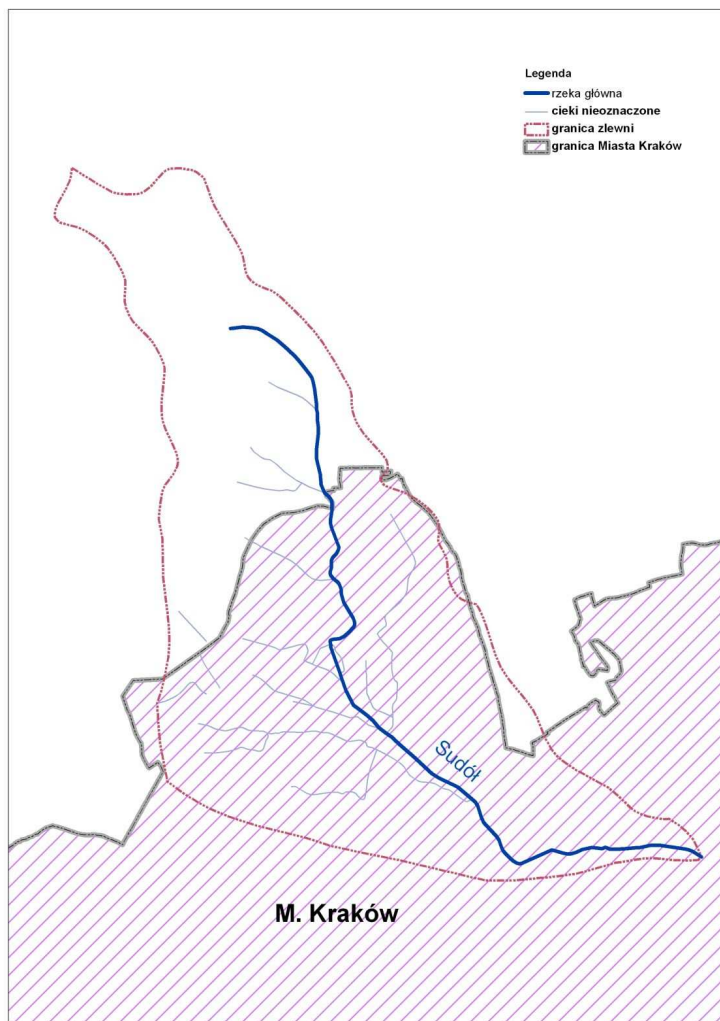


Rysunek 23 Zlewnia rzeki Prądnik/Białuchy.

9. Potok Sudół

Potok Sudół jest prawobrzeżnym dopływem Prądnika/Białuchy. Długość potoku równa jest 8,84 km, natomiast powierzchnia zlewni wynosi 18,04 km². Źródło potoku znajduje się na terenie Modlnicy na wysokości około 290 m n.p.m. Zlewnia Sudółu położona jest na terenie gminy Wielka Wieś, Zielonki i Kraków. Od źródła Sudół płynie w kierunku południowym i południowo – wschodnim poprzez obszary tj. Giebułtów i Tonie a następnie przez Kraków. Poniżej os. Łokietka w okolicy ul. Opolskiej potok Sudół został spiętrzony, dzięki czemu mogą bytować w nim ryby. Dalej Sudół płynie równoległe do ul. Opolskiej, a ujście do Białuchy znajduje za Dworkiem Białoprądnickim w Krakowie. Podczas dłuższych okresów bezdeszczowych potok wysycha na długości ostatniego kilometra.

Tereny po zachodniej stronie granicy os. Łokietka pokryte są gęstą siecią drobnych cieków, pogłębionych w sposób sztuczny i stanowiących część systemu melioracyjnego, którego głównym recypientem jest w tej części miasta Sudół. Tereny zielone położone wzdłuż potoku Sudół w granicach miasta pełnią funkcje układu wentylacyjnego dla miasta – naturalnego elementu modyfikującego klimat Krakowa.

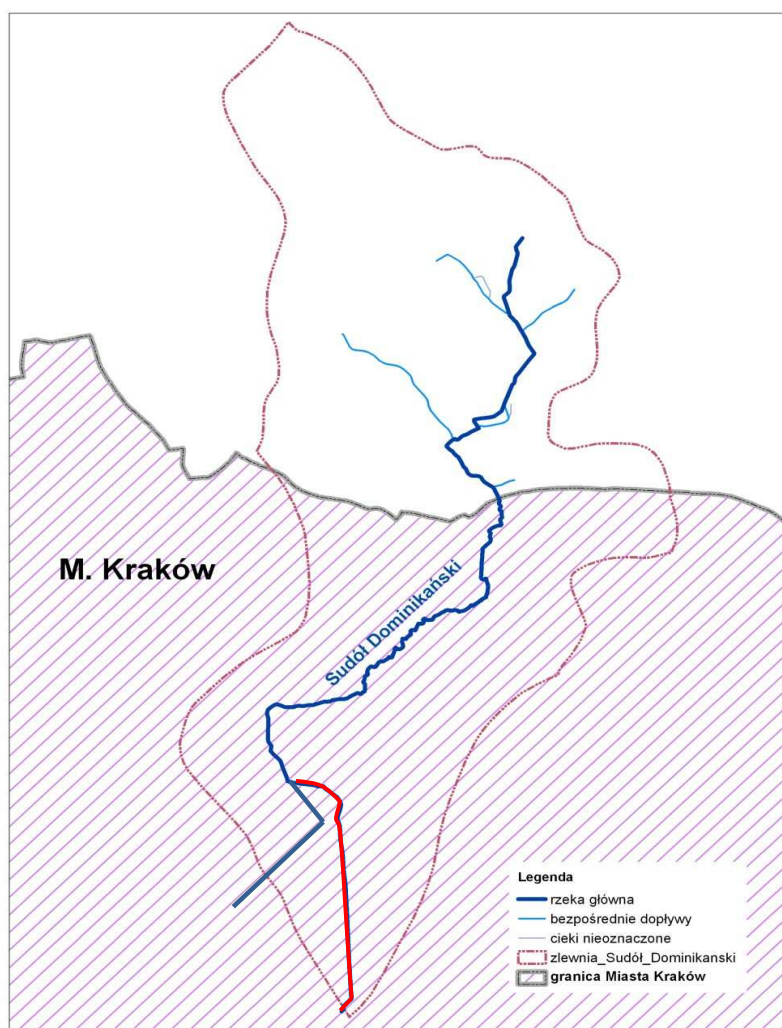


Rysunek 24 Zlewnia Potoku Sudół.

10. Potok Sudół Dominikański/Rozrywka

Sudół Dominikański/Rozrywka jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Prądnik/Białucha. Długość potoku wynosi około 9,3 km, natomiast powierzchnia zlewni równa jest 16,4 km². Źródła potoku znajdują się w Bosutowie. Dalej koryto płynie przez Dziekanowice, Batowice, mija od tyłu Cmentarz Batowicki, a następnie od wchodu pojawia się na Czerwonym Prądniku. W pobliżu zbiegu ul. Majora i Dobrego Pasterza wpływa do przepustu. Wypływa między ul. Dobrego Pasterza i Lublańską. Tam dawniej Sudół Dominikański/Rozrywka łączył się z wodami Młynówki. Dalej od ul. Lublańskiej do ujścia, naturalne koryto zostało zlikwidowane, a potok został skierowany do kolektora. Spowodowane to było rozbudową osiedli mieszkaniowych na terenie Olszy. Ujście potoku znajduje się w rejonie ul. Brodowicza.

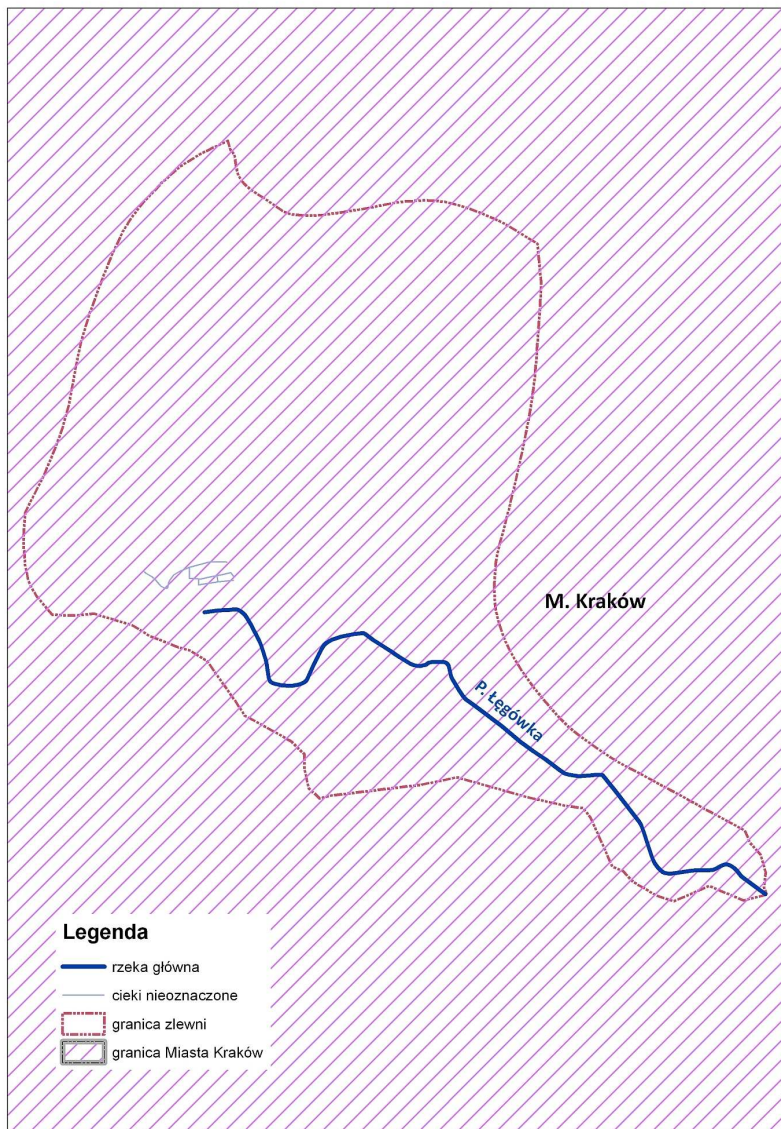
Przebieg potoku Sudół Dominikański/Rozrywka przedstawiony jest zgodnie z „Mapą podziału hydrograficznego Polski”. Nie jest to rzeczywisty przebieg potoku. Potok od rejonu ronda Polsadu jest zarurowany i biegnie wzdłuż ul. Młyńskiej i ul. Pilotów. Wylot do rzeki Prądnik (Białucha) przy moście w rejonie ul. Olszyny (kolorem czerwonym oznaczono stary przebieg, niebieskim odcinek zarurowany).



Rysunek 25 Zlewnia Potoku Sudół Dominikański/Rozrywka.

11. Potok Łęgówka

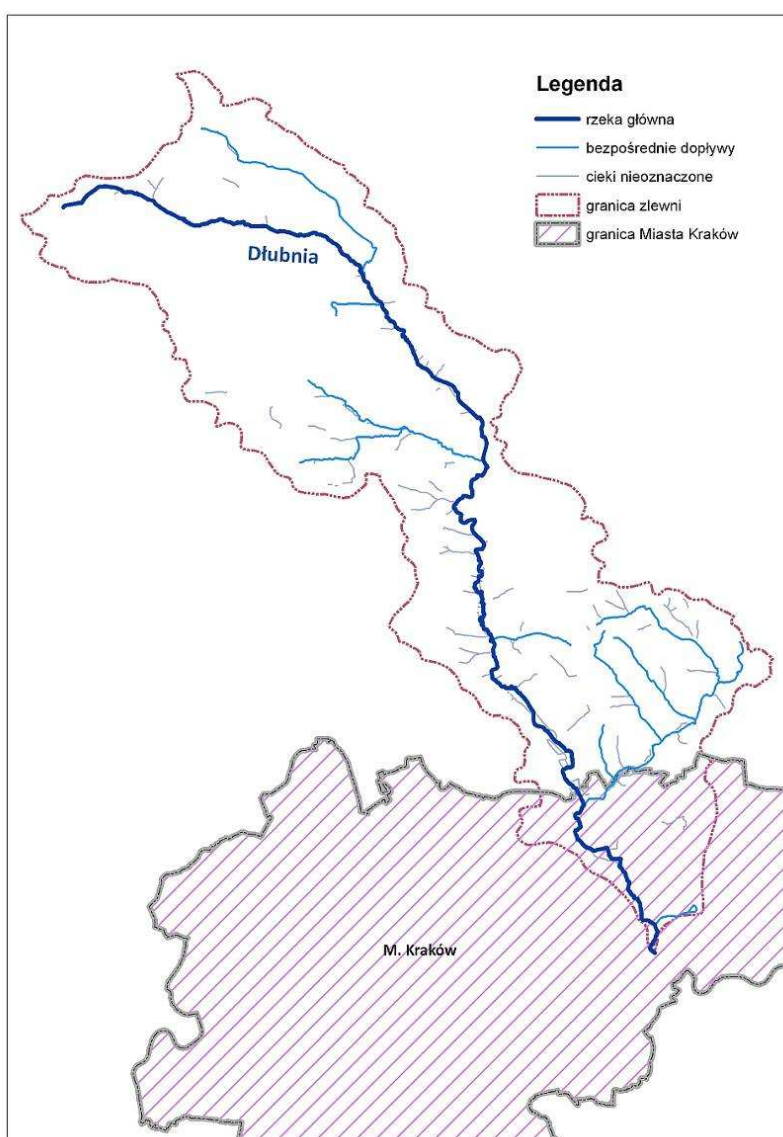
Potok Łęgówka jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Wisły. Potok ten przepływa przez osiedle Łęg w Krakowie. Długość Potoku Łęgówka wynosi 4,7 km a powierzchnia zlewni równa jest 9,9 km².



Rysunek 26 Zlewnia potoku Łęgówka.

12. Dłubnia

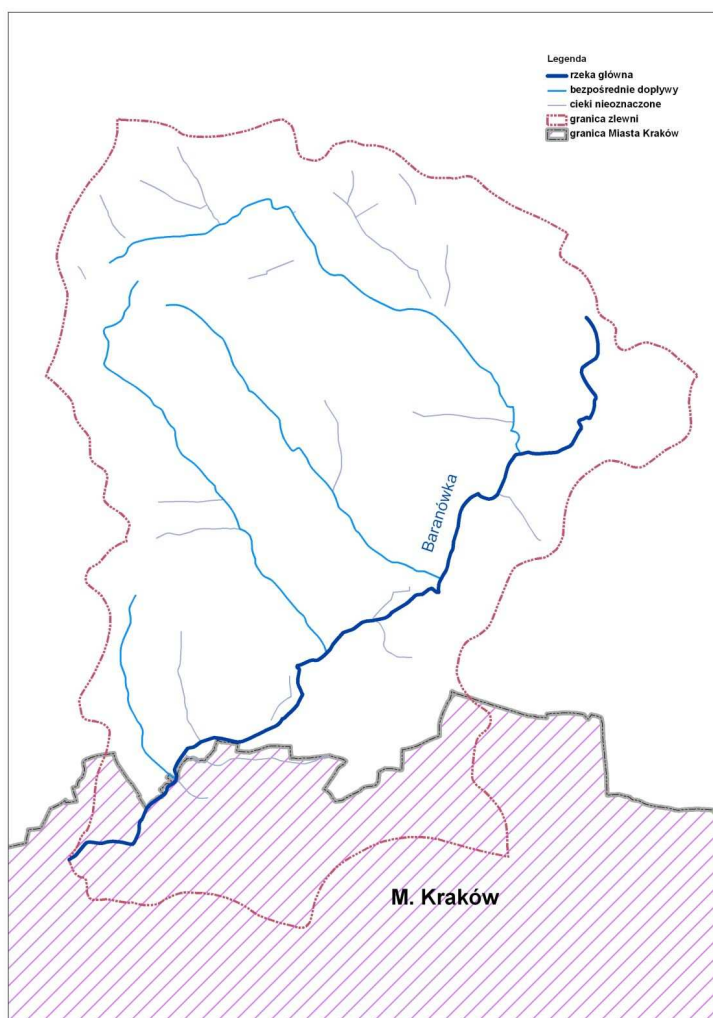
Dłubnia (Glanówka, Gorąca) jest lewobrzeżnym dopływem Wisły o długości 49,2 km i powierzchni zlewni 284,6 km². Rzeką wypływa ze źródła we wsi Jangrot, na wschód od Olkusza na wys. 432,00 m n.p.m. płynąc przez Wyżynę Olkuską, Wyżynę Miechowską, Płaskowyż Proszowski do Doliny Nadwiślańskiej, w województwie małopolskim. Główne jej dopływy to Luborzycki Potok, Baranówka i Minóżka. Ważniejsze miejscowości nad Dłubnią to: Imbramowice, Wysocice, Sieciechowice, Michałowice, Raciborowice, Batowice oraz wsie wchłonięte obecnie przez Kraków: Dłubnia, Bieńczyce, Krzesławice, Mogiła. Rzeką ta stanowi jedno ze źródeł wody używanej do celów komunalnych. Dłubnia uchodzi do Wisły w rejonie Nowej Huty w km 89+400 rzeki Wisły (wg IMGW) na wysokości 196,00 m n.p.m. Średni spadek cieków wynosi 4,8 ‰.



Rysunek 27 Zlewnia rzeki Dłubni

13. Potok Baranówka

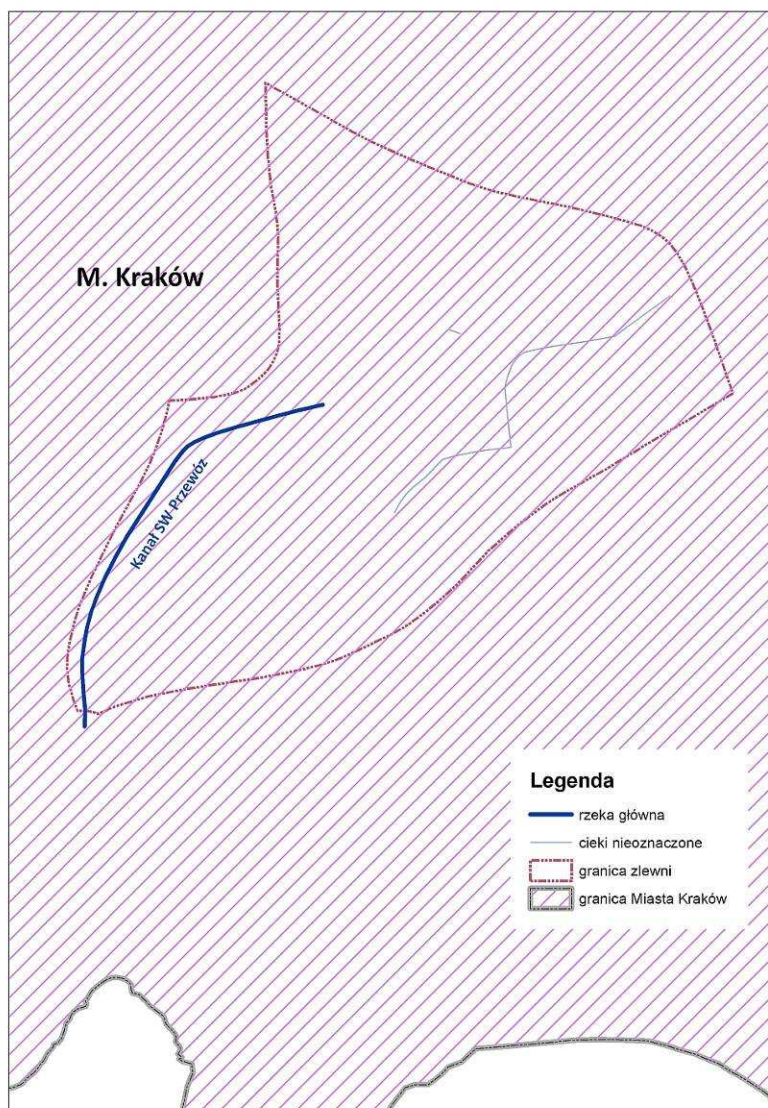
Potok Baranówka zwana również potokiem Luborzyckim, jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Dłubni i uchodzi do niej w km 8,4. Długość potoku wynosi około 10,47 km, natomiast powierzchnia zlewni równa jest 44,32 km². Źródło Baranówki znajduje się w miejscowości Sieborowice. Od źródeł Baranówka płynie w kierunku wschodnim zatacza półkole i uchodzi do Dłubni od północnego wschodu. Do głównych dopływów Baranówki należą: Dopływ z Raciborowic, Przęzna, Rzeka i Zjawienie. Zlewnia Baranówki leży na obszarze Wyżyny Miechowskiej. Ma ona charakter lekko sfalowanej wyżyny o łagodnych stokach bez wąwozów. Potok Baranówka płynie m.in. przez sołectwo Baranówka należące administracyjnie do gminy Kocmyrzów – Luborzyca. Dla opisanych powyżej zlewni głównych dopływów rzeki Wisły na jej odcinku znajdującym się w granicach administracyjnych miasta Krakowa zestawiono podstawowe informacje na temat najważniejszych ich dopływów oraz szczegółowej sieci cieków i rowów powierzchniowych – tabela poniżej. Informacje te stanowią w pewnym sensie uszczegółowienie informacji podanych w punkcie II. 1. a). Szczegółowa sieć cieków i rowów powierzchniowych obejmuje mniej istotne dopływy, a także elementy sieci melioracyjnych – nie zawsze bezpośrednio powiązane z głównymi odbiornikami.



Rysunek 28 Zlewnia Potoku Baranówka

14. Kanał SW Przewóz

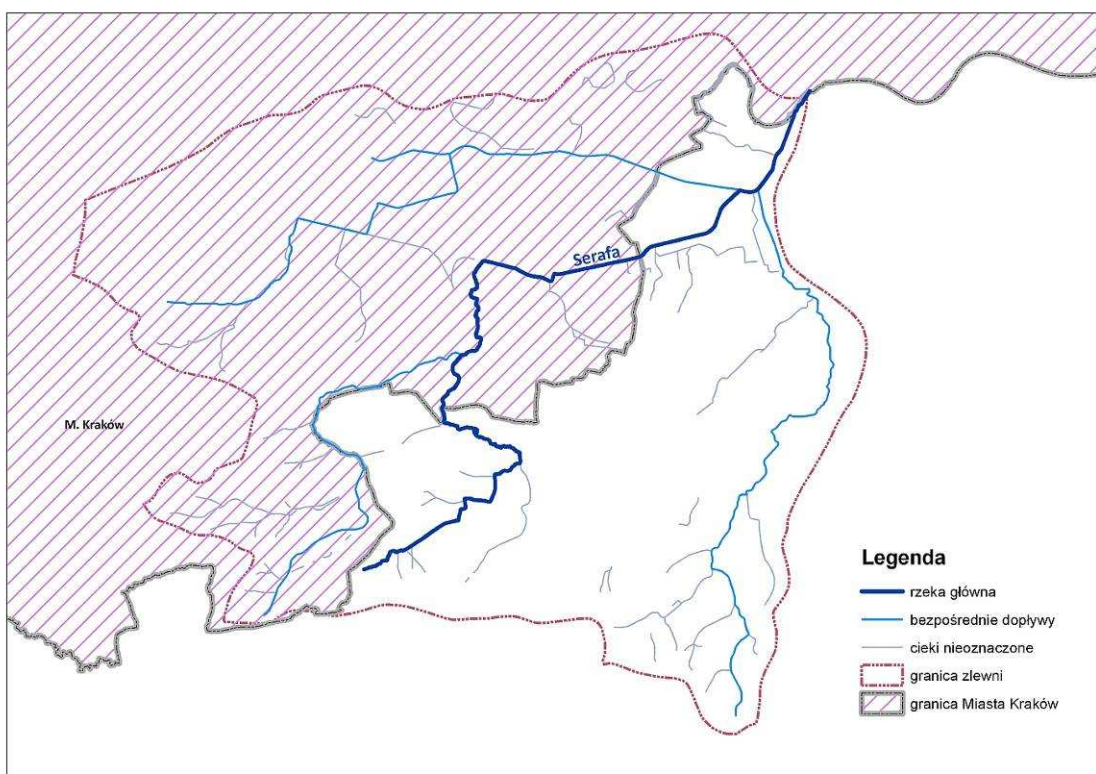
Kanał Stopnia Wodnego Przewóz jest lewobrzeżnym dopływem Wisły. Długość Kanału wynosi 1,65 km natomiast powierzchnia zlewni równa jest 2,82 km².



Rysunek 29 Zlewnia Kanału Stopnia Wodnego Przewóz.

15. Serafa

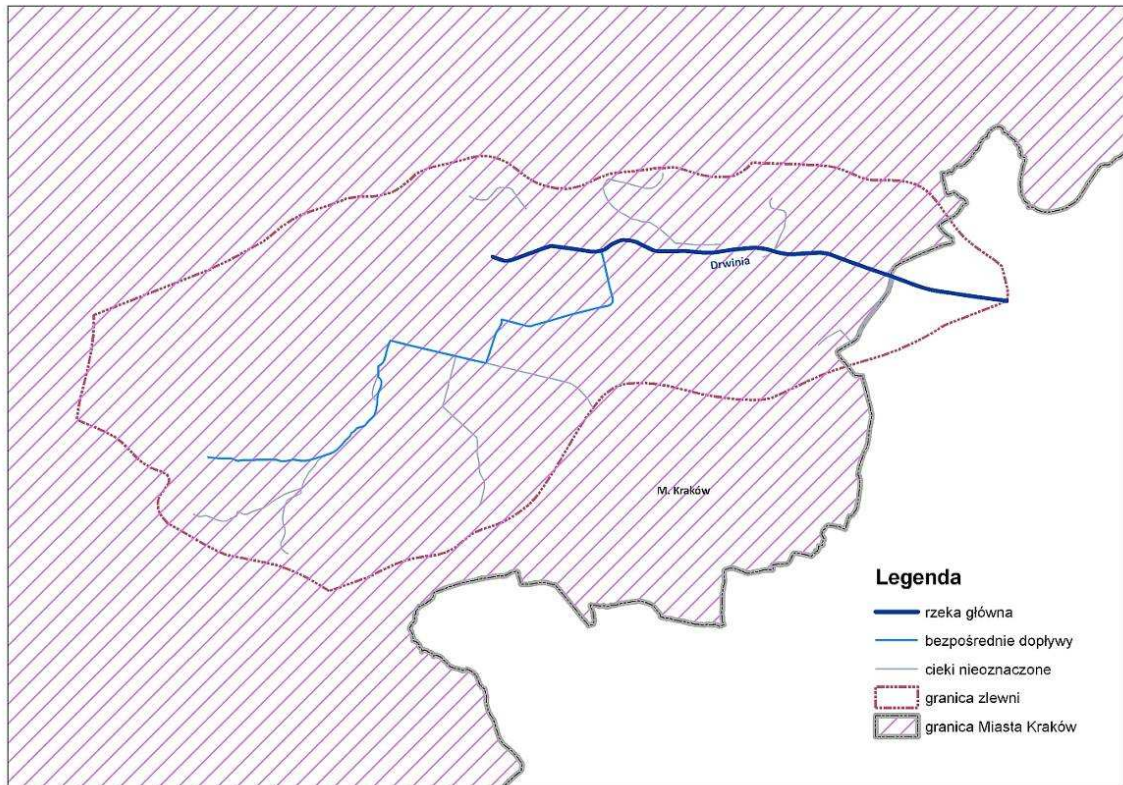
Serafa jest prawobrzeżnym dopływem Wisły. Długość rzeki wynosi 12,7 km, powierzchnia zlewni 72,3 km². Wypływa z północnych stoków Pogórza Wielickiego koło miejscowości Koszutka ze źródeł położonych na wysokości 300,00 m n.p.m. Serafa przepływa przez Wieliczkę, Bogucice a następnie Kraków (dzielnica Bieżanów) uchodząc do Wisły w km 93+500 (wg IMGW) na wys. 195,00 m n.p.m. Średni jej spadek wynosi 8,4 ‰. Główne dopływy Serafy to: Drwina Długa, Grabówka i Malinówka. Z uwagi na fakt, iż Drwina Długa jest odbiornikiem ścieków z oczyszczalni Kraków – Płaszów rzeka prowadzi wody pozaklasowe zarówno pod względem zanieczyszczenia fizykochemicznego, saprobowości jak i skażenia bakteriologicznego.



Rysunek 30 Zlewnia rzeki Serafy.

16. Drwinia (Drwinia Długa)

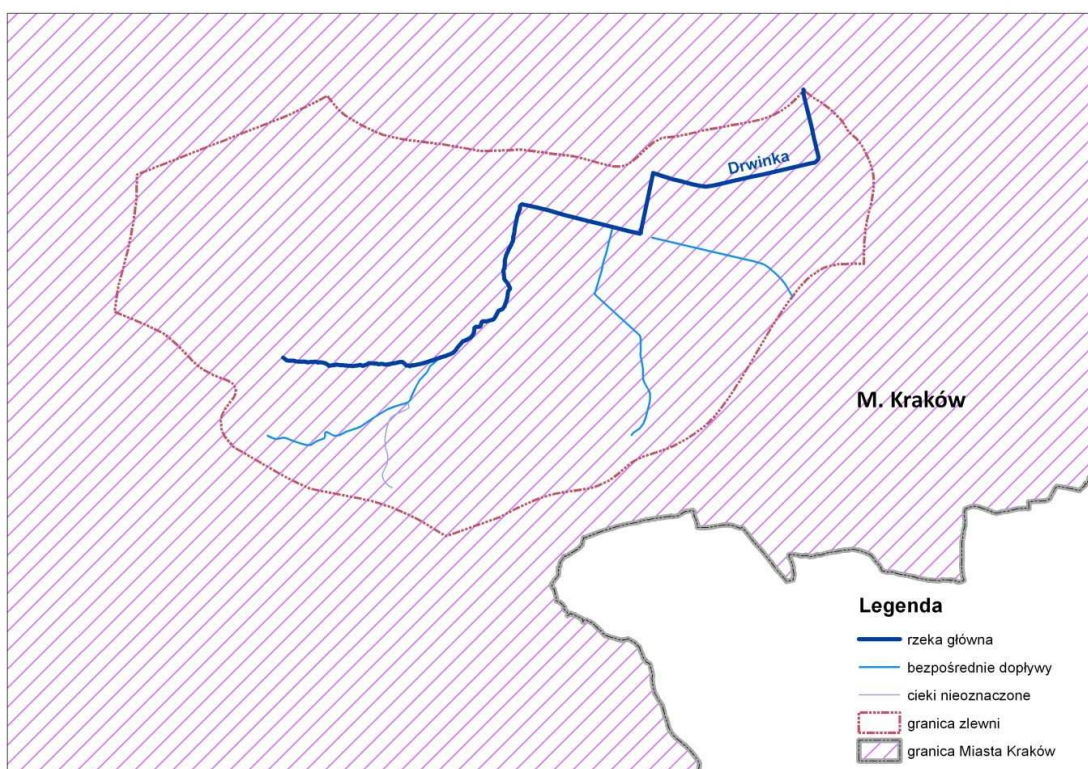
Drwinia Długa jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Serafa. Powierzchnia Drwini Długiej wynosi 24,6 km². Przepływa przez teren gminy Wieliczka. Długość rzeki równa jest 5,48 km. Drwinia Długa na całej swej długości jest obwałowana i płynie z okolic Płaszowa w kierunku wschodnim uchodząc do Serafy w okolicach obszaru Obrytki w Krakowie.



Rysunek 31 Zlewnia rzeki Drwinia Długa.

17. Drwinka

Drwinka jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Drwiny. Jej długość wynosi około 6,0 km, natomiast powierzchnia zlewni równa jest 13,6 km². Źródła Drwinki znajdują się niedaleko kościoła w Piaskach Nowych. W swym górnym biegu rzeka Drwinka płynie pomiędzy os. Kozłówek i Piaski Nowe stanowiąc ich naturalną granicę. Dalej przepływa przez Park Jerzmanowskich, Prokocim i Bieżanów. W okolicy ul. Nad Potokiem koryto rzeki zostało uregulowane poprzez płyty ażurowe. W rejonie ul. Seweryna Udzieli rzeka Drwinka wpływa pod tory kolejowe i przepływa na drugą stronę. Następnie płynąc w okolicy oczyszczalni ścieków wpada ona do rzeki Drwiny.

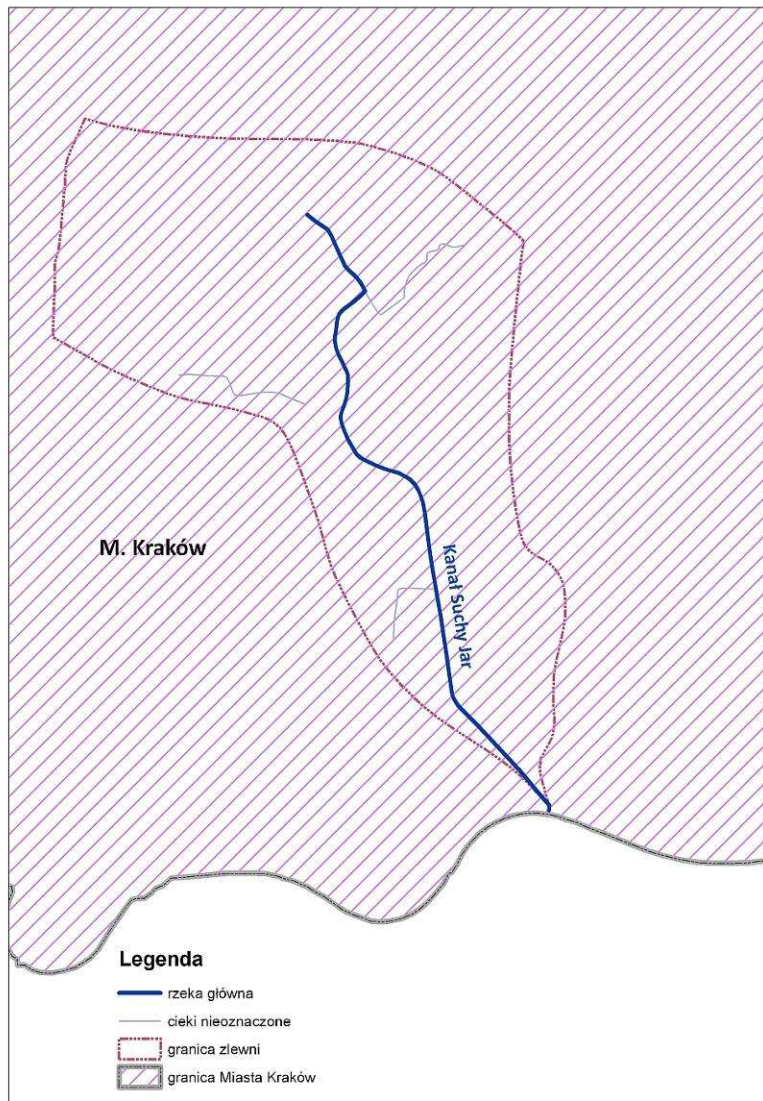


Rysunek 32 Zlewnia rzeki Drwinki.

.

18. Kanał Suchy Jar

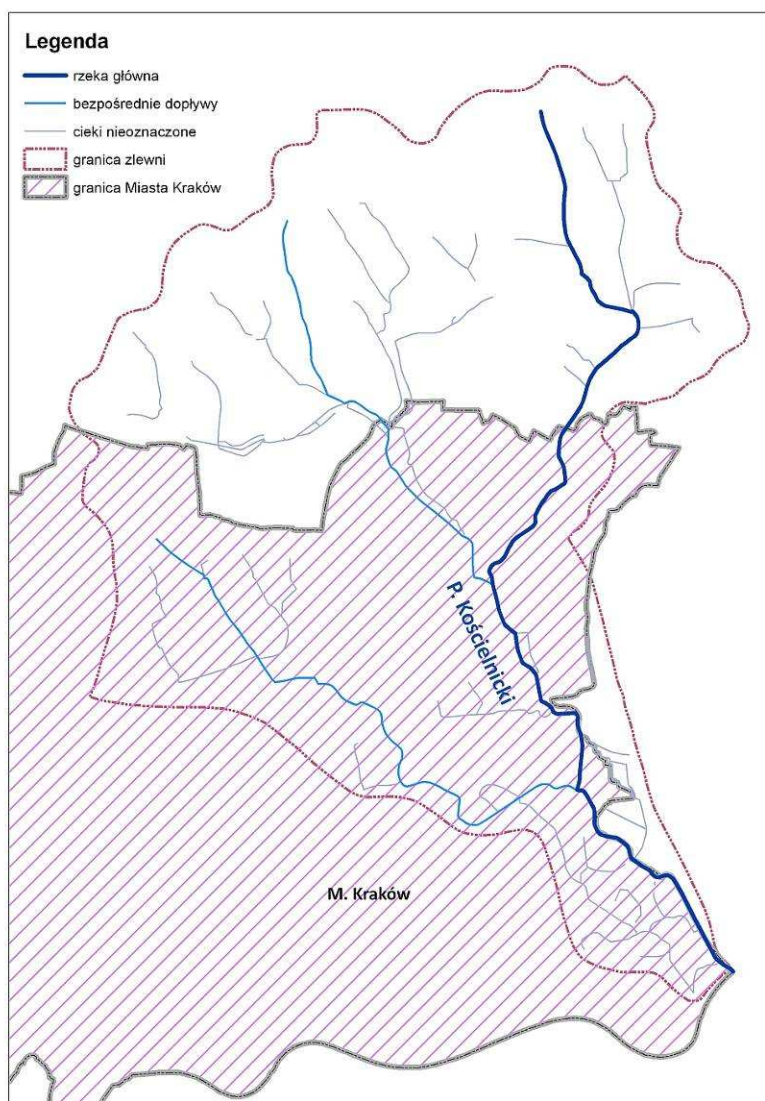
Kanał Suchy Jar jest lewobrzeżnym dopływem Wisły. Długość Kanału wynosi 4,68 km, natomiast powierzchnia zlewni równa jest 7,66 km². Kanał Suchy Jar biegnie poprzez zmeliorowany teren, na którym w przeszłości występowały łągi olchowo – jesionowe. Kanał Suchy Jar jest odbiornikiem oczyszczonych ścieków komunalnych z miasta Krakowa (dzielnicy Nowa Huta).



Rysunek 33 Zlewnia Kanału Suchy Jar.

19. Potok Kościelnicki

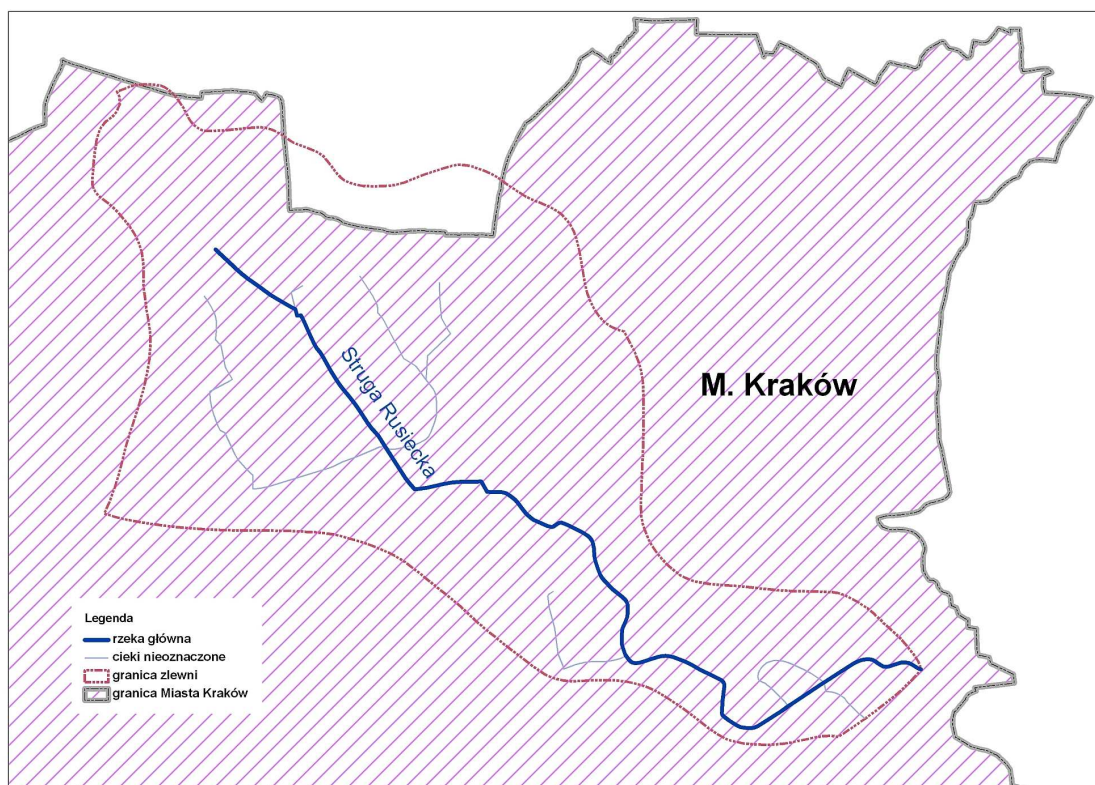
Potok Kościelnicki jest lewobrzeżnym dopływem rzeki Wisły. Do rzeki Wisły uchodzi w km 103,0 w miejscowości Wolica. Długość potoku równa jest 14,30 km, powierzchnia zlewni potoku wynosi około 62,5 km² i wypływa w pobliżu Wieliczki. Potok Kościelnicki odwadnia południową krawędź Płaskowyżu Proszowskiego przykrytego grubą warstwą lessu. Jednym z ważniejszych jego dopływów jest Potok Struga Rusiecka/Łucjanówka.



Rysunek 34 Zlewnia potoku Kościelnickiego.

20. Struga Rusiecka/Łucjanówka

Struga Rusiecka (Łucjanówka) jest prawobrzeżnym dopływem potoku Kościelnickiego. Długość tego potoku wynosi około 8 km, a jego zlewnia równa jest 15,2 km². Struga Rusiecka/Łucjanówka ma swój początek w pobliżu ul. Pankiewicza w okolicy parku w Łuczanowicach. Na terenie parku Łuczanowickiego występują dwa niewielkie zbiorniki wodne zasilane przez wody Strugi Rusieckiej. Potok ten jest pogłębiony w sposób sztuczny i stanowi część systemu melioracyjnego miasta Krakowa. W części południowej Struga Rusiecka/Łucjanówka odprowadza nadmiar wód opadowych z osiedla mieszkaniowego oraz z przyległych drenowanych łąk. Dalej w kierunku południowym odpływ wód zlewni Strugi Rusieckiej odbywa się podziemnym kanałem pod torami kolejowymi i prowadzi w kierunku Ruszczy i potoku Kościelnickiego. Struga Rusiecka/Łucjanówka przebiega przez obszary tj.: Łuczanowice, Wadów – Węgrzynowice, os. Wyciąże i Ruszcza. Z uwagi na niewielką odległość od Wisły ok. 1,5 km, ponad 70% obszaru znajduje się w strefie potencjalnego zagrożenia zalaniem wodami powodziowymi w przypadku przerwania lub przelania się wód przez wały przeciwpowodziowe.



Rysunek 35 Zlewnia Strugi Rusieckiej.

Tabela 2 Zestawienie długości i powierzchni cieków głównych, dopływów oraz szczegółowej sieci cieków i rowów w układzie zlewniowym.

L.p.	Ciek / Zlewnia	Długość cieków głównych	Długość głównych dopływów [km]	Długość szczegółowej sieci cieków i rowów	Powierzchnia zlewni [km ²]
1	Wisła	39.9	261.4	1054.0(*)	1333.0(**)
2	Sidzinka	8.5	0.0	13.7	11.9
3	Sanka	19.3	31.3	107.6	96.2
4	Pot. Kostrzecki	6.0	0.0	25.7	10.3
5	Pot. Pychowicki	5.2	0.0	9.3	5.4
6	Rudawa	36.2	115.7	216.6	319.4
7	Wilga	26.5	52.7	97.1	100.1
8	Prądnik/Białucha	36.3	44.6(***)	53.3(***)	193.1(***)
9	Sudół od Modlnicy	8.8	0.0	16.3	18.0
10	Sudół Dominikański /Rozrywka	9.2	3.2	0.4	16.4
11	Pot. Łęgówka	4.7	0.0	1.3	9.9
12	Dłubnia	51.2	61.7(***)	71.1(***)	284.6(***)
13	Baranówka	10.5	19.3	17.1	44.3
14	Kanał SW Przewóz	1.6	0.0	1.5	2.8
15	Serafa	14.0	27.9(***)	52.3(***)	72.3(***)
16	Drwinia	5.5	6.0(***)	10.9(***)	24.6(***)
17	Drwinka	6.0	4.9	0.8	13.6
18	Kanał Suchy Jar	4.7	0.0	2.5	7.7
19	Pot. Kościelnicki	14.3	14.1(***)	54.0(***)	62.5(***)
20	Struga Rusiecka/Łucjanówka	8.0	0.0	8.5	15.2

(*) – obejmuje zarówno główne dopływy do wyspecyfikowanych w tabeli dopływów Wisły jak również szczegółowe sieci cieków i rowów dla tych dopływów

(**) – wraz ze zlewniami elementarnymi

(***) – wraz ze zlewniami dopływów wyspecyfikowanych w tabeli

Tabela 3 Zestawienie długości i powierzchni cieków głównych, dopływów oraz szczegółowej sieci i cieków i rowów w układzie zlewniowym – znajdujących się w granicach administracyjnych miasta Krakowa.

L.p.	Ciek / Zlewnia	Długość cieków głównych [km]	Długość głównych dopływów [km]	Długość szczegółowej sieci cieków i rowów [km]	Powierzchnia zlewni [km ²]
1	Wisła	39.9	103.7	243.9(*)	323.6(**)
2	Sidzinka	6.8	0.0	13.2	10.6
3	Sanka	1.1	0.0	5.6	4.4
4	Pot. Kostrzecki	6.0	0.0	25.7	10.3
5	Pot. Pychowicki	5.2	0.0	9.3	5.4
6	Rudawa	7.7	3.4	17.5	25.2
7	Wilga	13.3	15.1	28.7	35.6
8	Prądnik/Białucha	9.7	15.9(***)	16.6(***)	31.1(***)
9	Sudół od Modlnicy	6.6	0.0	13.8	11.2
10	Sudół Dominikański/Rozrywka	6.3	0.0	0.0	8.0
11	Pot. Łęgówka	4.7	0.0	1.3	9.9
12	Dłubnia	9.1	4.0(***)	7.1(***)	28.8(***)
13	Baranówka	1.7	0.0	2.2	6.6
14	Kanał SW Przewóz	1.6	0.0	1.5	2.8
15	Serafa	5.2	16.1(***)	26.3(***)	38.9(***)
16	Drwinia	4.3	6.0(***)	10.9(***)	23.4(***)
17	Drwinka	6.0	4.9	0.8	13.6
18	Kanał Suchy Jar	4.7	0.0	2.5	7.7
19	Pot. Kościelnicki	8.0	10.9(***)	23.2(***)	29.9(***)
20	Struga Rusiecka/Łucianówka	8.0	0.0	8.5	14.5

(*) – obejmuje zarówno główne dopływy do wyspecyfikowanych w tabeli dopływów Wisły jak również szczegółowe sieci cieków i rowów dla tych dopływów

(**) – wraz ze zlewniami elementarnymi (powierzchnia samej zlewni różnicowej rzeki Wisły w obszarze miasta Krakowa wynosi 83.2 km²)

(***) – wraz ze zlewniami dopływów wyspecyfikowanych w tabeli

2.2.3 Konflikty i zagrożenia w układzie hierarchii ich poziomu istotności.

Określając zagrożenia związane z ryzykiem podtopienia części miasta Krakowa możemy wydzielić kilka ich typów:

- awaria obwałowania spowodowana przelaniem się wody przez koronę lub złym stanem technicznym;
- podtopienia spowodowane odcięciem spływu wód w wyniku zamknięcia śluz wałowych;
- podtopienia spowodowane zamknięciem przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej;
- podtopienia spowodowane niewystarczającą przepustowością odbiorników wód opadowych;
- podtopienia na obszarach bezodpływowych;
- podtopienia związane ze zbyt małą średnicą kolektorów deszczowych.

W zależności od wielkości wezbrania wystąpić mogą wszystkie z ww. zagrożeń lub jedynie kilka z nich.

W przypadku krótkotrwałych nawałnych opadów deszczu o wysokim natężeniu (trwających od kilkudziesięciu minut do kilku godzin) występują niewielkie wzrosty stanów na Wiśle i jej głównych dopływach, główną natomiast przyczyną zagrożenia powodziowego są podtopienia związane ze zbyt małą średnicą kolektorów deszczowych oraz podtopieniem obszarów bezodpływowych. W przypadku takich zjawisk atmosferycznych następuje również błyskawiczny wzrost stanów wody w rowach a w przypadku, gdy mamy do czynienia ze zmniejszoną ich przepustowością pojawia się również zagrożenie zalania terenów przyległych. W przypadku wezbrań rozlewnych, o mniej intensywnym natężeniu deszczu, a znacznie dłuższym czasie trwania (od jednego do kilku-, kilkunastu dni) następuje stopniowy wzrost stanów na większych ciekach (np. Rudawa, Wilga) a w przypadku opadów obejmujących górną część dorzecza górnej Wisły wzrasta poziom na samej Wiśle. W takim przypadku, po przekroczeniu stanu brzegowego i dalszym wzroście stanów na rzece Wiśle następuje odcięcie spływu wód do odbiornika na skutek zamknięcia śluz wałowych. Dalsze wzrosty stanów wody i stopniowe uwodnienie korpusu obwałowań może, w przypadku ich złego stanu technicznego, doprowadzić do przebicia hydraulicznego, a w konsekwencji do przerwania i zalania znacznych obszarów chronionych. Najbardziej brzemienym w skutkach przypadkiem może być przelanie wody przez korpus wału przeciwpowodziowego i w konsekwencji jego rozmycie.

Niezależnie od typów zagrożeń należy pamiętać o fakcie, iż z ochroną przeciwpowodziową związany jest szereg konfliktów wielu, często wykluczających się nawzajem, interesów związanych z postępującą urbanizacją obszaru miasta i wynikającym z tego faktem poszukiwaniem terenów pod nowe inwestycje zarówno gabarytowe jak i liniowe, zapewnieniem terenów pod rekreację, koniecznością realizacji inwestycji związanych z gospodarką wodną (w szczególności ochroną przeciwpowodziową) oraz zachowaniem walorów przyrodniczych obszarów przyległych do cieków wodnych. Niezwykle istotnym jest więc zapewnienie zrównoważonego rozwoju miasta przy jednoczesnym założeniu celów nadrzędnych, których podstawą jest zapewnienie bezpieczeństwa życia i zdrowia mieszkańców. Jednym z nich jest właśnie poprawa ochrony przeciwpowodziowej miasta Krakowa. Niniejsza koncepcja ma właśnie na celu

wskazanie kierunków poprawy zagrożenia powodziowego w najbliższych latach z jednoczesnym uwzględnieniem innych aspektów zrównoważonego rozwoju.

Biorąc pod uwagę powyższe zależności i wynikające z nich konflikty nie da się jednoznacznie określić hierarchii poziomu ich istotności. Można jedynie próbować wyodrębnić ich typy ze względu na genezę zagrożeń powodziowych. Złożona struktura hydrograficzna głównych dopływów Wisły wraz ze szczegółową siecią cieków i rowów powierzchniowych, a także rozległość i urozmaiconą konfiguracją terenu na obszarze miasta Krakowa, w kontekście zróżnicowań reżimu hydrologicznego zjawisk powodziowych, powoduje, iż nie jest możliwe zdefiniowanie jednej – odnoszącej się równocześnie do wszystkich pojawiających się na obszarze miasta form wezbrań – hierarchii poziomu istotności zagrożeń. Należy tutaj mieć na uwadze, że każde wezbranie czy powódź ma nieco inny charakter i przebieg, a także różni się swym zasięgiem obszarowym. Inny, bowiem będzie rodzaj konfliktów i zagrożeń w przypadku wystąpienia fali na Wiśle o wysokiej i długotrwałej kulminacji, inny w przypadku, gdy kulminacja ta będzie trwała krótko, a jeszcze inny, gdy powódź spowodowana będzie lokalnymi opadami o dużej intensywności.

W pierwszym przypadku zakres głównych zagrożeń będzie najbardziej obszerny. Obejmować on będzie zarówno zagrożenia wynikające z faktu utrzymywania się wysokich stanów wody w korycie Wisły i jej głównych dopływów, mogący skutkować przesiąkami lub przerwaniami wałów wskutek namoknięcia ich korpusu, a w krytycznej sytuacji nawet przelaniem wody przez ich koronę, jak również te zagrożenia, które wynikają bezpośrednio z odcięcia odpływu z sieci kanalizacji opadowej w miejscu ujścia odbiorników do Wisły lub do ich dopływów w odcinkach ujściowych (obwałowania cofkowe Wisły), wskutek zamknięcia klap na śluzach wałowych. Zagrożenia te będą występować równolegle a swym zasięgiem obejmą znaczne obszary miasta.

W drugim przypadku, główne zagrożenia i związane z nimi konflikty dotyczyć będą przede wszystkim samych wałów przeciwpowodziowych, tzn. ryzyka przelania się wody przez koronę wału (w przypadku ekstremalnie wysokiej kulminacji na Wiśle) oraz możliwości ich rozmycia lub lokalnego przerwania. Zagrożenia wynikające z pracy sieci kanalizacyjnej będą miały charakter bardziej lokalny, zaś czas ich trwania będzie krótszy.

W przypadku wystąpienia na obszarze miasta Krakowa krótkotrwałych i intensywnych opadów o charakterze burzowym, zagrożenia spowodowane będą w głównej mierze niedrożnością sieci kanalizacji opadowej lub ogólnospławnej, a także formowaniem się fal wezbraniowych na dopływach Wisły. Zagrożenia te będą miały charakter lokalny – uzależniony przede wszystkim od rozkładu opadów nad obszarem miasta oraz struktury sieci rzecznej w zlewniach, w których wystąpił taki opad.

Analizując występujące w ostatnich latach zagrożenia powodziowe określić można następujące działania zapobiegawcze odnoszące się do wyżej wymienionych zagrożeń:

1. Dokończenie budowy zbiornika wodnego Świnna Poręba na rzece Skawie w celu redukcji fali wezbraniowej na Wiśle w Krakowie.
2. Dokończenie procesu modernizacji obwałowań rzeki Wisły – na odcinku od stopnia wodnego Kościuszkę do stopnia Dąbie oraz od stopnia Dąbie do stopnia Przewóz, a także poniżej – do rejonu ujścia potoku Kościelnickiego (włącznie z obwałowaniami cofkowymi Kanału Suchy Jar – w miejscach, gdzie w czasie powodzi w 2010r. doszło do przesiąków).

3. Budowa systemu pompowni (stałych i mobilnych) umożliwiających odpompowywanie wód z zawała.
4. Zwiększenie zdolności retencyjnych sieci kanalizacyjnej.
5. Stworzenie automatycznego systemu sterowania klapami przelewów burzowych.
6. Budowa zbiorników małej retencji w celu przejęcia części wód opadowych z mniejszych cieków i rowów.
7. Zwiększenie przepustowości cieków wodnych powodujących częste podtopienia (przede wszystkim Serafa, Wilga, Sidzinka, Potok Kostrzecki, Sudół Dominikański/Rozrywka, Struga Rusiecka/Łucjanówka).
8. Opracowanie zintegrowanego planu operacyjnego dla zabezpieczenia wszystkich jednostek pływających na terenie miasta Krakowa w celu przeciwdziałania możliwości niekontrolowanego ich spływu i możliwości uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych lub mostowych.
9. Stworzenie portalu internetowego bazującego na technologii GIS, na którym prezentowane będą aktualne informacje nt. zagrożenia powodziowego w mieście – w tym zamknięte drogi, mosty obszary podtopione, zagrożone odcinki obwałowań.

2.2.4 Zrealizowane działania operacyjne ze wskazaniem poziomu ich ważności.

Poniżej zestawiono najważniejsze działania podjęte podczas ostatniego, największego wezbrania powodziowego, jakie wystąpiło na obszarze miasta Krakowa w miesiącu maju 2010 roku, przyporządkowując im odpowiednie poziomy ważności. Skala podjętych działań operacyjnych podczas majowej powodzi wykraczała znacząco poza zakres podobnych działań, podejmowanych podczas powodzi w poprzednich latach (1997, 2001).

Tabela 4 Najważniejsze działania operacyjne podjęte podczas powodzi w 2010 roku.

Poziom ważności	Data podjęcia działań	Skrócony opis działania
I	19.05.2010	Przerwanie wału w rejonie ul. Na Zakolu Wisły - wyrwa o długości 10 m i głębokości ok. 5 m. Ewakuowano osoby przebywające w obiektach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie przerwanego wału – w budynkach zlokalizowanych przy ul. Na Zakolu Wisły oraz na terenie ogródków działkowych. Wyrwa została uszczelniona o godz. 15:00 przy pomocy elementów betonowych (separatory drogowe), worków z piaskiem oraz żużlem. Doszczelnienie i umacnianie wału trwało do godz. 20:30. W czasie trwania akcji zarządzono ewakuację następujących ulic: Nowohucka (od Saskiej do mostu Nowohuckiego), Koszykarska, Saska (od Nowohuckiej do Myśliwskiej), Turka, Za Dworze, Gumniska, Lasówka, częściowo

		<p>Myśliwska.</p> <p>Z rejonów zalewowych wywieziono ok. 300 osób.</p>
II	19.05.2010	<p>Rozwarstwienie wału w rejonie ul. Wioślarskiej na odcinku o długości około 50 m.</p> <p>W akcji stabilizacji korpusu brało udział ok. 400 osób, m.in. wojsko, straż pożarna, wolontariusze, więźniowie, pracownicy MZMiUW, ZIKiT oraz geodeci. W godzinach przedpołudniowych, w związku z zagrożeniem ze strony rozwarstwowanego wału, ewakuowano zwierzęta ze Schroniska dla bezdomnych zwierząt przy ulicy Rybnej. Zabezpieczono również pomieszczenia biurowe i gabinet weterynaryjny. Akcję stabilizacji skarpy wału zakończono ok. godz. 1:00 w dniu 20 maja 2010r. Do stabilizacji korpusu wału zużyto m.in. 47 tys. worków z piaskiem (dla porównania podczas powodzi 1997r. zużyto 50 tys. worków do obrony całego miasta).</p>
III	17.05.2010 – 22.05.2010	<p>Ochrona przed zalewaniem obiektów kombinatu Arcelor Mittal Kraków oraz osiedli Chałupki, Branice i Holendry.</p> <p>Akcją ratowniczą bezpośrednio kierowali pracownicy ArcelorMittal. Zaangażowano około 60 pracowników w każdej zmianie oraz miejscową ludność do obrony przeciekających wałów i szczególnie zagrożonych wałów kanału Suchy Jar, kanału portowego oraz wałów rzeki Dłubni. Zużyto 200 ton piasku, 30 ton żużla i 10 tys. sztuk worków. Ochroniano obiekty kombinatu ArcelorMittal i okolicznych mieszkańców przed skutkami ewentualnego przerwania wałów przeciwpowodziowych.</p>
IV	19.05.2010	<p>Niebezpieczeństwo obsunięcia skarpy odpowietrznej wału w Tyńcu przy ul. Promowej.</p> <p>Podjęto działania związane z zabezpieczeniem wału. Na miejsce skierowano 20 żołnierzy i 50 strażaków oraz transport worków i piasku. Wał zabezpieczono około godz. 20:00.</p>

Oprócz wymienionych wyżej, najbardziej istotnych z punktu widzenia ograniczenia zagrożenia powodziowego oraz zabezpieczenia życia i mienia ludności, działań w czasie przejścia fali powodziowej w maju 2010r. na obszarze miasta Krakowa realizowano wiele interwencji związanych z występującymi podtopieniami w rejonach łącznie około 60 ulic. Oprócz wymienionych w tabeli interwencji związanych z obroną wałów wiślanych i podtopieniami w pobliżu tych wałów prowadzono akcję przeciwpowodziową obszarach oddalonych od Wisły. Związane one były głównie z wylewami rzeki Serafy, Wilgi, a także potoków: Struga Rusiecka/Łucjanówka (dopływ Pot. Kościelnickiego), Sidzinka, Sudół Dominikański/Rozrywka.

W toku prowadzonych działań przeciwpowodziowych wprowadzono wiele ograniczeń i zmian w organizacji komunikacji miejskiej na obszarze miasta Krakowa.

Czasowo zamknięto także ruch na mostach: Dębnickim, Nowohuckim i na stopniu wodnym Dąbie.

W toku akcji prowadzonej w dniach 16-23 maja 2010r. z zasobów Miejskiego Magazynu Przeciwpowodziowego wydano łącznie 219 tys. worków z piaskiem dla umacniania wałów. Ogółem w toku akcji ratowniczej zużyto ich ponad 300 tys., tj. 6-krotnie więcej niż w czasie powodzi z 1997r. Z miejskiego magazynu wydano ponadto 1 758 m³ piasku, pompy o sumarycznej wydajności 1000 l/s oraz inny sprzęt niezbędny do prowadzenia akcji.

2.2.5 Ocena na podstawie dostępnych materiałów i opracowań, przepustowości obecnego systemu odwodnienia.

2.2.5.1 Przepustowość koryt cieków.

Przepustowość koryta określa maksymalny bezpieczny przepływ, który może zostać przeprowadzony przez ciek lub urządzenie wodne np. rów, bez strat na terenach przyległych i jest zarazem najmniejszą wartością przepływu określoną dla analizowanego odcinka ciek lub rowu. Informacje na temat przepustowości mają istotne znaczenie dla planowania działań zmierzających do minimalizacji zagrożenia powodziowego. W przypadku cieków obwałowanych, informacją istotną z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej jest nie tyle sama wartość przepływu, który pomieści koryto ciek, a wartość przepływu, przy której dojdzie do przelania się wody przez koronę obwałowania.

Analizując sieć odbiorników wód opadowych na obszarze miasta Krakowa, można zauważyć zarówno odcinki obwałowane jak i pozbawione wałów przeciwpowodziowych. Największym ciekim wodnym w mieście i jednocześnie całkowicie obwałowanym w rejonie Krakowa jest rzeka Wisła. Obwałowane są również ujściowe odcinki jej głównych dopływów, chroniące tereny przyległe przed wpływem cofki wiślanej. Dodatkowo, z niewielkimi obwałowaniami (które nie spełniają parametrów technicznych stawianym tego typu budowlom) mamy do czynienia w rejonie ul. Półłanki w Starym Bieżanowie, gdzie częste wylewy rzeki Serafa doprowadziły do próby ograniczenia zagrożenia powodziowego ze strony tego ciek za pomocą niewielkich obwałowań. Jak pokazały doświadczenia z 2010r., tego typu działania nie przyniosły jednak oczekiwanych przez autorów projektu skutków. Pozostałe odcinki cieków i rowów na terenie miasta Krakowa nie są chronione wałami przeciwpowodziowymi.

Z uwagi na częste wezbrania i podtopienia występujące na obszarze miasta Krakowa, temat związany z wyznaczeniem przepustowości międzywała rzeki Wisły, jako głównego ciek stanowiącego jednocześnie zagrożenie powodziowe o największym natężeniu, przewija się przez szereg opracowań studyjnych realizowanych na zlecenie różnych instytucji zarówno rządowych jak i samorządowych związanych z ochroną przeciwpowodziową. W świetle najnowszych tego typu opracowań maksymalny przepływ niezagrażający miastu jest szacowany na ok. 2800 m³/s i odpowiada w przybliżeniu „wodzie dwustuletniej” (Q_{0,5%}). Potwierdzeniem tych obliczeń może być powódź z maja 2010r., gdzie przy przepływach rzędu 2480 m³/s (a więc odpowiadających ok.Q_{1%}), nigdzie na obszarze miasta nie nastąpiło przelanie się wód powodziowych przez koronę obwałowań. Należy tutaj zaznaczyć, iż z uwagi na konieczność ochrony miasta wpisanego na listę światowego dziedzictwa kultury UNESCO, niezwykle mocno zainwestowanego

i zamieszkałego, docelowa ochrona przed powodzią ustalona została na możliwość bezpiecznego przepuszczenia rzeką Wisłą wody tysiącletniej ($Q_{0,1\%}$).

Analiza przepustowości głównych dopływów rzeki Wisły a zarazem odbiorników wód opadowych w mieście, wskazuje na konieczność zwiększenia przepustowości większości z tych cieków. Wartości minimalnych przepływów niepowodujących jednocześnie podtopień terenów zurbanizowanych określono następująco:

- Rudawa - $153 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Wilga - $41 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Prądnik/Białucha - $25 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Dłubnia - $29 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Serafa - $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Spośród wymienionych powyżej cieków, jedynie rzeka Rudawa w granicach miasta Krakowa jest w stanie przepuścić wodę tysiącletnią bez stwarzania realnego zagrożenia powodziowego. W przypadku pozostałych czterech dopływów konieczne jest zwiększenie ich przepustowości poprzez prace związane z udrożnieniem koryt, sukcesywnie zamulanych i zarastanych w ostatnich latach, zwiększanie retencji dolinowej lub budowę systemu małych suchych zbiorników retencyjnych. Niezwykle istotnym działaniem jest natychmiastowe ograniczenie zrzutu ścieków deszczowych z nowych systemów kanalizacji opadowej i „systemowe”, zlewniowe zarządzanie odpływem ścieków opadowych w ramach poszczególnych zlewni. Analizując przepustowość cieków pod względem zwiększenia ich roli w ograniczaniu skutków wezbrań powodziowych, należy także uwzględnić konieczność zaprzestania działań degradujących środowisko naturalne i zagładę licznych ekosystemów związanych ze środowiskiem wodnym.

Przykładem niewłaściwych działań lub też ich brakiem może być tutaj zlewnia rzeki Serafy na terenie osiedla Stary Bieżanów, gdzie w bieżącym roku doszło do czterokrotnego podtopienia znacznych obszarów tej gęsto zaludnionej części miasta. Wybudowana w ostatnich latach obwodnica miasta Krakowa przecięła naturalne zabagnione tereny, stanowiące w przeszłości naturalny zbiornik retencyjny ograniczający wezbrania, które występowały w przeszłości z zlewni Serafy i jej dopływu Malinówki. Jednocześnie do cieków tych wprowadzona została część ścieków opadowych z obwodnicy. Na zwiększony dopływ związany z budową obwodnicy miasta nałożyła się szybko postępująca urbanizacja tej rolniczej w przeszłości części Krakowa – i w konsekwencji znaczne uszczelnienie powierzchni zlewni, budowa licznych kładek i mostków dojazdowych do posesji a także niekontrolowana ilość zrzutów ścieków opadowych bezpośrednio do koryta, bez żadnych urządzeń retencjonujących. W tym czasie nie zostały wykonane żadne istotne działania niwelujące te skutki, a jak wskazują tegoroczne doświadczenia małe zbiorniki retencyjne, których celem jest przechwycenie części ścieków odpływających z obwodnicy, zostały w znacznym stopniu zamulone materiałem pochodzącym ze skarp nasypu drogowego. Część z tego materiału dostała się do koryta cieku dodatkowo zmniejszając i tak już niewielką przepustowość. Planowany od kilku lat w programie małej retencji zbiornik Bieżanów, również do chwili obecnej nie wyszedł poza etap wstępnej koncepcji.

W kwestii pozostałych cieków powierzchniowych, również występują liczne problemy związane z ich przepustowością. Doświadczenia ostatnich powodzi wskazują na

problemy związane z przepustowością Sidzinki, Potoku Kostrzeckiego, Potoku Rozrywka, Strugi Rusieckiej.

W przypadku sieci rowów na obszarze miasta Krakowa ich przepustowość w głównym stopniu uzależniona jest od zabiegów konserwacyjnych polegających na oczyszczaniu ich przekroju, wykaszaniu skarp i odmulaniu dna. Generalnie można przyjąć, że w przypadku prawidłowo utrzymanych koryt, z obsiewem skarp mieszanką traw lub ich umocnieniem np. płytami betonowymi typu „krata” (przy zachowaniu systematyczności zabiegów konserwacyjnych) koryta takie powinny mieścić przepływy rzędu wody Q10% (woda 10-cio letnia).

Administratorem głównych cieków powierzchniowych na terenie miasta Krakowa są: Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie oraz Małopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych. Utrzymywanie natomiast urządzeń melioracji wodnych szczegółowych należy do zainteresowanych właścicieli gruntów, a jeżeli urządzenia te są objęte działalnością spółki wodnej - do tej spółki (ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001r. z późn. zm., art. 77, ust. 1).

2.2.5.2 Krytyczna ocena danych o przepustowości obu systemów.

Wstępne rozpoznanie informacji na temat przepustowości systemu odwodnienia miasta Krakowa, składającego się z jednej strony z cieków powierzchniowych, rowów, z drugiej zaś z systemu kanalizacji ogólnospławnej i opadowej, prowadzi do wniosków, iż system odwodnienia miasta Krakowa nie jest w odpowiednim stopniu przygotowany na przyjmowanie występujących w ostatnich latach coraz częściej ekstremalnych zjawisk opadowych. Dotyczy to zarówno zjawisk długotrwałych, mających głównie podłoże hydrologiczne, związanych z utrzymywaniem się przez długi okres czasu wysokich stanów wody w międzywalu Wisły (np. w maju 2010r.), jak również coraz częściej występujących nagłych, krótkotrwałych i intensywnych zjawisk o charakterze typowo opadowym. O ile w przypadku pierwszych z nich spowodowane jest to przede wszystkim utrudnieniem odpływu wody z cieków powierzchniowych do rzeki Wisły wskutek utrzymywania się na niej wysokich stanów wody, o tyle w drugim przypadku wynika przede wszystkim z ograniczonej przepustowości systemu kanalizacji opadowej i jej odbiorników. Należy tutaj przede wszystkim zwrócić uwagę na fakt niekontrolowanego (w rozumieniu kompleksowym - zlewniowym) wzrostu współczynników odpływu na nowo inwestowanych obszarach miasta. Obserwowany w ostatnich kilkunastu latach dynamiczny rozwój gałęzi budownictwa oraz sektora usługowego, spowodował, iż obszary miasta, które do tej pory nie były intensywnie zabudowane i pełniły w pewnym sensie rolę bufora opóźniającego odpływ powierzchniowy i retencjonującego wodę opadową, wskutek ich zabudowy utraciły te funkcje. Przykładem może tutaj być choćby rejon osiedli Ruczaj i Kurdwanów, gdzie praktycznie całkowicie zostały wyeliminowane z krajobrazu tereny zielone, a także wiele innych obszarów Krakowa, przeznaczonych pod zwartą zabudowę osiedlową, jak również kompleksy usługowo-handlowe (hipermarkety, galerie, itp.). Efektem „wybetonowania” tak znacznych obszarów miasta jest nawet kilkukrotna zmiana współczynnika odpływu, skutkująca przyspieszeniem i kumulacją spływu wód opadowych, co przy technicznych ograniczeniach systemu odwadniającego powoduje wzrost zagrożeń związanych z zalaniem i podtopieniami.

Sytuacji takiej można by było przynajmniej częściowo uniknąć, gdyby na etapie wydawania pozwoleń wodno-prawnych istniał rzetelny system oceny każdej planowanej wielkoobszarowej inwestycji, odnoszący się do zmiany warunków odpływu wód powierzchniowych wskutek „uszczelnienia” powierzchni – w układzie całej zlewni – z jednoczesnym uwzględnieniem współistnienia podobnych inwestycji w zlewni. Wydawane aktualnie pozwolenia wodno-prawne i znajdujące się w nich zapisy dotyczące wielkości zrzutów wody do recipientów odnoszą się tylko i wyłącznie do konkretnej inwestycji w zlewni, nie biorąc pod uwagę innych, równolegle prowadzonych przedsięwzięć, zmieniających warunki odpływu wód (nie sumują zrzutów wody). Problem ten uporządkowują w pewien sposób opracowywane intensywnie w ostatnich latach plany zagospodarowania przestrzennego, jednak z uwagi na fakt, iż pokrywają one w chwili obecnej tylko częściowo (wybiórczo) obszar miasta, nie można ich traktować jako rozwiązania problemu w układzie zlewniowym.

2.2.6 Analiza i ocena skuteczności rozdzielczego i łącznego odprowadzenia wód opadowych w poszczególnych obszarach miasta – w warunkach wpływu i braku wpływu fali wezbraniowej Wisły.

Skuteczność systemu odprowadzenia wód opadowych z obszaru miasta Krakowa uzależniona jest w znacznym stopniu od sytuacji, jaka występuje na głównym odbiorniku wszystkich wód opadowych – rzece Wiśle.

Skuteczność ta jest bardziej widoczna w sytuacji, gdy mamy do czynienia z lokalnymi i krótkotrwałymi zjawiskami opadowymi, niegenerującymi długotrwałego utrzymywania się wysokich stanów wody na Wiśle. W tej sytuacji, nawet w przypadku pojawienia się wysokiej, ale krótkotrwałej kulminacji na rzece Wiśle (jak miało to choćby miejsce w lipcu czy wrześniu 2010 r.), ewentualne utrudnienia w odpływie wody z sieci odwadniającej obszar miasta, spowodowane spiętrzeniem wody w międzywalu Wisły i odcięciem odpływu przez śluzy wałowe, mają charakter chwilowy i zanikają bezpośrednio po przejściu fali kulminacyjnej.

Sytuacja ta jest diametralnie inna w przypadku, gdy kulminacja fali na Wiśle jest wysoka i równocześnie długotrwała. Scenariusz taki miał miejsce w 2010 roku – podczas powodzi w maju i czerwcu. W takim przypadku odpływ wody z sieci cieków i rowów zbierających wody powierzchniowe z obszaru miasta przez długi okres czasu jest skutecznie tamowany przez spiętrzone wody rzeki Wisły. Pojawia się wówczas realne zagrożenie związane z możliwością wystąpienia dodatkowych opadów deszczu, które w sytuacji przepełnionych odcinków ujściowych odbiorników nie mogłyby zostać w nich pomieszczone, powodując dalszy wzrost zagrożenia podtopieniami na obszarze miasta. Przykładem obszarów szczególnie narażonych na takie zagrożenia może być rejon Rynku Podgórskiego, Dąbia czy Osiedla Podwawelskiego.

Obszary miasta objęte ogólnospławnym systemem kanalizacji są narażone w większym stopniu na podtopienia ze względu na fakt, iż w przypadku zamkniętych zasuw na przelewach burzowych kanalizacja ta nie jest w stanie odprowadzić opadów większych niż 20 mm. Powoduje to pracę tej sieci pod ciśnieniem i zalewanie kondygnacji znajdujących się poniżej poziomu terenu przez cofki z sieci kanalizacyjnej. W roku 2010 jako środek zaradczy MPWiK S.A. zmieniło warunki techniczne, jakie są wydawane dla nowych obiektów. Obecnie odprowadzenie instalacji kanalizacji z kondygnacji

podziemnych i garaży uzgadniane jest tylko w formie ciśnieniowej. Nie rozwiązuje to jednak problemu budynków istniejących. W tej sytuacji należałoby w obszarach miasta gdzie to jest możliwe wybudować dodatkową kanalizację opadową i wprowadzić system rozdzielczy, a tam gdzie to niemożliwe rozważyć budowę przepompowni NWW odprowadzające nadmiar wód opadowych z po przelewach do rz. Wisły. Obszary objęte kanalizacją ogólnospławną wskazano w pkt. 2.2.2.1

2.2.7 Wstępna ocena stanu technicznego obiektów istniejących

2.2.7.1 Stan techniczny kanalizacji

W Krakowie istnieją 3 rodzaje kanalizacji: sanitarna, opadowa i ogólnospławną. Długość kanalizacji:

- Kanalizacja ogólnospławną – 611,35km,
- Kanalizacja sanitarna – 609,71km,
- Kanalizacja opadową – 318 km,
- Długość przyłączy kanalizacyjnych wynosi 357,79km.

W celu zapewnienia prawidłowej pracy systemu kanalizacyjnego należy wyremontować około 40km kanalizacji. Renowacji wymaga również syfon pod rzeką Wilgą, aby zapewnić odpowiednią przepustowość podczas intensywnych opadów deszczu nad miastem w czasie, gdy zamknięte są przelewy burzowe.

Duży wpływ na prawidłową pracę systemu kanalizacyjnego mają lokalne podtopienia niektórych obszarów miasta występujące w czasie intensywnych opadów deszczu przy równoczesnym wysokim stanie rzek. Spowodowane jest to tym, że kanalizacja opadowa i rowy melioracyjne nie odprowadzają wody.

Rejony mające wpływ na system kanalizacyjny to przede wszystkim:

- ulica Podbięty i Klasztorna,
- kolektor L – ulica Nowohucka,
- Osiedle Sidzina,
- Osiedla Kostrze.

Powyższy problem można rozwiązać poprzez budowę przepompowni wód opadowych na tzw. „wysokie stany” w rejonach występowania podtopień.

2.2.7.2 Przelewy burzowe

System kanalizacji ogólnospławnej w Krakowie można podzielić na dwie strefy, które oddzielone są rzeką Wisłą:

- System Lewobrzeżny Wisły,
- System Prawobrzeżny Wisły.

Na lewobrzeżny system Wisły (który w większości stanowi system ogólnospławny) składają się następujące kolektory:

- Lewobrzeżny kolektor Wisły, wyposażony w 7 przelewów burzowych,
- Prawobrzeżny kolektor Rudawy, wyposażony w 2 przelewy burzowe,
- Prawobrzeżny kolektor Białuchy, wyposażony w 6 przelewów burzowych.

Na prawobrzeżny system Wisły (stanowiący system mieszany kanalizacji ogólnospławnej i rozdzielczej) składają się następujące kolektory:

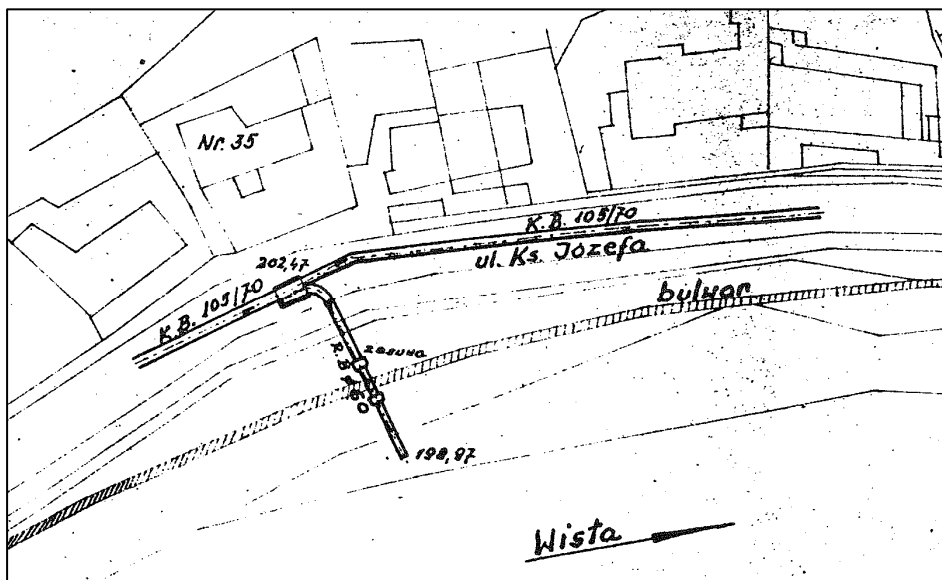
- Prawobrzeżny kolektor Wisły, wyposażony w 9 przelewów burzowych,
- Lewobrzeżny kolektor Wilgi, wyposażony w 3 przelewy burzowe,
- Prawobrzeżny kolektor Wilgi, wyposażony w 7 przelewów burzowych.

Suma wszystkich przelewów burzowych odprowadzających wody deszczowe i roztopowe do Wisły to 34 budowle, niektóre z nich zostały opisane poniżej.

Przelewy do Wisły i Rudawy:

Przelewy burzowe do Wisły w dużej części zlokalizowane są w gęstej zabudowie w bliskim sąsiedztwie koryta rzeki i są narażone na zakłócenia spowodowane wysokimi stanami wód.

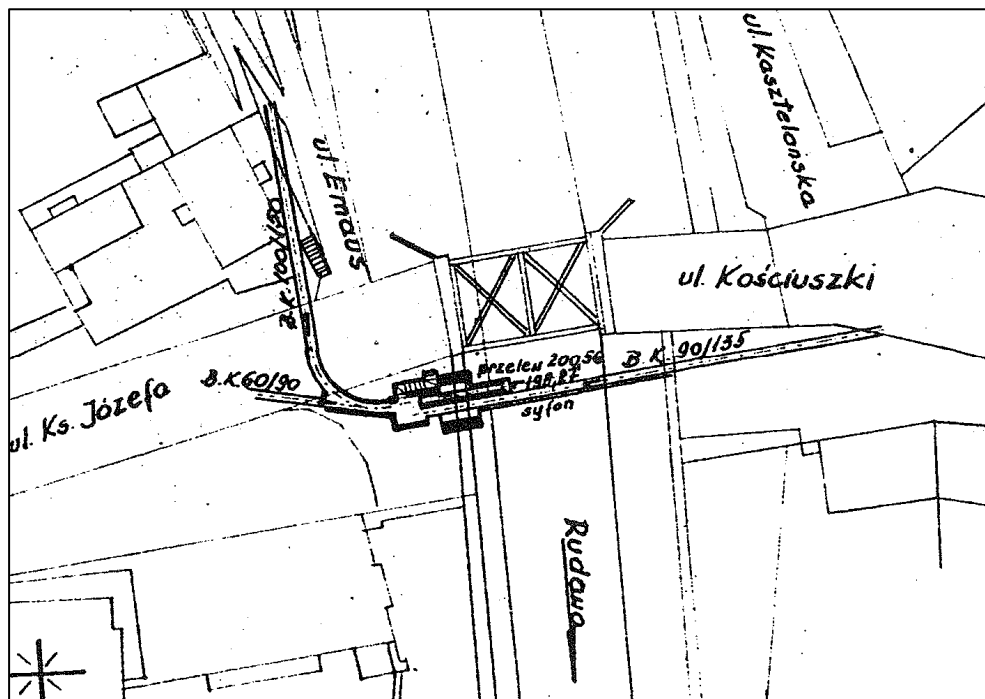
1. Przelew burzowy zlokalizowany w ulicy Ks. Józefa na wysokości ul. Ukrytej i obok budynku nr 35. Burzowiec posiada klapę samoczynną (właz do komory z klapą z niskiego brzegu) i zasuwę płaską ręczną (właz do komory z zasuwą z zawala). Kolektor na dopływie i odpływie posiada przekrój 70/105. Burzowiec ma przekrój $\phi=60\text{cm}$.



Rysunek 36 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w ulicy Ks. Józefa.

Stan techniczny urządzeń na przelewie burzowym jest dobry, miejscami występują ogniska korozji, które w obecnym stanie nie zagrażają prawidłowemu funkcjonowaniu budowli. Podczas wezbrań budowla ulega zamuleniu wskutek osadzania się namułu rzeczno-egzogenicznego oraz nieczystości pochodzących ze ścieków bytowo gospodarczych. W przelewie gromadzą się w niewielkich ilościach gazy wybuchowe i agresywne. Ilość powyższych gazów wzrasta gwałtownie, ale krótkotrwale podczas czyszczenia budowli (w momencie naruszania gnijącego osadu).

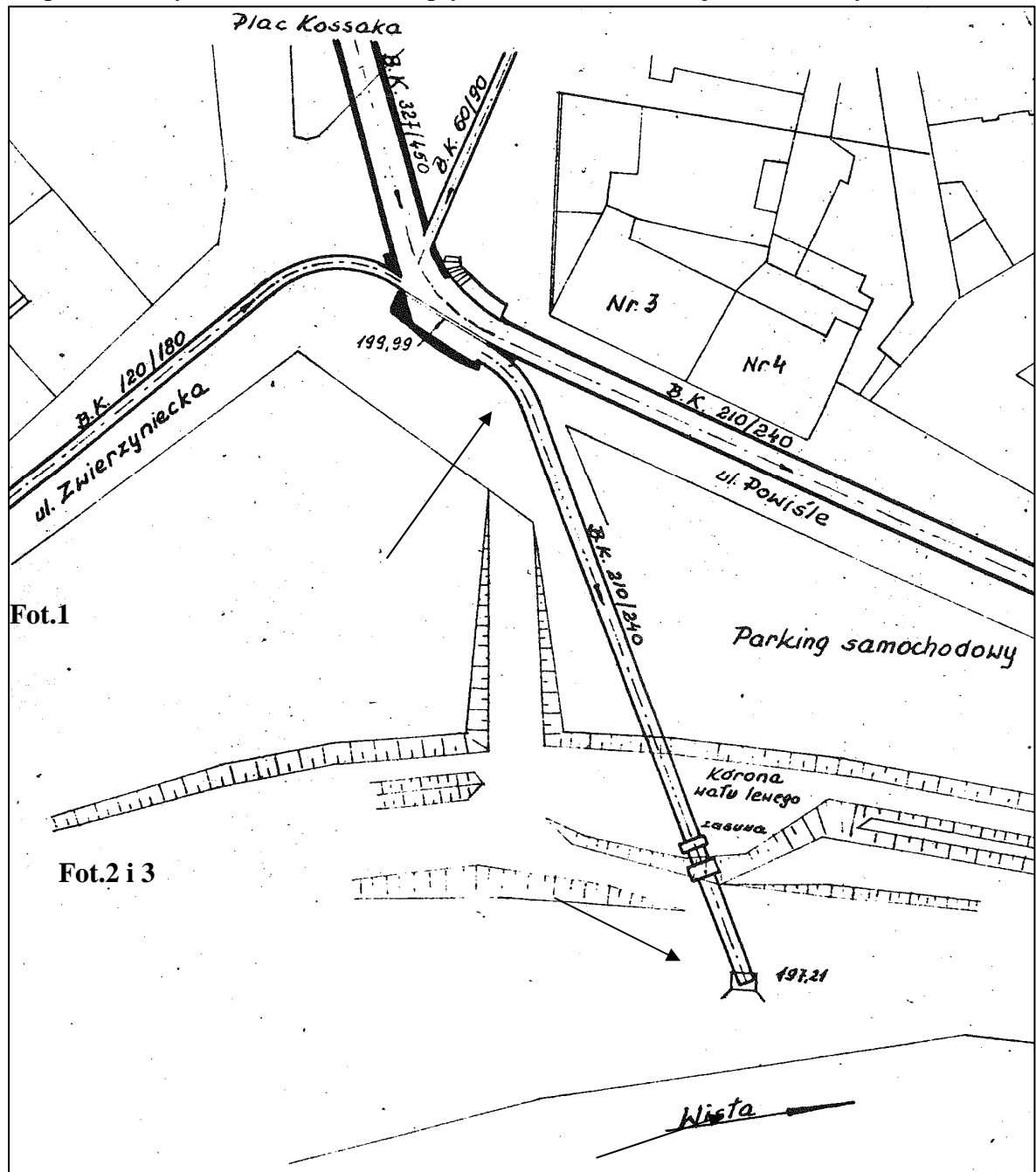
2. Przelew burzowy znajdujący się w ulicy Ks. Józefa na wysokości ul. Emaus (przed syfonem pod rzeką Rudawą). Przelew zaopatrzony został w klapę samoczynną (właz do komory z niskiego brzegu) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory z niskiego brzegu). Przekrój kolektora dopływowego wynosi 100/150, a odpływowego 90/135 natomiast przekrój burzowca $\varnothing=60\text{cm}$.



Rysunek 37 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w ulicy Ks. Józefa na wysokości ul. Emaus

Stan techniczny urządzeń na przelewie burzowym jest dobry, miejscami występują ogniska korozji, które w obecnym stanie nie zagrażają prawidłowemu funkcjonowaniu budowli. Podczas wezbrań budowla ulega zamuleniu wskutek osadzania się namułu rzeczno-ściekowego oraz nieczystości pochodzących ze ścieków bytowo-gospodarczych. W przelewie gromadzą się w niewielkich ilościach gazy wybuchowe i agresywne. Ilość powyższych gazów wzrasta gwałtownie, ale krótkotrwale podczas czyszczenia budowli (w momencie naruszania gnijącego osadu).

3. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Czerwieńskim na wysokości ulicy Retoryka. Przelew posiada klapę samoczynną (właz do komory z klapą z niskiego brzegu) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory zasuw z korony wału). Przekrój na dopływie do przelewu wynosi 450/327, a na odpływie 320/300. Przekrój burzowca wynosi 240/210.



Rysunek 38 Plan sytuacyjny przelewu burzowego w okolicy Bulwaru Czerwieńskiego.



Fot.2 Fotografia przelewu burzowego - widok zza nieużywanej zasuw (Michał Szumiec).



*Fot.3 Fotografia wjazdu do komory zasuw.
(Michał Szumiec).*



*Fot.4 Fotografia mechanizmu zasuw
(Michał Szumiec)*

Fotografia nr 1 obrazuje fragment (w górnej części zdjęcia) znajdującej się w przelewie nieużywanej zasuw, która z racji długiego czasu spoczynku uległa znacznej korozji.

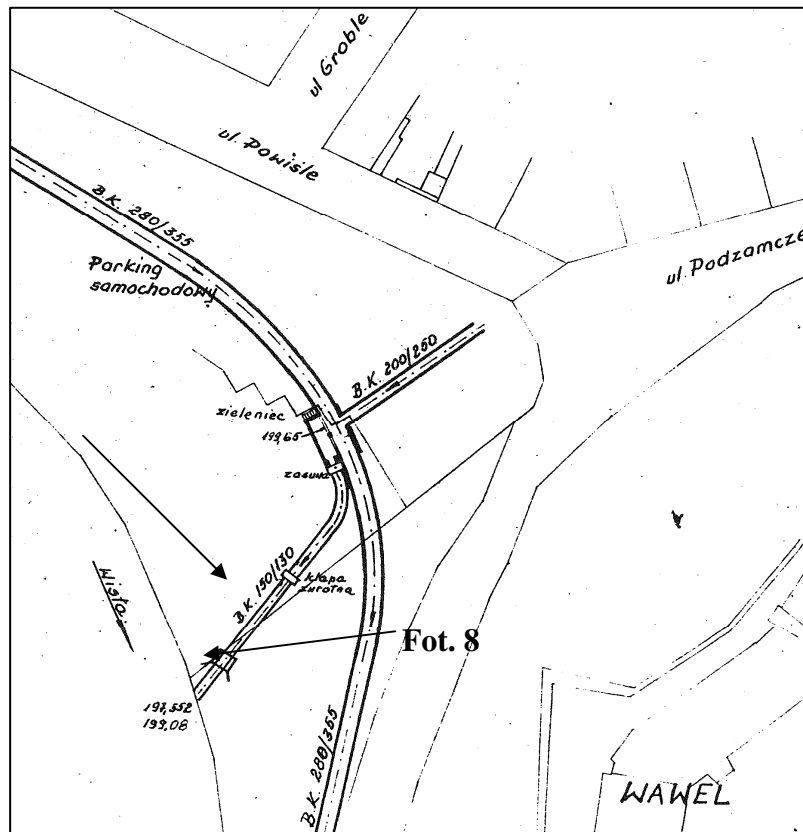


Fotografia nr 3 przedstawia komorę zasuw, która jest w bardzo dobrym stanie zabezpieczona przed korozją.

Fot.5 Kłapy zwrotne przelewu, na zdjęciu ekipa techniczna oczyszcza zasuwę z naniesionego podczas powodzi w 2010 roku mułu (Michał Szumiec).

4. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Czerwieskim na wysokości zbiegu ulic Podzamcze i Powiśle. Burzowiec posiada klapę samoczynną (właz do komory z niskiego brzegu) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory z zasuwą 1,30 m nad wysokim brzegiem). Przekrój kolektora na dopływie do przelewu wynosi 280/355, a na odpływie 280/355, natomiast przekrój burzowca posiada wymiary 150/130.

Fot. 6 i 7



Rysunek 39 Plan sytuacyjny przelewu burzowego na Bulwarze Czerwieskim, (w okolicy Wawelu).



Fot.6 Fotografia klapy zwrotnej, od strony Wisły (Michał Szumiec).

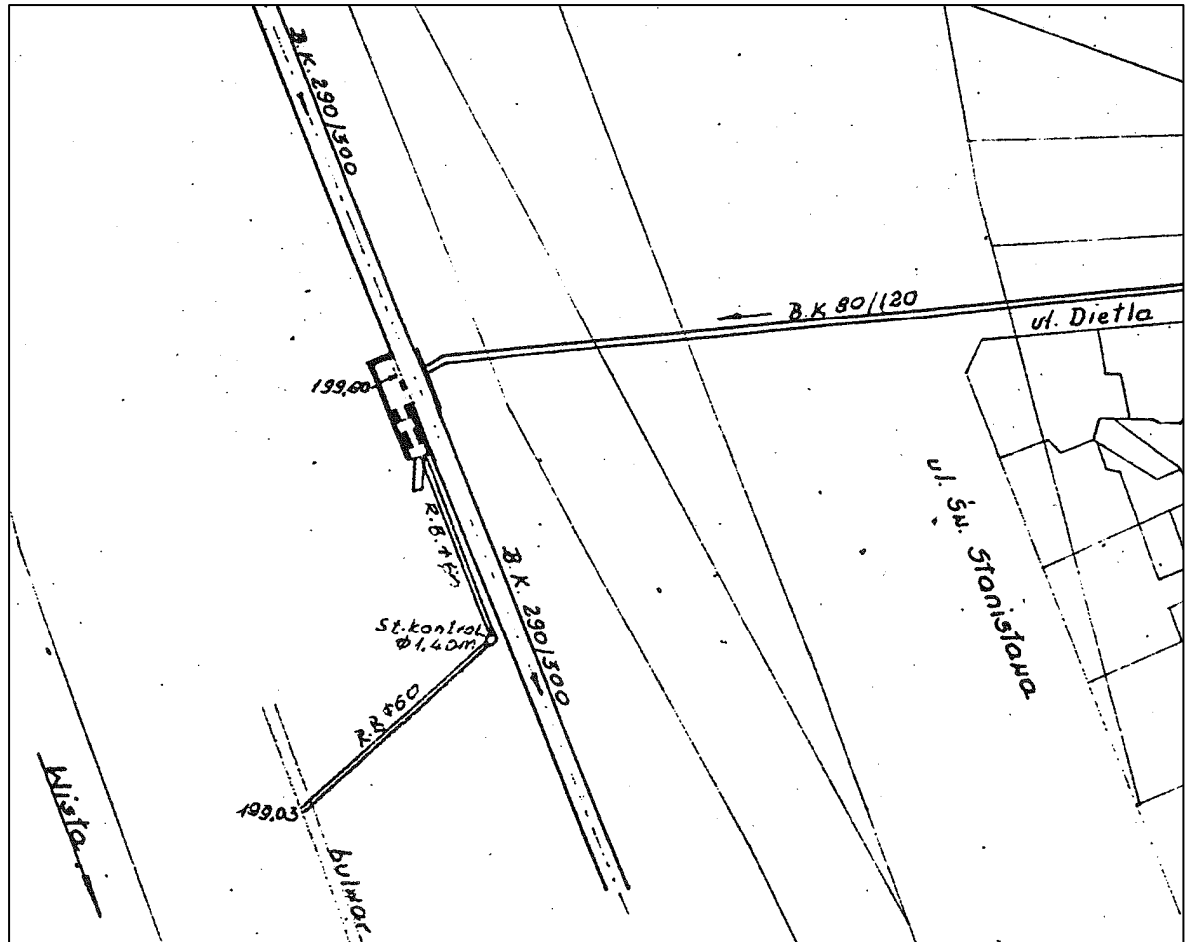


Fot.7 Fotografia klapy zwrotnej, od strony Bulwaru Czerwieńskiego (Michał Szumiec).



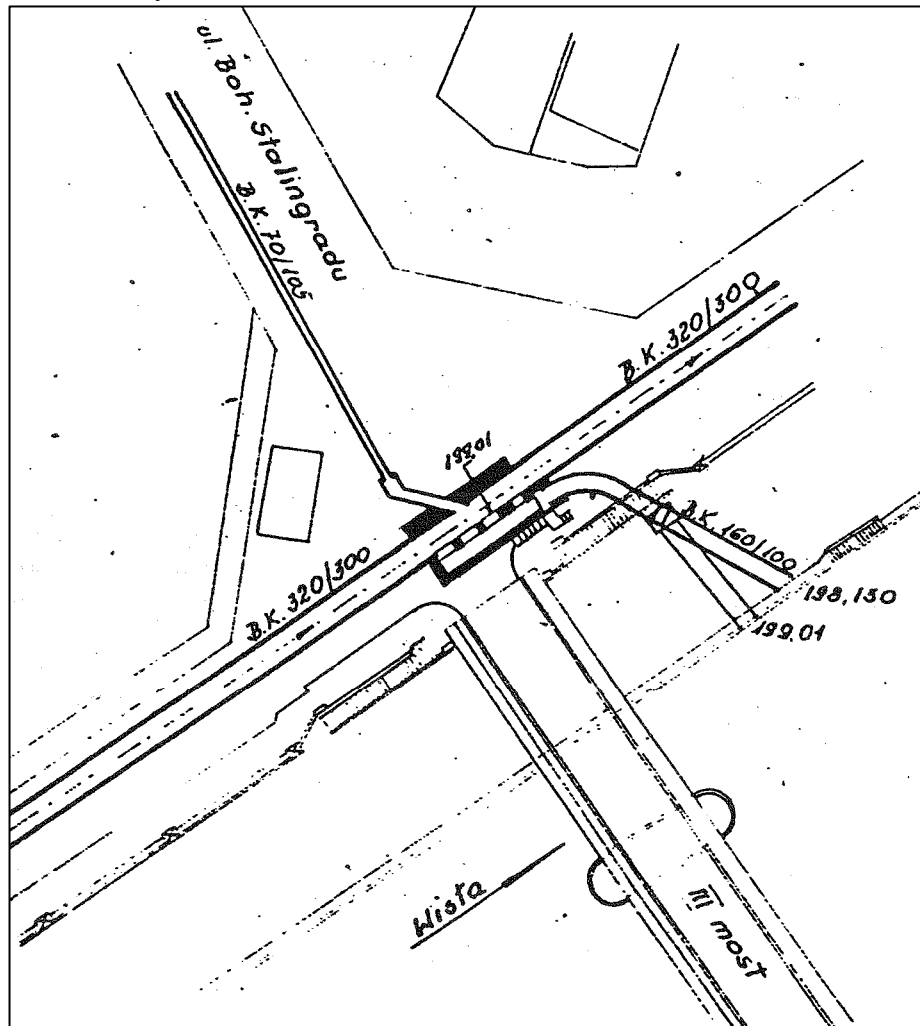
Fot.8 Fotografia wjazdu do komory zasuw (Michał Szumiec).

5. Przelew burzowy zlokalizowany w rejonie Bulwaru Inflanckiego na wysokości ul. Józefa Dietla (poniżej Mostu Grunwaldzkiego). Burzowiec posiada klapę samoczynną (właz do komory z wysokiego brzegu) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory z wysokiego brzegu). Przekrój kolektora na dopływie do przelewu i na odpływie wynosi 290/300. Przekrój burzowca $\phi=60\text{cm}$.



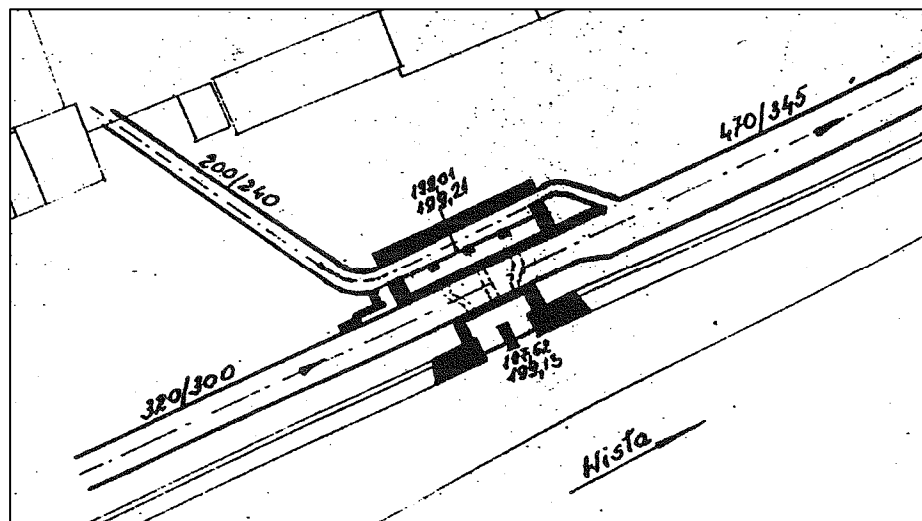
Rysunek 40 Sytuacja przelewu burzowego w rejonie Bulwaru Finlandzkiego.

6. Przelew burzowy znajdujący się w ulicy Podgórskiej na wysokości ulicy Starowiślnej (obok mostu Powstańców Śląskich). Przelew wyposażony jest w klapę samoczynną (właz do komory z niskiego brzegu) oraz w zasuwę płaską ręczną (właz do komory z wysokiego brzegu). Przelew burzowy na dopływie i odpływie posiada przekrój 320/300, natomiast przekrój burzowca wynosi 160/100.



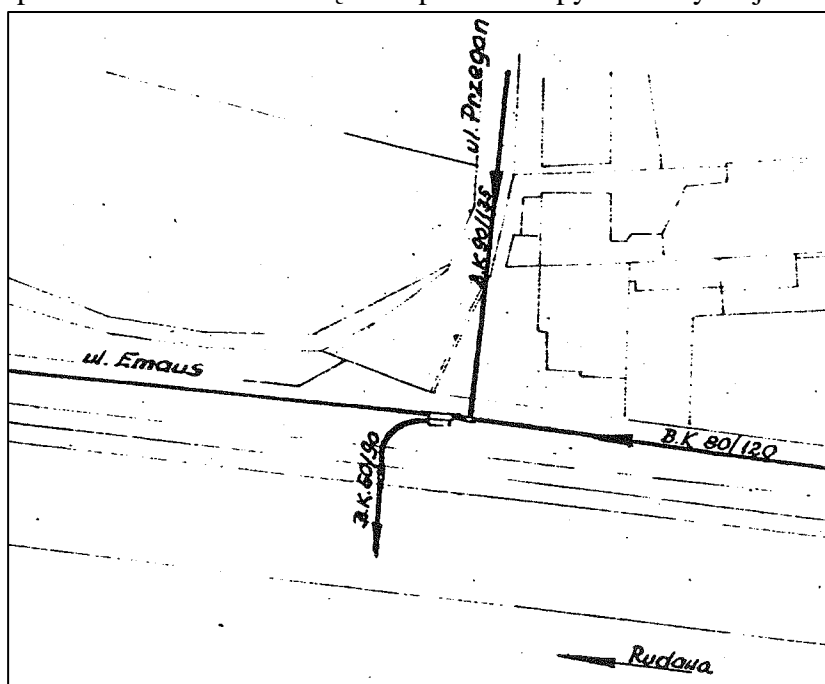
Rysunek 41 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Podgórskiej.

7. Przelew burzowy zlokalizowany w ulicy Podgórskiej na wysokości ulicy Rzeźniczej. Burzowiec posiada 2 kłapy uchylne zewnętrzne z odciążeniem (właz do wylotu z klapami jest zatopiony, od strony koryta rzecznego) oraz 3 kłapy wewnętrzne z odciążeniem (właz do komory z wysokiego brzegu). Przekrój na dopływie do przelewu ma wymiary 320/300, a na odpływie 475/345. Przekrój burzowca to 3xø160.



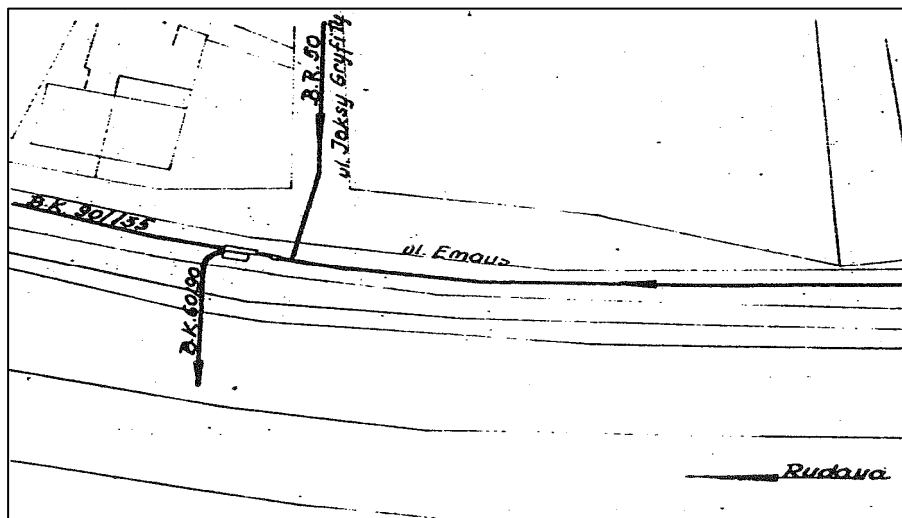
Rysunek 42 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy Rzeźniczej.

8. Przelew zlokalizowany jest w ulicy Emaus na wysokości ul. Przegon. Burzowiec na dopływie posiada przekrój 80/120, a na odpływie 90/135. Przekrój burzowca wynosi 60/90. Przelew posiada również zamknięcie w postaci kłapy samoczynnej.



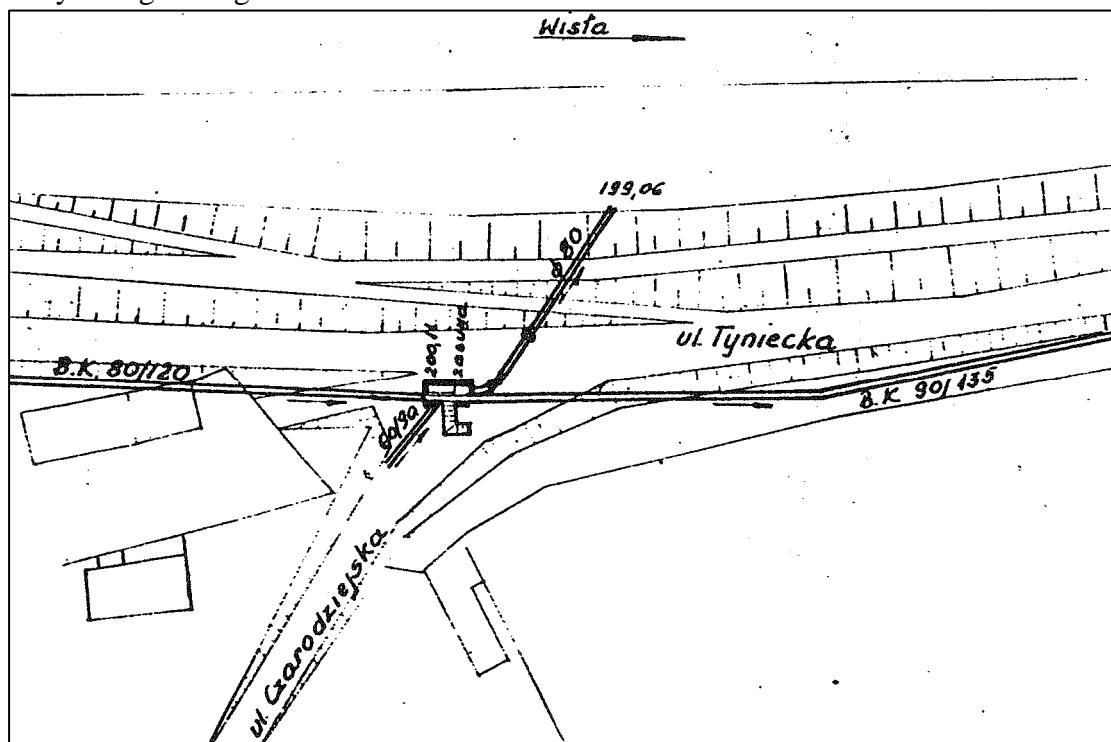
Rysunek 43 Sytuacja przelewu burzowego na Rudawie w ulicy Emaus w okolicy ulicy Jaksy Gryfity.

9. Przelew burzowy zlokalizowany w ulicy Emaus na wysokości ulicy Jaksy Gryfity. Zaopatrzony jest w zamknięcie burzowca w postaci klapy samoczynnej. Przekrój na dopływie do przelewu jak i odpływie ma wymiary 60/90.



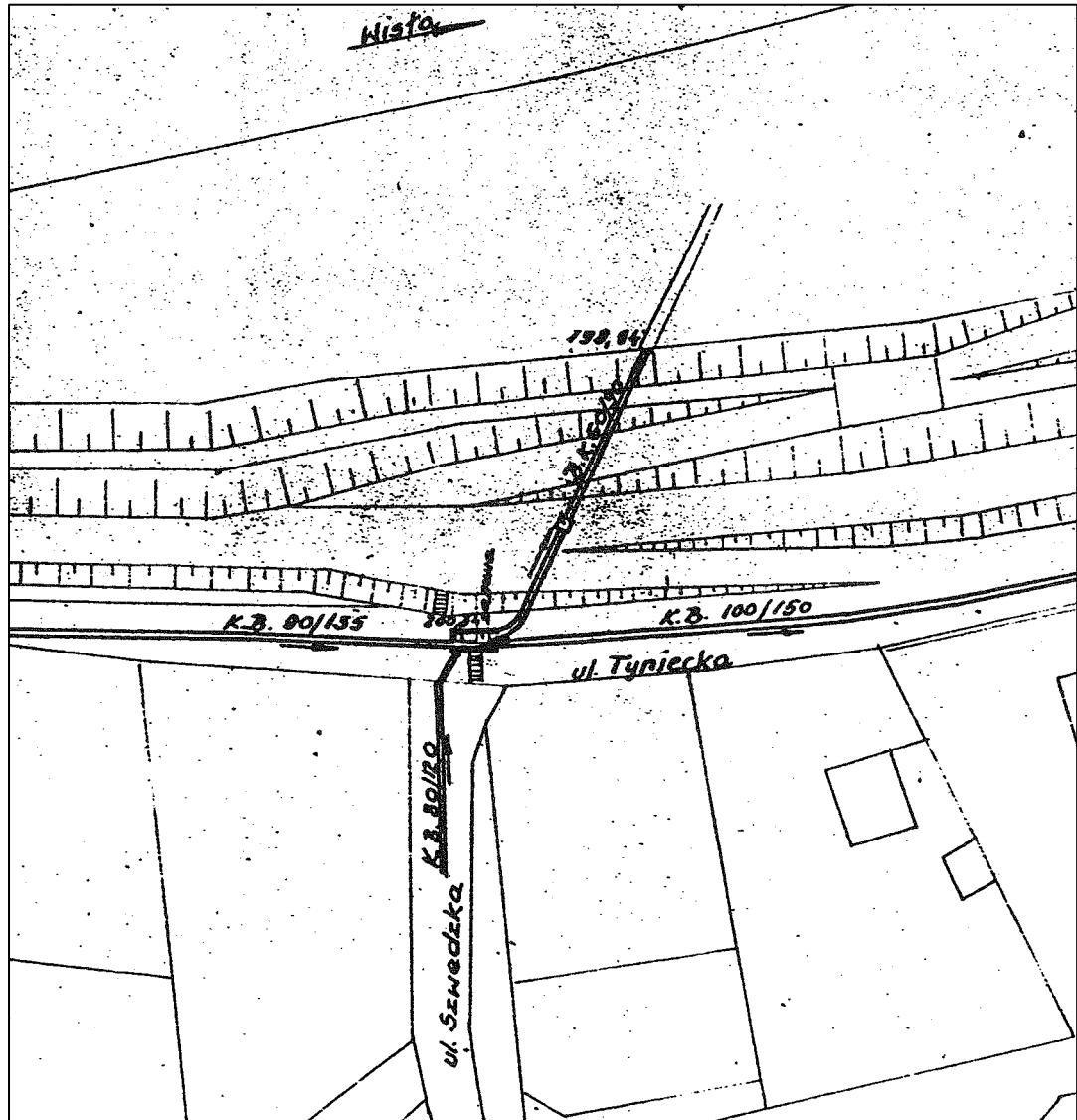
Rysunek 44 Sytuacja przelewu burzowego na Rudawie w ulicy Emaus w okolicy ulicy Jaksy Gryfity.

10. Przelew burzowy znajdujący się w ulicy Tynieckiej na wysokości ulicy Czarodziejskiej. Posiada zamknięcia w postaci klapy samoczynnej i zasuwy płaskiej ręcznej. Właz do komory z klapą, komory z zasuwą i komory przelewu z wysokiego brzegu.



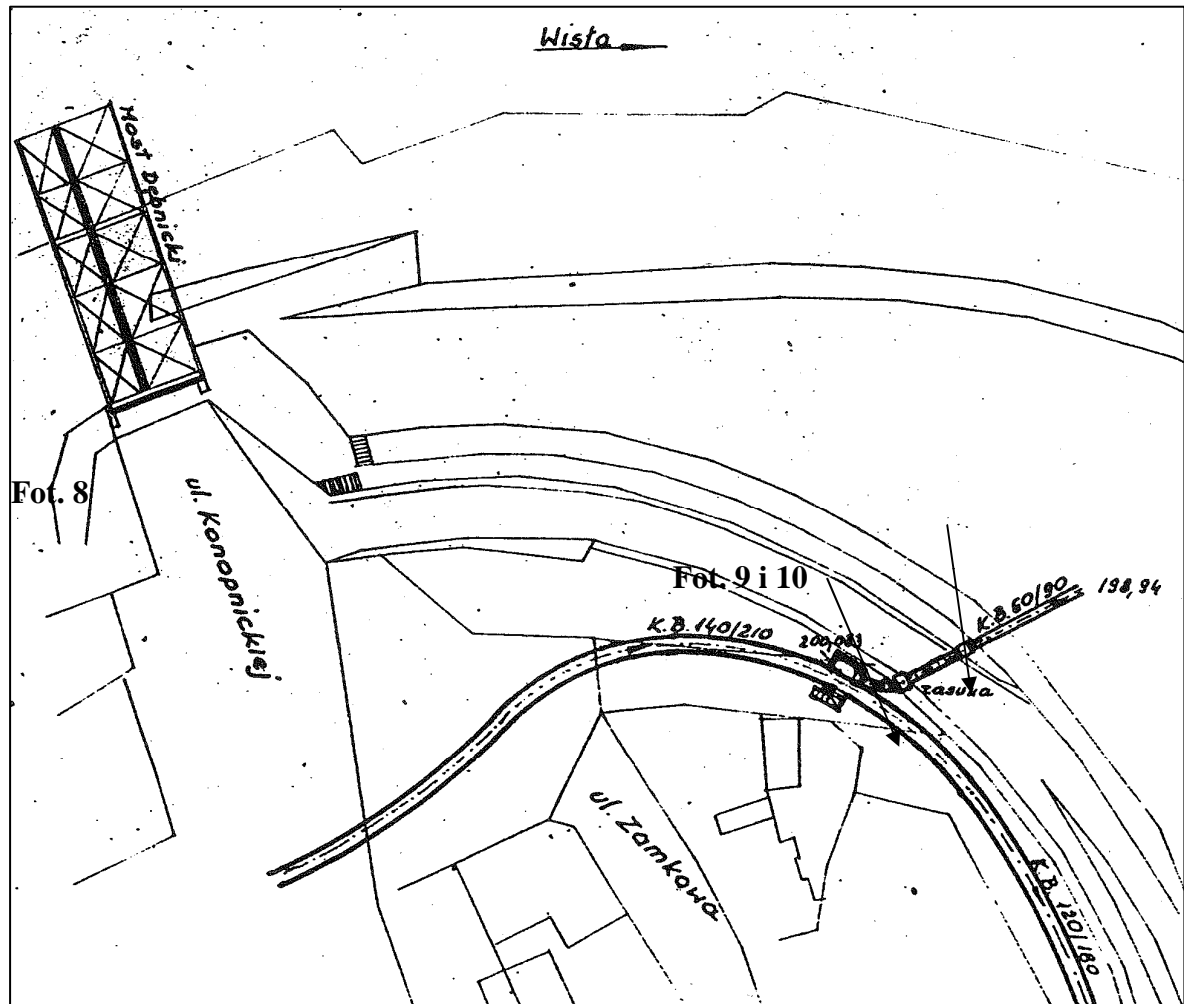
Rysunek 45 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Tynieckiej, okolice ulicy Czarodziejskiej.

11. Przelew burzowy w ulicy Tynieckiej w okolicy ulicy Szwedzkiej posiada zamknięcie w postaci kłapy samoczynnej (właz do komory z klapą z korony obwałowania) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory zasuw z poziomu terenu na zawalu). Przekrój na dopływie przelewu wynosi 90/135, a na odpływie 100/150. Przekrój przelewu burzowego wynosi 60/90.



Rysunek 46 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Tynieckiej, okolice ulicy Szwedzkiej.

12. Przelew burzowy w Bulwarze Poleskim około 80 metrów poniżej mostu Dębnickiego. Przelew posiada klapę samoczynną (właz do komory w międzywał), zasuwę płaską ręczną (właz do komory z korony wału). Właz do komory przelewu znajduje się na zawału. Przekrój na dopływie posiada wymiary 140/210, na odpływie 120/180, a przekrój burzowca wynosi 60/90.



Rysunek 47 Sytuacja przelewu w Bulwarze Poleskim około 80 metrów poniżej mostu Dębnickiego.



Fot.9 Fotografia klapy zwrotnej (Michał Szumiec).

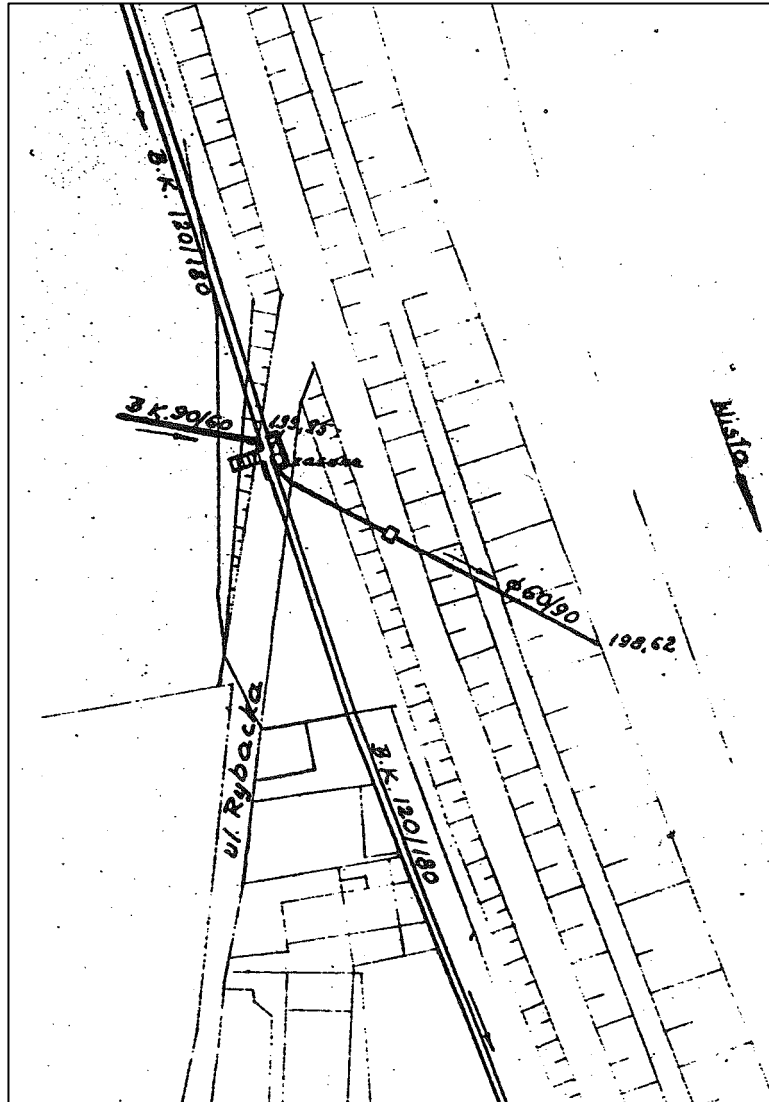


Fot.10 Fotografia zasuw (na pierwszym planie widoczna skorodowana belka wspornikowa (Michał Szumiec)).



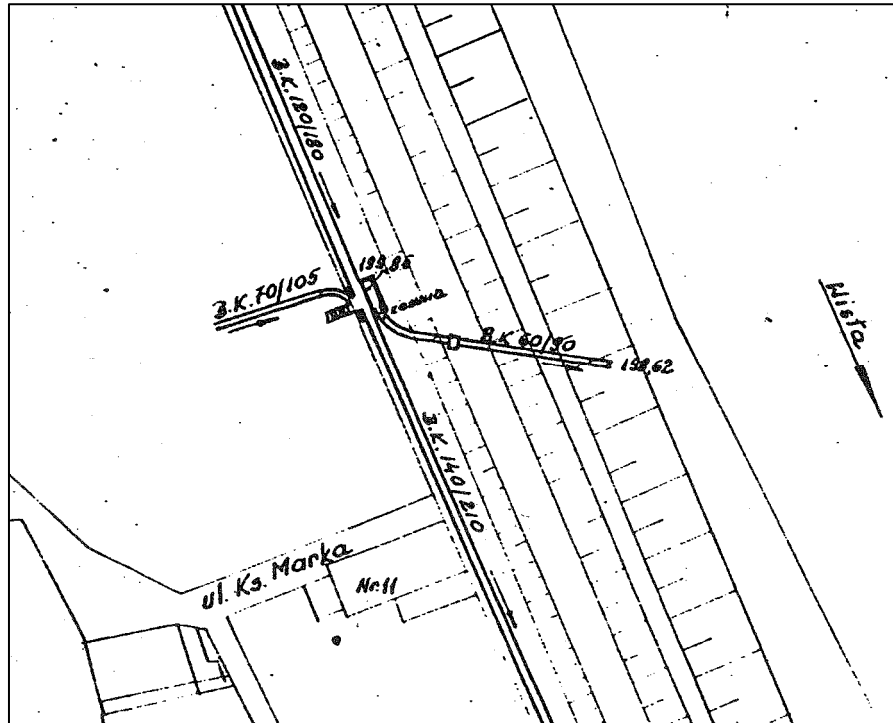
Fot.11 Fotografia wjazdu do komory zasuw (Michał Szumiec).

13. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Poleskim około 70 metrów powyżej mostu Grunwaldzkiego. Posiada zamknięcia w postaci klapy samoczynnej (właz do komory z korony wału) oraz zasuwę płaską ręczną (właz do komory na zawalu). Przekrój na dopływie i na odpływie wynosi 120/180, natomiast przekrój burzowca to $\varnothing 80$ i 60/90.



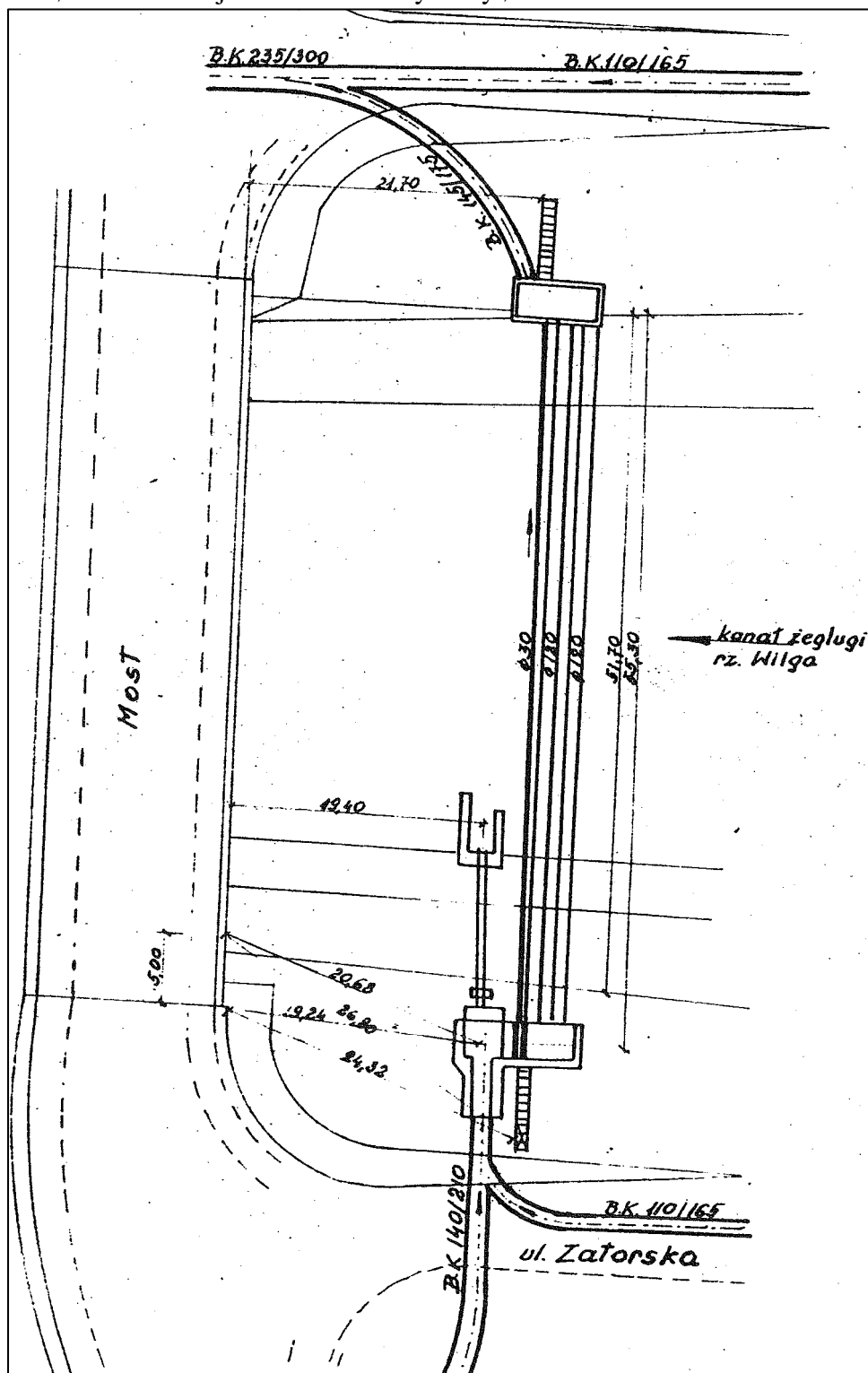
Rysunek 48 Sytuacja przelewu w Bulwarze Poleskim około 70 metrów powyżej mostu Grunwaldzkiego.

14. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Wołyńskim około 160m poniżej Mostu Grunwaldzkiego. Burzowiec posiada zamknięcie w postaci kłapy samoczynnej (właz do komory w koronie wału) oraz zasuwę płaską (właz do komory na zawalu). Przekrój na dopływie ma wymiary 120/180, a na odpływie 140/210. Przekrój burzowca wynosi 60/90.



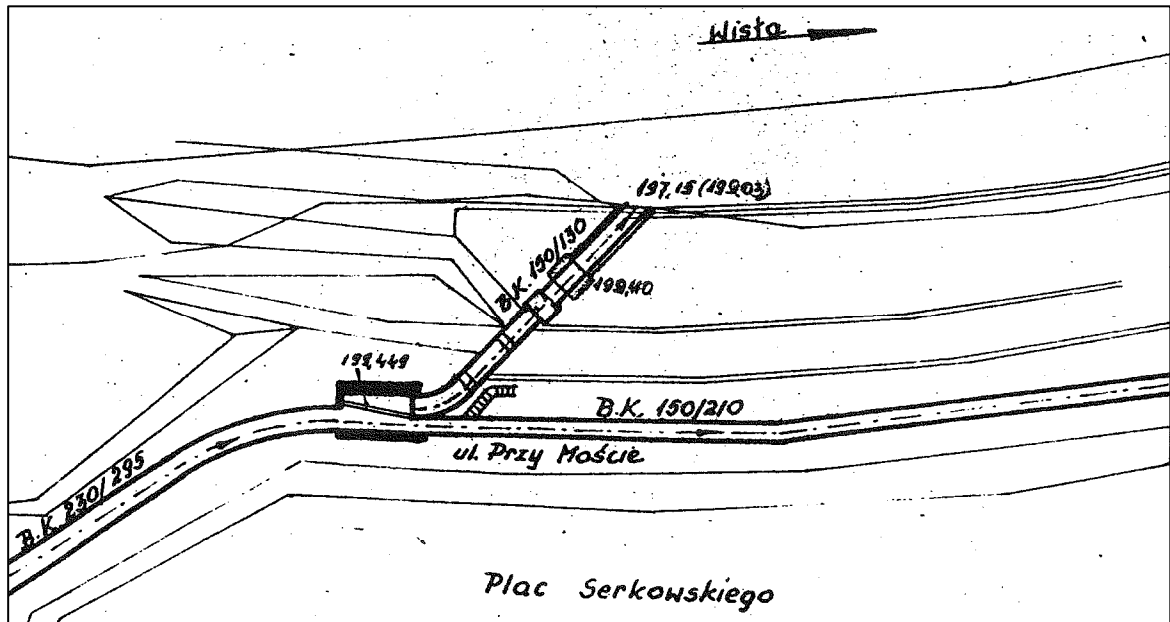
Rysunek 49 Sytuacja przelewu w Bulwarze Wołyńskim około 160 metrów poniżej mostu Grunwaldzkiego.

15. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Wołyńskim w okolicy ulicy Zatorskiej (przed syfonem pod rzeką Wilgą). Burzowiec posiada zamknięcie w postaci klapy samoczynnej. Właz do głowicy syfonu z wysokiego brzegu. Przelew – z głowicy syfonu znajduje się pod rzeką Wilgą. Przekrój na dopływie przelewu wynosi 140/210, a na odpływie 2x \varnothing 120. Przekrój burzowca ma wymiary \varnothing 80.



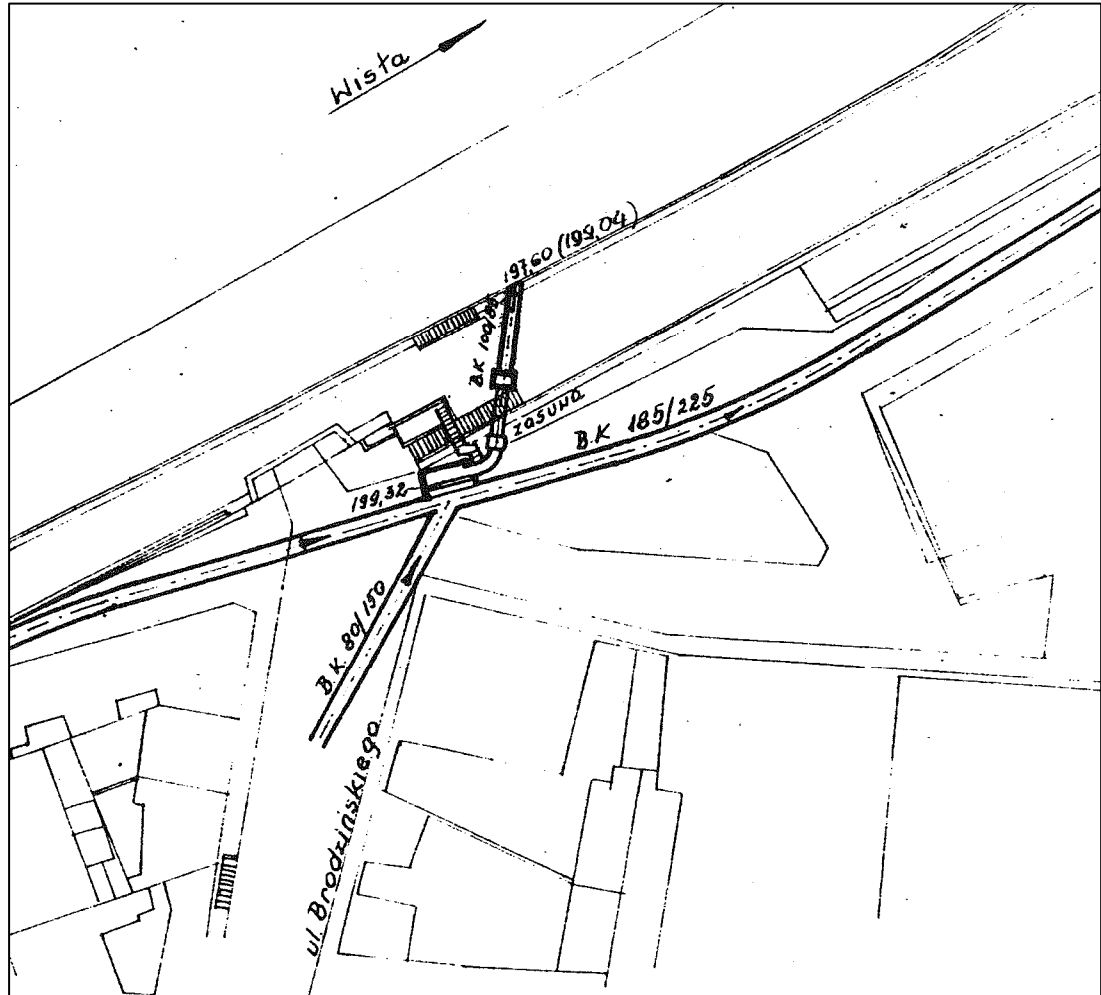
Rysunek 50 Sytuacja przelewu burzowego wraz z syfonem pod Wilgą.

16. Przelew burzowy znajdujący się w ulicy Rollego (poniżej ujścia rzeki Wilgi). Burzowiec posiada zamknięcia w postaci kłapy samoczynnej i zasuwy płaskiej ręcznej. Właz do komory z klapą jest z niskiego brzegu, a do komory z zasuwą z wysokiego brzegu. Przekrój na dopływie do przelewu wynosi 230/295, na odpływie z przelewu 150/225, natomiast przekrój burzowca ma wymiary 150/130.



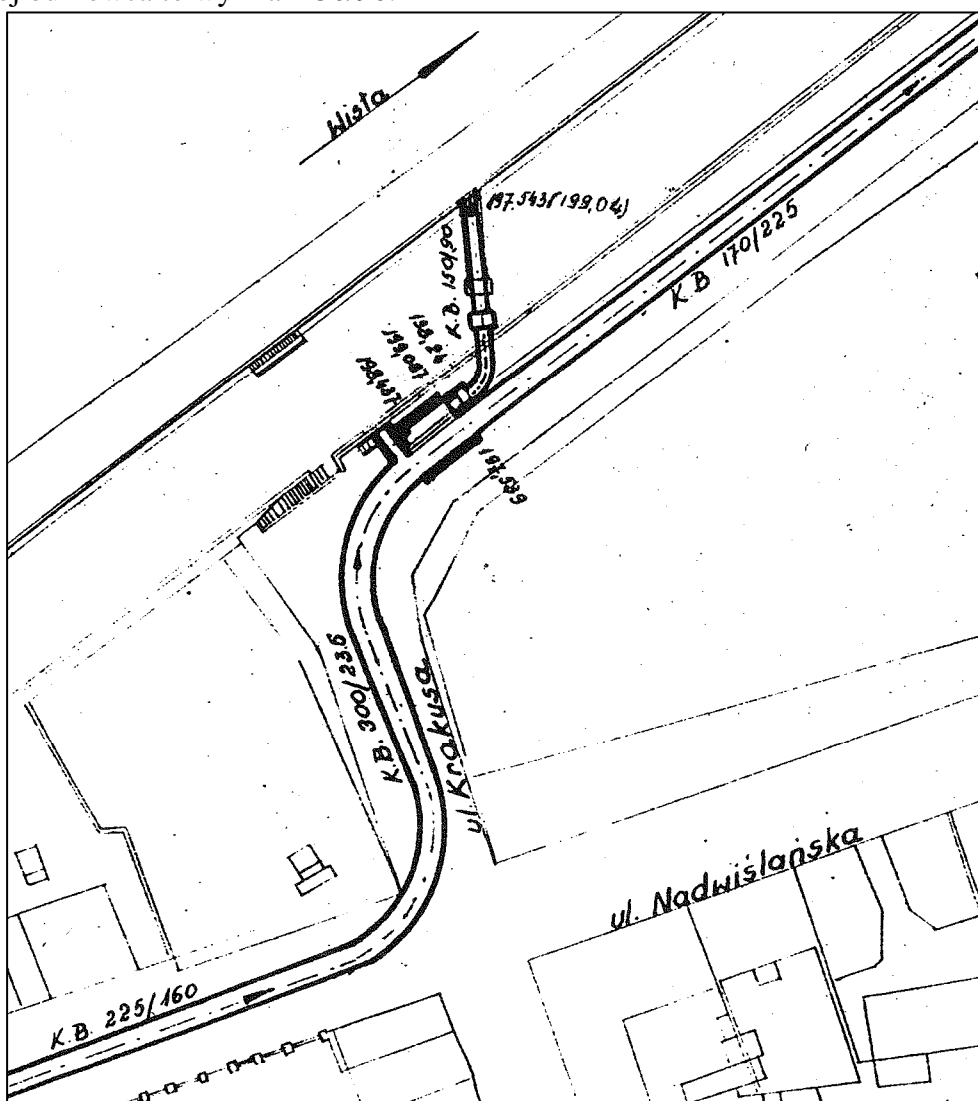
Rysunek 51 Sytuacja przelewu burzowego w ulicy Rollego.

17. Przelew burzowy zlokalizowany w bulwarze Podolskim na wysokości ulicy K. Brodzińskiego. Burzowiec zaopatrzony jest w urządzenia zamykające takie jak kłapa samoczynna (z włazem z niskiego brzegu) oraz zasuwę płaską ręczną (z włazem z wysokiego brzegu). Przekrój na dopływie do przelewu ma wymiary 150/225, a na odpływie 180/225, natomiast przekrój przelewu wynosi 100/85.



Rysunek 52 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy K. Brodzińskiego.

18. Przelew burzowy zlokalizowany w Bulwarze Podolskim na wysokości ulicy Zawiańskiej. Burzowiec posiada zamknięcia w postaci klapy samoczynnej (właz do komory z niskiego brzegu) oraz zasuwę płaskiej ręcznej (właz do komory z wysokiego brzegu). Przekrój na dopływie do przelewu ma wymiary 170/225, a na odpływie 300/235. Przekrój burzowca to wymiar 150/90.



Rysunek 53 Sytuacja przelewu burzowego w okolicy ulicy Nadwiańskiej

Stan techniczny urządzeń na przelewach burzowych jest dobry, miejscami występują ogniska korozji, które w obecnym stanie nie zagrażają prawidłowemu funkcjonowaniu budowli jednak na niektórych obiektach w niedługim czasie będą wymagały renowacji. Podczas wezbrań budowla ulega zamuleniu wskutek osadzania się namułu rzeczno-egzogenicznego oraz nieczystości pochodzących ze ścieków bytowo gospodarczych. W przelewie gromadzą się w niewielkich ilościach gazy wybuchowe i agresywne. Ilość powyższych gazów wzrasta gwałtownie, ale krótkotrwale podczas czyszczenia budowli (w momencie naruszania gnijącego osadu). Wszystkie przelewy burzowe mające swe wyloty do Wisły wyposażone są w podwójne zabezpieczenie składające się z klapy samoczynnej i zasuwę śrubowej zamykanej ręcznie (przez ekipę MPWiK S.A.).

Burzowce z wylotami do rzeki Rudawa posiadają pojedyncze zabezpieczenie w postaci klapy samoczynnej na wylocie. Przelewy burzowe zlokalizowane na rzece Wilga

pozostają poza zasięgiem wielkich wód Wisły i nie stanowią zagrożenia powodziowego takiego jak burzowce z wylotem do Wisły.

Przelewy burzowe na rzece Prądnik/Białucha podobnie jak przelewy na Wildze nie stanowią zagrożenia powodziowego za wyjątkiem dwóch ostatnich burzowców kolektora prawobrzeżnego gdzie wielka woda przewyższa krawędzie przelewowe o ponad 3m.

W związku ze zmianą zagospodarowania terenu i przebudową w okolicy ulicy Zamkowej i Powiśle utrudniony został dostęp do przelewu burzowego, znajdującego się w omawianym terenie, z powodu zastosowania kamienia ozdobnego na włączniku w celu uzyskania większych walorów estetycznych. Aby dostać się do komory burzowca należy w pierwszej kolejności stłuc w/w element.¹

2.2.7.3 Pompownie wód opadowych

Obecnie w Krakowie są dwie przepompownie wód opadowych eksploatowane przez Krakowski Związek Spółek Wodnych. Pierwsza z nich przy ul. Podbiętych wg informacji uzyskanych przez eksploatatora jest obecnie niedociążona, ponieważ nie dopływają już do niej wody opadowe z Placu Centralnego Nowej Huty. Druga pompownia przy ul. Na Niwach pierwotnie miała być pompownią obsługującą wody drenażowe. W obecnej sytuacji w wyniku silnej urbanizacji tego terenu dopływają tam wody z kanalizacji opadowej i pompownia ta pracuje jako przeciążona. Stan techniczny obydwu pompowni wg eksploatatora jest dobry.

Przepompownia Mogiła-Kopaniec:

- lokalizacja pompowni: przy zjeździe z ul. Longinusa Podbiętych w ul. Zakarnie,
- łączna wydajność pompowni wynosi 5240 m³/h (1,47 m³/s), w tym:
 - dwie pompy typu 60 P23-SL4/40; Q_{nom}=2260 m³/h,
 - dwie pompy typu 25 F42-4/S324; Q_{nom}=360 m³/h,
- rzędna dna kanału burzowego wynosi 194,30 z rowkiem na rzędnej 194,1,
- różnica pompowni wody wynosi od 1-8 m sł. wody w zależności od poziomu wody czepni pompowni od 192,9 do 195,70 i poziomu wody w rzece Wiśle od 195,30 do ≈200,00 m n.p.m.),
- wielkość zlewni ok. 762 ha. Wielkość zlewni do weryfikacji.

Przepompownia Mogiła Okraglak:

- lokalizacja pompowni: przy prawym wale przeciwpowodziowym Kanału Południowego przy ul. Na Niwach. Granicami drenażowego odwodnienia terenu są od południa obwałowanie kanału południowego, od zachodu i pn. zachodu lewobrzeżny wał rzeki Dłubni, od północy i wschodu strome zbocze (warstwica 200 m. n.p.m.),
- łączna wydajność pompowni wynosi 150 m³/h (0,042 m³/s), w tym:
 - dwie pompy typu 100 Z2 K8; Q_{nom}=75 m³/h,
 - wielkość zlewni około 9,0 ha.

Stan techniczny agregatów pompowych i pompowni dobry.

¹ Na podstawie opracowania mgr inż. Mieczysława Góra oraz Janusza Łabiniec

Przepompownia w okolicy ulicy Podbipięty,



Fot. 12 Hala pomp (Michał Szumiec)



Fot. 13 Budynek pompowni
(Michał Szumiec)

Przepompownia zlokalizowana jest na zawalu rzeki Wisły i służy już prawie 40 lat, jest to budynek, w którym agregaty pompowe wraz z szafą sterowną znajdują się na parterze, a wirniki pomp zanurzone są w komorze ssawnej poziom niżej. Wejście do komór jest z poziomu parteru. Do pompowni wody deszczowe opadowe dopływają wybetonowanym kanałem i poprzez kraty wpływają do komory ssawnej. Następnie po uruchomieniu pompy tłoczone są do wspólnego zbiornika skąd transportowane są rurociągiem do rzeki Wisły. Stan poszczególnych elementów opisany został poniżej. Kanał, którym dopływają wody opadowe jest w bardzo dobrym stanie, trawa znajdująca się nad wybetonowanym korytem jest koszona, tym samym nie zarasta krzakami. Problem pojawia się, gdy do kanału wpadnie złamane drzewo (których na wałach wzdłuż kanału jest bardzo dużo). Drzewa płynąc z wodami opadowymi docierają do krat, które zatykają się zakłócając tym samym prawidłową pracę całego układu. Pojawia się niebezpieczeństwo zalania deszczówką pompowni wraz z otaczającym ją terenem. Same kraty są w dobrym stanie pomimo lekkiej korozji prawidłowo spełniają swoją rolę (Fot. 11).



Fot. 14 Wlot śluzy wałowej, od strony zawala (Michał Szumiec).

Elementem zabezpieczającym przed wystąpieniem takiej sytuacji jest znajdująca się tuż obok śluza wałowa kłapa zwrotna, jednak jest ona na stałe zamknięta, ponieważ woda z rzeki Wisły wlewała się na zawale zalewając tereny wokół przepompowni. Kłapa jest nieszczelna i pracuje nieprawidłowo. Fotografie poniżej obrazują wlot do śluzy oraz wylot z klapą zwrotną.



Fot. 15 Wlot śluzy wałowej (od strony zawala (Michał Szumiec).



Szczegół A

Fot. 16 Wylot śluzy wałowej z klapą zwrotną zamkniętą na stałe [szczegół A] (Michał Szumiec).

Tuż za kratami znajdują się zasuwy zamykane ręcznie przez obsługę techniczną obiektu. Urządzenia są w dobrym stanie, zakonserwowane. Sporadycznie występujące ogniska rdzy nie zagrażają prawidłowej pracy urządzenia. Mechanizm zasuwy widać wyraźnie na poniższej fotografii:



Fot. 17 Mechanizm zasuwy służący opuszczaniu i podnoszeniu (Michał Szumiec).

Za zasuwy znajdują się 4 komory ssawne. W każdej z nich znajduje się rurociąg ssawny podłączony do własnego mechanizmu pompowego silnikiem elektrycznym. W hali pomp zainstalowano 4 pompy:

- 3 pracują prawidłowo (jedna z nich została gruntownie wyremontowana),
- 1 pompa pomimo tego, że pompuje deszczówkę ma już luz (głównie na wale), przez co powoduje wibracje rurociągu tłocznego. Drgania są powodem uszkodzenia kołnierza wokół rurociągu w miejscu przejścia rury przez ścianę budynku. Dodatkowym problemem jest zwiększone zużycie smaru.



Fot. 18 Zużyty smar na wale uszkodzonej uszkodzonej pompy (Michał Szumiec)



Fot. 19. Pęknięty kołnierz rurociągu tłocznego pompy (Michał Szumiec).

Rurociągi zarówno tłoczne jak i ssawne (poza w/w problemem) są w dobrym stanie, chociaż miejscami znajdują się spore ogniska rdzy, głównie na łączeniach i na śrubach mocujących na kołnierzach. Przewody zostały zakonserwowane.



Fot. 20 Rurociąg po stronie tłocznej (Michał Szumiec).

Po stronie tłocznej układu pompowego znajduje się zbiornik, który zaopatrzony jest we włącz ze szczelnym zamknięciem. Jest on lekko skorodowany. Kłapa jest nieszczelna, ponieważ podczas wezbrań wód opadowych przy zwiększonym ciśnieniu pompowanej deszczówki, wody opadowe wypływają bokiem kłapy i zgodnie z ukształtowaniem terenu wracają do części ssawnej układu (przed kraty).



Fot. 21 Włącz do zbiornika po stronie tłocznej (Michał Szumiec).

Przepompownie ścieków przy ulicy Na Niwach



Fot. 22 Pompownia przy ulicy Na Niwach (Michał Szumiec).

Pompownia ścieków znajdująca się przy ulicy Na Niwach zlokalizowana jest na zawału Kanału Południowego (uchodzącego do rzeki Dłubnia), do którego wypompowywane są wody opadowe.

Budynek posiada dwie kondygnacje, na górnej znajduje się szafa sterownicza oraz wejście do zbiornika, a na dolnej zamontowane są na betonowych progach dwie pompy. Deszczówka dopływa do zbiornika zamkniętym przewodem znajdującym się na prywatnej posesji – odpływa rurociągiem, który swój wylot ma na Kanale Północnym. Stan techniczny budynku jest dobry, natomiast pompy i silniki elektryczne posiadają niewielkie ogniska rdzy. Jedna z pomp posiada nieszczelność przez, którą wypływa woda zalewając podłogę w hali pomp, stwarza to niebezpieczeństwo porażenia prądem obsługującego obiekt, a ponieważ uszkodzony jest również jeden czujnik poziomu wody w hali powoduje to gromadzenie się wody na posadzce. Słabym punktem obu urządzeń jest simering na wale, który okresowo należy wymieniać z powodu zużycia. Powoduje on występowanie wycieków jednak ten rodzaj usterki można zaliczyć do normalnego zużycia eksploatacyjnego.



*Fot. 23 Wyciek na jednej z pomp
(Michał Szumiec).*



Fot. 24 Zbierająca się woda w zagłębieniu posadzki (Michał Szumiec).

Uwagi eksploatatora do wyżej wymienionych obiektów:

I. Pompownia Mogiła Kopaniec:

1. Obiekt przepompowni Mogiła-Kopaniec posiada nadwyżki w zakresie możliwości przepompowania wód dopływających do przepompowni. W okresie powodzi majowej w 2010r. wykorzystano $\approx 40\%$ możliwości pompowni.
2. Uważamy, że w koncepcji należy rozważyć wstrzymanie lub ograniczenie ruchu w ul. Longina Podbięty w okresie wysokich stanów rzeki Wisły. Dotyczy to odcinka drogi zlokalizowanego na wale przeciwpowodziowym.
3. Z uwagi na zmiany infrastrukturalne w rejonie zlewni pompowni Mogiła-Kopaniec konieczna jest weryfikacja całej zlewni. W tym sprawdzenie zlewni cząstkowych i zweryfikowanie możliwości technicznych odprowadzenia wód opadowych ze zlewni cząstkowych istniejącymi rowami i siecią kanalizacji opadowej do kanału burzowego przepompowni.
4. Konieczna również jest weryfikacja stanu technicznego prawobrzeżnego wału rzeki Dłubni i lewobrzeżnego wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły.

II. Pompownia Mogiła Okrągłak:

5. Obiekt przepompowni Mogiła – Okrągłak nie jest dostosowany do odprowadzenia wód opadowych powierzchniowych. Rozbudowa w rejonie zlewni spowodowała szybszy spływ wód opadowych. Przy średnich opadach deszczu występuje konieczność przepompowywania wód opadowych powierzchniowych pompami przewoźnymi. Wg nas należy rozpatrzyć możliwość zwiększenia wydajności istniejącej przepompowni.

2.2.7.4 Zbiornik Zesławice

Zbiornik Wodny Zesławice jest zlokalizowany na rzece Dłubni w km 8+700, w północno- wschodniej części Miasta Krakowa. Zbiornik usytuowany jest na terenie trzech gmin: Gmina Kraków, Gmina Zielonki i Gmina Michałowice.

Krakowski Związek Spółek Wodnych posiada decyzję wodnoprawną wydaną przez Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 28.01.2004r., znak GO-10.MŁ.62102-12/03 na korzystanie z wód rzeki Dłubnia w km 8-700, polegające na ich piętrzeniu istniejącą zaporą ziemną w Zesławicach (z wbudowanym jazem) i retencjonowaniu wody celem wyrównania przepływu poniżej zapory i ochrony przeciwpowodziowej. Powyższą decyzją zostały ustalone charakterystyczne przepływy Dłubni w km 8+700:

- maksymalne: $Q_m=Q_{1\%}=107 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{5\%}=63,3 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{10\%}=44,9 \text{ m}^3/\text{s}$,
- średni i niskie: $SQ=1,03 \text{ m}^3/\text{s}$ (średnioroczne), $SNQ=0,39 \text{ m}^3/\text{s}$ (średnio niskie),
- nienaruszalny: $QN=0,25 \text{ m}^3/\text{s}$,
- brzegowy (dla koryta poniżej zbiornika) $Q_B=70 \text{ m}^3/\text{s}$,

oraz charakterystyczne poziomy piętrzenia:

- NPP= 215 m n.n.p.m. – normalny poziom piętrzenia, przy którym pojemność użyteczna zbiornika wynosi: 0,420 mln m^3 , a powierzchnia zalewu – 24ha,
- MPP= 216,50 m n.p.m. – maksymalny poziom piętrzenia, przy którym pojemność użyteczna zbiornika wynosi: 0,730 mln m^3 , a powierzchnia zalewu- 46 ha,
- MinPP= 213,50 m n.p.m. – minimalny poziom piętrzenia.

Całkowita czasza zbiornika – pow. zalewu przy max. Poziomie piętrzenia (do rzędnej 216,50 m n.p.m.) wynosi 46 ha i jest niezabudowana. Przy rzędnej maksymalnego nadpiętrzenia do rzędnej 218,00 m. n.p.m. czasza zbiornika powiększa się do 75 ha, pojemność użyteczna zbiornika wynosi 2,2 mln m^3 , tereny zabudowane.

Zbiornik Zesławice jest podzielony na dwie części – część wschodnią i zachodnią, które oddzielone są nasypem szerokim na 15m i wysokim na 1 metr. Pomiedzy zbiornikami zbudowana została śluza, dzięki czemu następuje wymiana wody w zbiornikach. Pojemność użytkowa obu akwenów wynosi ok. 446,3 m^3 , natomiast pojemność przy maksymalnym poziomie piętrzenia wynosi 750 tys. m^3 (**Zbiornik zaprojektowany został na pojemność 2200 tys. m^3 jednak błędy administracyjne spowodowały wzrost zabudowy na terenach zalewowych, co radykalnie zmniejszyło retencje**). Główny zbiornik w Zesławicach został oddany do użytku w 1966 roku i pełnił funkcję zaopatrzenia w wodę przemysłową Hutę, a w wodę pitną Kraków. W latach 80 wykonano zbiornik boczny remontowy, który miał przejąć funkcję sąsiedniego akwenu, podczas gdy główny będzie poddawany odmulaniu. Ponieważ przeważająca część zbiornika znajduje się w pobliżu terenów rolniczych następuje tutaj intensywne zamulanie zbiornika, co jest stosunkowo poważnym problemem. Dodatkowym problemem zbiornika jest jego zanieczyszczenie po powodzi w 2010, przepusty i śluzy nie działają w sposób prawidłowy w wyniku zatkania śmieciami. W związku z wysokim stopniem zanieczyszczenia wód w obydwu zbiornikach zostały one zakwalifikowane do wód hipertroficzych, przez co przestały pełnić funkcję awaryjnego ujęcia dla wodociągu krakowskiego w 2000 roku.



Fot 25 i 26. Zanieczyszczenia powodujące zatykanie budowli na zbiorniku Zestawice i zatkany przepust pomiędzy zbiornikami (Michał Szumiec).

W miejscu ujścia wody ze zbiornika w okolicy ulicy Morcinka (tuż przed ogródkami działkowymi) znajduje się budowla piętrząca za pomocą, której regulowany jest poziom wody w zbiorniku. Stan techniczny urządzenia jest dobry, niewielkie ogniska korozji nie wpływają na prawidłową pracę.



Fot. 27 Ujście ze zbiornika Zestawice Michał Szumiec).

Na terenie zbiornika znajdują się śluzy wałowe, które ogrodzone są metalową siatką. W wielu miejscach słupki podtrzymujące siatkę są zniszczone, a ogrodzenie powalone na ziemię. Pozostałe śluzy wałowe są w dobrym stanie. Posiadają nieznaczne ślady rdzy jednak nie wpływa to na prawidłową pracę urządzeń.

2.2.7.5 Wyloty wód opadowych

W punkcie 2.2.7.1 omówiono przelewy burzowe, na pozostałych przelewach burzowych mających wyloty do rz. Wilgi, Rudawy, Drwiny, Białuchy zastosowano tylko na wylocie klapy zwrotne, które przy wzroście poziomu wody w odbiorniku samoczynnie się zamykają.

Klapy zwrotne na tych przelewach są skorodowane a wyloty zamulone, zarośnięte, co prowadzi do tego, że nie zamykają się szczelnie i następuje przedostawanie wody z odbiornika do systemu kanalizacyjnego.



Fot. 28 Klapa zwrotna na przelewie burzowym kanału $\phi 120/180$ w ul. Kapelanka (Michał Szumiec).



Fot. 29 Wylot przelewu burzowego do rz. Wilgi z kanału $\phi 90/135$ w rejonie ul. Brożka (Michał Szumiec).



Fot. 30 i 31 Wylot z przelewu burzowego do rz. Wilgi z kanału $\phi 180/200$ w rejonie ul. Ryglówka (Michał Szumiec).

Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w ramach projektu pn. "Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie - Etap I" uporządkowało kanalizację

w okolicach Borku Fałęckiego, wybudowano kanał odciażający Kolektor B w Nowej Hucie (kanał wykonano w całości w technologii mikrotunelu), przeprowadzono renowację systemu kanalizacyjnego na obszarze całego miasta Krakowa (renowacja metodami bezwykopowymi kanałów przełazowych o długości 5,5 km oraz kanałów nieprzełazowych o przekrojach kołowych i jajowych, o długości 47,8 km; łącznie w 107 ulicach i 20 osiedlach zastosowano m.in. technologię renowacji kanałów za pomocą paneli z żywic wzmacnianych włóknem szklanym, wykładzin utwardzanych na placu budowy za pomocą promieni UV, pary wodnej lub gorącej wody, wykładzin ciasno pasowanych).

Kanalizacja opadowa na terenie miasta Krakowa powstawała sukcesywnie z zabudową mieszkaniową terenów będących w obszarze systemu kanalizacji rozdzielczej a także równolegle z budową nowych dróg lub przebudową już istniejących.

Ścieki opadowe odprowadzane są do lokalnych odbiorników tj. rowów, potoków lub rzek.



Fot. 32 i 33 Wylot $\phi 500$ do rz. Serafy ze zbiornika retencyjnego ze zlewni autostrady A4[(wykonany 09.2009] (Michał Szumiec).

Pokazany wylot został wykonany przy budowie odcinka autostrady A4 Węzeł Wielicki - Węzeł Szarów we wrześniu 2009 r. i w chwili obecnej tj. listopad 2010 jest do połowy zamulony, co uniemożliwia prawidłową jego pracę. Widać już ślady korozji, co świadczy o niewystarczającym zabezpieczeniu antykorozyjnym kłapy zwrotnej. Do takiego zamulenia w głównej mierze przyczynia się odprowadzanie wód ze skarp autostrady bezpośrednio do rz. Serafy co w szczególności przy świeżych nasypach jeszcze niezaadarnionych powoduje namulanie rzeki



Fot. 34 Wylot do rz. Serafy wód z rowu skarpowego (Michał Szumiec).



Fot. 35 Wylot kolektora opadowego ø800 do rz. Serafy z rejonu ul. Drożdżowej, Bogucickiej (Michał Szumiec).



Fot. 36 Wylot kanału ø600 do rz. Drwiny z ul. Półtanki (Michał Szumiec).



Fot. 37 Wylot z kanału deszczowego $\phi 1000$ z ul. Jesionowej oraz rowu prowadzonego wzdłuż wału Rudawy do Rudawy (Michał Szumiec).



Fot. 38 Studnia wpadowa z rowu prowadzonego wzdłuż wałów rz. Rudawy (Michał Szumiec).



Fot. 39 Wylot kanału opadowego Ø100/150 do rz. Białuchy (Michał Szumiec).

W skład systemu odprowadzenia wód opadowych z terenu miasta Krakowa wchodzi również wpustu drogowe, które odprowadzają wody opadowe z powierzchni ulic i placów do systemu kanalizacyjnego. Z uwagi na ograniczone środki miasta wpusty te są czyszczone okazjonalnie i tylko po ich całkowitym zamuleniu i interwencjach mieszkańców. Również kraty studni wpadowych nie są w wystarczającym stopniu oczyszczane, co widać na fotografii nr 10.



Fot. 40 Wylot kanału $\varnothing 600$ do rowu Opatkowskiego (Michał Szumiec).



Fot. 41 Wylot kanału opadowego $\phi 600$ do rowu Smoleńskiego (Michał Szumiec).

Fotografie nr 40 i 41 przedstawiają wyloty kanałów opadowych $\phi 600$ do rowu Opatkowskiego południowego oraz do rowu Smoleńskiego w zlewni rz. Wilgi. Przedmiotowe wyloty wykonane zostały na przełomie roku 2008 i 2009 w ramach przebudowy ul. Zakopiańskiej na odcinku od Węzła Opatkowskiego do granic miasta Krakowa. Powyższe wyloty są w stanie bardzo dobrym niemniej jednak wymagają prowadzenia okresowych kontroli szczególnie po przejściu wielkiej wody w odbiorniku.

Literatura:

- [1] „Geneza i rozwój wodociągów i kanalizacji Miasta Krakowa 1882-1982”
Kazimierz Dohnalik, Kraków 1986, MPWiK w Krakowie PZITS oddział w Krakowie.
www.inzynieria.com

2.2.7.6 Wały przeciwpowodziowe

Wały przeciwpowodziowe stanowią zabezpieczenie przed zalaniem obszarów znajdujących się po stronie zawala. Projektowane są one na określony przepływ wynikający ze sposobu zagospodarowania chronionych obszarów.

Wykaz wałów przeciwpowodziowych w gminie Kraków:

1. Wały na Wiśle:

- a.** Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Podgórze mają długość 23,323km. Obszar, który jest chroniony przez te wały wynosi 662,09 ha.
- b.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Krowodrza mają długość 52,53km. Obszar chroniony ma powierzchnię 223,25ha.
- c.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Śródmieście mają długość 2,001km. Obszar chroniony wynosi 63,63ha.
- d.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Nowa Huta, Łęg mają długość 6,8km. Obszar chroniony ma powierzchnię 456ha.
- e.** Wały (lewobrzeżne) w Mogile mają długość 0,92km. Wały chronią obszar o powierzchni 61ha.
- f.** Wały (lewobrzeżne) w Kujawach mają długość 1,159km. Obszar chroniony ma powierzchnię 78ha.
- g.** Wały (lewobrzeżne) w Chałupkach mają długość 3,165km. Wały chronią obszar o powierzchni 213ha.
- h.** Wały (lewobrzeżne) w Przylasku i Wolicy posiadają długość 5,972km i chronią obszar o powierzchni 397ha.

2. Wały na rzece Drwina Długa:

- a.** Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Podgórze mają długość 2,230km. Powierzchnia chroniona przez wały wynosi 101,38ha.
- b.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Podgórze mają długość 2,454km. Powierzchnia obszaru chronionego wynosi 109,32ha.

3. Wały na rzece Wilga:

- a.** Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Podgórze mają długość 1,240km. Powierzchnia chroniona wynosi 41,54ha.
- b.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Podgórze mają długość 1,015km. Powierzchnia chroniona wałem wynosi 35,67ha.

4. Wały na Potoku Kościelnickim:

- a.** Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Nowa Huta, Wolica mają długość 3,161km.

5. Wały na Potoku Struga Rusiecka/Łucjanówka:

- a.** Wały (prawobrzeżny) w dzielnicy Nowa Huta (Wyciąże) mają długość 2,089km.

6. Wały na rzece Dłubnia:

- a.** Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Nowa Huta (Mogiła) mają długość 1,832km.
- b.** Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Nowa Huta (Mogiła) mają długość 1,220km.

7. Wały na rzece Prądnik/Białucha:
 - a. Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Śródmieście mają długość 0,838km. Obszar chroniony wynosi 26,64ha.
 - b. Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Śródmieście mają długość 0,783km i chronią obszar o powierzchni 24,90ha.
8. Wały na rzece Rudawa:
 - a. Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Krowodrza mają długość 7,539km. Obszar chroniony wynosi 239,74ha.
 - b. Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Krowodrza mają długość 7,039km i chronią obszar o powierzchni 223,84ha.
9. Wały na Potoku Olszanickim:
 - a. Wały (prawobrzeżne) w dzielnicy Krowodrza mają długość 0,160km.
 - b. Wały (lewobrzeżne) w dzielnicy Krowodrza mają długość 0,180km.

Wały przeciwpowodziowe chroniące Kraków nie spełniają wymaganego zabezpieczenia z powodu wielu niekorzystnych zdarzeń, jakie zachodzą podczas wezbrań wód. Można do nich zaliczyć intensywną filtrację wałów i podłoża, przebicia wałów spowodowane przez zwierzęta (krety, nornice), nieprawidłową pracę śluz wałowych (często klapy zwrotne na śluzach są źle zaprojektowane i znajdują się bez przerwy pod wodą, ulegają przez to szybszej korozji). Wyrwane podczas powodzi konary drzew powodują niedrożność śluz wałowych i zagrażają budowlom na rzece.

Większość wałów jest w złym stanie technicznym, miejscami są one za niskie. Podczas powodzi w 2010 roku zniszczeniu uległo obwałowanie przy ulicy Na Zakolu Wisły (przerwanie wału), a w rejonie ulicy Wioślarskiej nastąpiło rozwarstwienie wału (na terenie całego województwa małopolskiego doszło do 14-15 awarii wałów powodziowych).

Tabela 5 Tabelaryczne zestawienie śluz wałowych.

Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator
Rzeka Wisła - wał prawy					
1	Wisła P - Nr 38	60+501	50x50	202,20	MZMiUW
2	Wisła P - Nr 38a	60+709	Ø 60	202,50	MZMiUW
3	Wisła P - Nr 42 (Sidzinka)	61+201	2x/100x90/	206,10	MZMiUW
4	Wisła P - Nr 45	63+120	100x90	205,00	MZMiUW
5	Wisła P - Nr 46	66+184	2xØ 100	198,68	MZMiUW
6	Wisła P - Nr 47	67+742	80x90	201,08	MZMiUW
7	Wisła P - Nr 49	68+603	80x90	201,24	MZMiUW

Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator
8	Wisła P - Nr 54 (Kostrzecki)	70+135	3x/90x90/	199,54	MZMiUW
9	Wisła P - Nr 57	71+174	40x40	200,89	MZMiUW
10	Wisła P - Nr 58	71+569	60x50	201,84	MZMiUW
11	Wisła P - Nr 59	72+443	60x60	200,15	MZMiUW
12	Wisła P - Nr 61a (Pychowicki)	72+717	3x/90x80/	200,23	MZMiUW
13	Wisła P - Nr 62	73+100	50x50	199,67	MZMiUW
14	Wisła P - Nr 63	73+198	2x/100x90/	200,18	MZMiUW
15	Wisła P - Nr 66	82+200	50x50	199,50	MZMiUW
16	Wisła P - Nr 67	83+820	52x50	200,60	MZMiUW
17	Wisła P - Nr 68	84+270	55x50	203,10	MZMiUW
18	Wisła P - Nr 70	86+300	50x80	196,60	MZMiUW
19	Wisła P - Nr 73	87+700	50x50	195,60	MZMiUW, KZSW
20	Wisła P - Nr 77	90+684	Ø 90	195,00	MZMiUW
<i>Rzeka Wisła - wał lewy</i>					
21	Wisła L - Nr 51	69+590	Ø 80	199,70	MZMiUW
22	Wisła L - Nr 52	69+850	Ø 80	199,86	MZMiUW
23	Wisła L - Nr 53	70+200	Ø 80	200,10	MZMiUW
24	Wisła L - Nr 55	70+850	Ø 80	199,59	MZMiUW
25	Wisła L - Nr 56	71+350	Ø 100	199,59	MZMiUW
26	Wisła L - Nr 60	72+630	2xØ 80	198,04	MZMiUW
27	Wisła L - Nr 61	74+078	Ø 60	199,38	MZMiUW
28	Wisła L - Nr 69 (Łęg, ul. Do Wisły)	85+600	Ø 60	195,37	MZMiUW
29	Wisła L - Nr 71 (Łęgówka)	87+500	90x100	194,75	MZMiUW

Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator
30	Wisła L - Nr 72 (os. Lesisko)	87+850	Ø 100	195,05	MZMiUW
31	Wisła L - Nr 74 (Przep. Kopaniec)	88+700	Ø 130	195,40	KZSW
32	Wisła L – Nr 74a (boczna) (przep. Kopaniec)	88+700	Ø 120	b.d.	KZSW
33	Wisła L - Nr 75 - poza ewidencją śluza nieczynna	b.d.	-	195,40	NIECZYNNA
34	Wisła L –wylot z oczyszczalni Arcelor Mittal	94+640	Ø 130	195,40	ArcelorMittal Poland S.A. poza ewidencją MZMiUW
35	Wisła L - Nr 78 (Pleszów, poniżej oczyszcz. ścieków)	94+650	2x/100x100/	194,50	MZMiUW
36	Wisła L - Nr 79 (Suchy Jar)	96+650	70x80	195,00	MZMiUW
37	Wisła L - Nr 80 (wiadukt kolej.)	98+000	2xØ 120	190,77	MZMiUW
38	Wisła L - Nr 81 (ul. Bartnicza)	100+600	2xØ 100	189,67	MZMiUW
39	Wisła L - Nr 82 (Wolica-Rogów)	101+590	Ø 100	189,47	MZMiUW
40	Wisła L - Nr 83 (ul. Brzeska)	102+570	2xØ 60	189,25	MZMiUW
41	Wisła L - Nr 84 (ujście p. Kośc.)	103+000	Ø 100	188,92	MZMiUW
Rzeka Drwina Długa - wał prawy					
42	Drwina Długa P - Nr 11	2+306	Ø 45	193,50	MZMiUW
43	Drwina Długa P - Nr 14	2+403	60/60	194,00	MZMiUW
44	Drwina Długa P - Nr 15	2+585	Ø 150	194,30	MZMiUW
45	Drwina Długa P - Nr 16	3+808	Ø 150	194,00	MZMiUW
46	Drwina Długa P- Nr 19	3+990	Ø 30	196,00	MZMiUW

Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator
<i>Rzeka Drwina Długa - wał lewy</i>					
47	Drwina Długa L - Nr 13	2+495	63/66	194,60	MZMiUW
48	Drwina Długa L - Nr 17	3+100	Ø 50	194,50	MZMiUW
49	Drwina Długa L - Nr 18	3+245	140x100	194,50	MZMiUW
50	Drwina Długa L - PW3	3+395	Ø 30	194,30	MZMiUW
<i>Rzeka Sanka - wał prawy</i>					
51	Sanka P nr 1s	0+800	2xØ100	199,90	MZMiUW
<i>Rzeka Sanka - wał lewy</i>					
52	Sanka L nr 2s	0+150	2xØ100	198,60	MZMiUW
<i>Rzeka Rudawa - wał prawy</i>					
53	Rudawa P - Nr 0r most ul. Kościuszki	0+105	40x40	204,10	MZMiUW
54	Rudawa P -Nr 1r ul. Emaus-Gryfity	0+384	45x95	205,00	MZMiUW
55	Rudawa P - Nr 2r ul. Emaus-Przegon	1+100	60x90	205,40	MZMiUW
56	Rudawa P - Nr 3r ul. Borowego	2+186	Ø 50	205,60	MZMiUW
57	Rudawa P - Nr 5r ul. Korbutowa	3+046	60x60	206,00	MZMiUW
58	Rudawa P - Nr 7r ul. Jesionowa	3+661	60x60	206,50	MZMiUW
59	Rudawa P - Nr 9r ul. J.Becka - Nad Zalewem	4+453	115x135	207,00	MZMiUW
60	Rudawa P - Nr 10r ul. J.Becka	4+736	60x60	211,10	MZMiUW
61	Rudawa P - Nr 11r ul. J.Becka-Marynarska	4+878	100x120	208,20	MZMiUW
62	Rudawa P - Nr 15	6+177	100x120	b.d.	MZMiUW

Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator
63	Rudawa P - Nr 16	6+344	Ø 100	207,60	MZMiUW
<i>Rzeka Rudawa - wał lewy</i>					
64	Rudawa L - Nr 4r ul. Modlnicka	2+386	2x/70x70/	203,00	MZMiUW
65	Rudawa L Nr 4a	2+514		203,20	MZMiUW
66	Rudawa L - Nr 6r ul. Na Błonie	3+625	120x100	208,20	MZMiUW
67	Rudawa L - Nr 6a	3+630		208,20	MZMiUW
68	Rudawa L - Nr 8r	4+289	60x70	207,00	MZMiUW
69	Rudawa L - Nr 8a	5+279		206,50	MZMiUW
70	Rudawa L - Nr 12r	5+505	100x120	207,60	MZMiUW
71	Rudawa L - Nr 13r	5+527	Ø 100	207,60	MZMiUW
72	Rudawa L - Nr 14r ul. Zakliki z Mydlnik	5+953	Ø 80	208,60	MZMiUW
73	Rudawa L - Nr 17r	6+720	2x/110x120/	208,00	MZMiUW
74	Rudawa L - Nr 17a	7+157		209,10	MZMiUW
75	Rudawa L - Nr 18	7+289	2x/110x120/	210,20	MZMiUW
76	Rudawa L - Nr 19	7+912	2x/110x120/	210,00	MZMiUW
<i>Rzeka Dłubnia - wał lewy</i>					
77	Dłubnia L - Nr 1d	1+330	50x50	197,3	KZSW
<i>Potok Kościelniczy i Struga Rusiecka/Łucjanówka- wał prawy</i>					
78	Kościelniczy P - Nr 1k	0+700	Ø 60	189,72	MZMiUW
79	Kościelniczy P - Nr 2k	2+120	Ø 60	191,04	MZMiUW
80	Kościelniczy P - Nr 3k	2+800	Ø 60	191,27	MZMiUW
Lp.	Nazwa ciek	Km ciek	światło /średnica, hxb/ /cm/	Rzędna m n.p.m.	Administrator

81	Struga Rusiecka/Łucjanówka P - Nr 4sr	0+850	Ø 40	192,06	MZMiUW
82	Struga Rusiecka/Łucjanówka P - Nr 5sr	1+160	Ø 40	192,06	MZMiUW
83	Struga Rusiecka/Łucjanówka P - Nr 6sr	1+835	Ø 50	b.d.	MZMiUW

2.2.8 Wnioski

Pod dokonaniu inwentaryzacji i oceny stanu technicznego obecnej infrastruktury miasta Krakowa nasuwają się następujące wnioski w kolejności ważności:

– **Istniejący stan urządzeń bezpośredniej ochrony przeciwpowodziowej miasta Krakowa nie zapewnia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa powodziowego:**

✓ Remontu i szczególnej uwagi wymagają wały wiślane i wały cofkowe na jej dopływach. Ponieważ ostatnia powódź była największą od 200 lat a wały wykazały rezerwę pojemności można stwierdzić, że na dzień dzisiejszy najważniejszym jest dokonanie ich remontu i uzyskanie parametrów umożliwiających wytrzymywanie wysokich stanów wody utrzymujących się przez wiele dni, co zaobserwowano w roku 2010.

✓ Od 1997 roku zmodernizowano wały przeciwpowodziowe na odcinku od stopnia Kościuszko do stopnia Dąbie / – prawe wały w całości, a lewe bez odcinka od ujęcia wody w Bielanych do cofki mostu Zwierzynieckiego (26 km) /. Podczas wezbrania powodziowego 2010 r. na w/w odcinku pojawiły się 2 zagrożenia: nadmierna filtracja w podłożu wału przy ul. Widłakowej oraz przecieki muru bulwarowego na Salwatorze. Natomiast na odcinkach niezmodernizowanych (72 km) doszło do 1 katastrofy budowlanej / przerwanie wałów portu Płaszów / oraz wielu poważnych zagrożeń / między innymi: pęknięcie podłużne wału przy ul. Wioślarskiej, nadmierne filtracje korpusu wału i podłoża pod wałami na Lesisku w Łęgu, Nowej Hucie na Przewozie itd./. Administratorzy wałów przeważnie nie posiadają 5-cioletnich ocen stanu technicznego tych budowli - należy jednak stwierdzić, że podczas prac koncepcyjnych i projektowych na wałach w Krakowie nie wystąpił żaden przypadek potwierdzenia dobrego stanu wałów przeciwpowodziowych. Wały przed modernizacją z reguły nie posiadają wymaganego stopnia zagęszczenia, występują niedobory przekroju poprzecznego / nieprawidłowe nachylenie skarp oraz za mała szerokość korony wałów / istnieją uprzywilejowane drogi filtracji, co mogło być przyczyną przerwania wału portu Płaszów w 2010r., brak jest prawidłowego utrzymania wałów, co skutkuje porostami krzew i drzewostanu oraz występują odcinki wałów o niedoborach wysokościowych. Stan techniczny budowli wałowych jest również niezadowalający, ponadto brak jest utwardzenia korony wałów, co znacznie utrudnia prowadzenie akcji powodziowej.

✓ W Krakowie brakuje co najmniej 10 pompowni na wysokie stany wody, które umożliwiłyby odbiór wód opadowych i efektywne przepompowanie ich do koryta Wisły przy długotrwałe utrzymującym się wysokim stanie Wisły w między wałami. W obecnym

stanie rzeczy podczas długotrwałego utrzymywania się wysokiego stanu Wisły dochodzi do lokalnych podtopień przez jej dopływy.

✓ Na obszarze miasta Krakowa jest 66 przepustów wałowych, które generują zagrożenie powodziowe podczas przepływu wód powodziowych. Zagrożenie to polega na podtapianiu terenów zawala na skutek zamknięcie się klap oraz wpływania wody z Wisły na zawale podczas przypadku nieszczelności klapy. Równocześnie na obszarze miasta Krakowa są tylko 2 przepompownie wybudowane dla mechanicznego przerzutu wód podczas przy zamkniętych klapach przepustów. Ze wstępnej analizy najpoważniejszych zagrożeń przy przepustach wałowych w 2010 roku służby ZIKiT wykazały brak 11 pompowni. Prawdopodobnie liczba ta powinna być większa. Ostateczne braki pompowni oraz stanowisk dla pomp przewoźnych zostaną podane po szczegółowych analizach hydraulicznych i zagospodarowania terenu w II części opracowywanej koncepcji odwodnienia miasta.

✓ Brak jest polderów zalewowych i wystarczającej ilości zbiorników przeciwpowodziowych. Zbiornik w Zesławicach ma za małą rezerwę powodziową. Do wyjaśnienia pozostaje wielkość rezerwy powodziowej zbiornika Świnna Poręba. RZGW miał ją zwiększyć do 60 mln m³.

✓ Uwagi wymagają cieki wodne w Krakowie, takie jak: rz. Serafa, potok Sudół Dominikański i rz. Drwinka. Ich stan techniczny i przepustowość koryt niosą realne zagrożenie podtopieniami w wyniku wysokiego opadu w zlewni miasta bez względu na stan wody w ich odbiorniku tj. rz. Wiśle.

✓ Brak miejscowego planu zagospodarowania terenu i jego powiązania z gospodarką wodną na terenie Krakowa powoduje niekontrolowane uszczelnianie kolejnych obszarów zlewni bez zapewnienia należytej retencji i przepustowości obecnego systemu, co prowadzi do niewydolności obecnego systemu.

✓ **Aglomeracja Krakowska w ostatnim okresie czasu bardzo mocno uszczelnia zlewnie. Powoduje to znaczne zwiększenie częstotliwości wezbrań powodziowych w rzekach przepływających przez Kraków.** Równocześnie w Krakowie od wielu lat nie przeprowadzono większych inwestycji, które będą niwelować utratę retencyjności zlewni i przyspieszać odpływ wody do Wisły. W 2004 roku Gmina Miejska Kraków i Województwo Małopolskie zawarły porozumienie inwestycyjne dla regulacji rzek i modernizacji wałów przeciwpowodziowych, które aneksowano w 2006 roku. Niestety z przyczyn finansowych i braku dostępności terenu pod inwestycje liniowe, zawarte porozumienie nie zaowocowało wdrożeniu do realizacji planowanych inwestycji. Od 2006 roku w Krakowie nie zmodernizowano żadnego fragmentu wałów przeciwpowodziowych, a od podpisania porozumienia nie przeprowadzono żadnej regulacji rzeki. Również nie wybudowano żadnego zbiornika przeciwpowodziowego i polderu zalewowego. Wprowadzane ograniczenia przy uzgadnianiu inwestycji nakazujące inwestorom stosować spowalniacze przepływu w kanalizacji deszczowej są niewystarczające. W województwie jest opracowany program małej retencji przyjęty Uchwałą Sejmiku Województwa, jednak tempo realizacji programu jest bardzo powolne / w chwili obecnej wdraża się do realizacji 3 zbiorniki małej retencji poza Krakowem /. Ponadto zbiorniki istotne dla aglomeracji krakowskiej są na odległych pozycjach na istniejącej liście rankingowej. Od 2006 roku tworzy się rządowy program ochrony przed powodzią górnej Wisły, w którym planuje się realizację inwestycji przeciwpowodziowych istotnych dla Krakowa. W chwili obecnej w powyższym programie zakłada się, że przeciwpowodziowe inwestycje w Krakowie będą

realizowane w dwóch osiach, w trzech przedziałach czasowych: oś” Wisła „, oś „, aglomeracje miejskie „, przedziały czasowe do 2014 r., 2014 – 2020, 2021 – 2030. Nie ma całkowitej pewności, że przyjęcie programu rządowego znacząco zdynamizuje proces inwestycyjny, niemniej jednak Gmina Miejska Kraków i Województwo Małopolskie powinny przygotować koncepcje i projekty dla regulacji rzek stwarzających istotne zagrożenia powodziowe, dla modernizacji wałów przeciwpowodziowych oraz dla przeciwpowodziowych zbiorników wodnych. Niezależnie od powyższego powinno się rozważyć zmianę kształtu wojewódzkiego programu małej retencji w sposób wyraźnie preferujący zbiorniki o największym znaczeniu powodziowym tj. najbardziej skuteczne zarówno pod kątem redukcji fali powodziowej jak i ograniczania strat powodziowych. Z uwagi intensywnie zwiększanie wartości jednostkowych spływów powierzchniowych, zwiększanie wartości materialnych i niematerialnych na obszarach zagrożonych powodzią w Krakowie oraz zachodzące zmiany klimatyczne należy przewidywać konieczność znacznego zwiększenia nakładów inwestycyjnych zarówno ze środków budżetu państwa, środków UE jak i środków samorządowych. Dalsze opóźnianie realizacji inwestycji przeciwpowodziowych w Krakowie, spowoduje narastanie strat powodziowych oraz ograniczy prawidłowy rozwój miasta i regionu.

✓ **Dyrektor RZGW wyznaczył tereny zalewowe dla Rudawy i tereny potencjalnego zagrożenia powodziowego dla Wisły do stopnia Przewóz. Nie wyznaczono terenów zalewowych dla pozostałych rzek i terenów potencjalnego zagrożenia powodziowego poniżej stopnia Przewóz. Utrudnia to a często uniemożliwia wykluczenie z zabudowy lub wprowadzenie wymaganych ograniczeń dla obszarów bezpośredniego zagrożenia powodziowego.**

Oczywiście wywiązanie się z obowiązków Dyrektora RZGW nie rozwiąże całkowicie tego problemu. Bez ustalenia prawa miejscowego w postaci prawidłowych planów zagospodarowania przestrzennego terenów dalej będzie istniała presja zabudowy obszarów zalewowych. Presja ta jest największa w dużych aglomeracjach miejskich, które intensywnie się urbanizują i rozrastają. Negatywne oddziaływanie urbanizacji na te zlewnie wynika z czynników materialnych a głównie wysokich cen terenów pod zabudowę.

✓ Niezbędnym jest ostateczne rozstrzygnięcie zasadności budowy Kanału Krakowskiego. Ponieważ kanał ma pełnić funkcję żeglowną i w pewnym stopniu niwelować ujemne skutki podpiętrzania wody na istniejących stopniach wodnych zasadność jego planowania powinien rozstrzygnąć Prezes KZGW lub Dyrektor RZGW w Krakowie. Brak rozstrzygnięcia zasadności planowania kanału i dalsze rezerwowanie terenu pod inwestycję ogranicza możliwości rozwoju miasta Krakowa.

✓ **Należy zwrócić uwagę na obszary miasta objęte systemem kanalizacji ogólnospławnej, która przy wysokim stanie Wisły pracuje pod ciśnieniem i dochodzi do zalewania kondygnacji położonych poniżej poziomu wody w podpiętrzonej odbiorniku.**

MPWiK S.A. reagując na to zjawisko zmieniło obecnie system wydawania warunków technicznych na podłączenia do kanalizacji stawiając wymóg odprowadzania ciśnieniowego z części instalacji znajdujących się poniżej poziomu gruntu. Nie rozwiązuje to jednak problemu istniejących budynków.

W związku z powyższym należy dążyć do całkowitego rozdzielenia kanalizacji ogólnospławnej na sanitarną i opadową. Systemy rozdzielcze są efektywniejsze

i bezpieczniejsze. Metodyka rozdziału kanalizacji ogólnospławnej będzie uzależniona od czterech podstawowych czynników: możliwość pozyskania środków finansowych, możliwość przyjęcia wód opadowych do odbiornika (zwiększenie przepustowości odbiornika w warunkach braku oddziaływania wód powodziowych i mechaniczny przerzut przy wysokim zwierciadle wody w odbiorniku) możliwości pozyskania terenu pod inwestycje oraz uzyskania aprobaty społecznej głównie w zakresie możliwych konfliktów środowiskowych. W drugiej części opracowania zostanie przeprowadzona wielowariantowa symulacja oddziaływań w/w czynników w celu zaproponowania optymalnego procesu rozdziału kanalizacji ogólnospławnej w Krakowie.

✓ **Należy prawidłowo realizować zadania z zakresu bieżącego utrzymania istniejącej infrastruktury powodziowej, naturalnych cieków wodnych oraz kanalizacji. Przy obecnym stanie w/w obiektów brak prawidłowej konserwacji i bieżących remontów powoduje wzrost zagrożenia powodziowego. W 2010 roku ilość powodzi w Biezanowie byłaby mniejsza gdyby prawidłowo konserwowano koryto rzeki Serafy. Niezbędnym jest stałe zapewnienie pełnej przepustowości koryta cieku. Brak wycinki odrostów wiklinowych, brak odmulania, brak likwidacji obrywów skarp i likwidacji zatorów - może zmniejszać przepływ wody nawet o kilkadziesiąt procent.**